МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.1.01 ФИЛОСОФИЯ

Специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Гладкова И. В., доцент, канд. филос. н.

Екатеринбург
2020

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 0261A6BD005DAC979B410F3EA731403511
Владелец: Упоров Сергей Александрович
Действителен: с 23.10.2020 до 23.01.2022

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по работе с текстом лекций	5
2	Методические рекомендации по подготовке к опросу	7
3	Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)	8
4	Методические рекомендации по написанию эссе	10
5	Методические рекомендации по подготовке к семинарским занятиям	13
6	Методические рекомендации по подготовке к дискуссии	13
7	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	15
	Заключение	18
	Список использованных источников	19

ВВЕДЕНИЕ

Инициативная самостоятельная работа студента есть неотъемлемая составная часть учебы в вузе. В современном формате высшего образования значительно возрастает роль самостоятельной работы студента. Правильно спланированная и организованная самостоятельная работа обеспечивает достижение высоких результатов в учебе.

Самостоятельная работа студента (СРС) - это планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия, при сохранении ведущей роли студентов.

Целью СРС является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками по профилю будущей специальности, опытом творческой, исследовательской деятельности, развитие самостоятельности. Ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровней. Самостоятельная работа студента – важнейшая составная часть учебного процесса, обязательная для каждого студента, объем которой определяется учебным планом. Методологическую основу СРС составляет деятельностный подход, при котором цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, т. е. на реальные ситуации, в которых студентам надо проявить знание конкретной дисциплины. Предметно и содержательно СРС определяется государственным образовательным стандартом, действующими учебными планами и образовательными программами различных форм обучения, рабочими программами учебных дисциплин, средствами обеспечения СРС: учебниками, учебными пособиями и методическими руководствами, учебно-программными комплексами и т.д.

Самостоятельная работа студентов может рассматриваться как организационная форма обучения - система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью студентов по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

Самостоятельная работа студента - это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как:

- уяснение цели и поставленной учебной задачи;
- четкое и системное планирование самостоятельной работы;
- поиск необходимой учебной и научной информации;
- освоение информации и ее логическая переработка;

- использование методов исследовательской, научно-исследовательской работы для решения поставленных задач;
- выработка собственной позиции по поводу полученной задачи;
- представление, обоснование и защита полученного решения;
- проведение самоанализа и самоконтроля.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы: аудиторная и внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию: текущие консультации, коллоквиум, прием и разбор домашних заданий и другие.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия: подготовка презентаций, составление глоссария, подготовка к практическим занятиям, подготовка рецензий, аннотаций на статью, подготовка к дискуссиям, круглым столам.

СРС может включать следующие формы работ:

- изучение лекционного материала;
- работа с источниками литературы: поиск, подбор и обзор литературы и электронных источников информации по заданной проблеме курса;
- выполнение домашних заданий, выдаваемых на практических занятиях: тестов, докладов, контрольных работ и других форм текущего контроля;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельное изучение; подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к контрольной работе или коллоквиуму;
- подготовка к зачету, экзамену, другим аттестациям;
- написание реферата, эссе по заданной проблем;
- выполнение расчетно-графической работы;
- выполнение выполнение курсовой работы или проекта;
- анализ научной публикации по определенной преподавателем теме, ее реферирование;
- исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах.

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета /экзамена, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения. Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов online и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

Подготовка к самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

.

1. Методические рекомендации по работе с текстом лекций

На лекционных занятиях необходимо конспектировать учебный материал. Обращать внимание на формулировки, определения, раскрывающие содержание тех или иных понятий, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском мастерстве. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента, и помогает усвоить учебный материал.

Желательно оставлять в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений, фиксировать вопросы, вызывающие личный интерес, варианты ответов на них, сомнения, проблемы, спорные положения. Рекомендуется вести записи на одной стороне листа, оставляя вторую сторону для размышлений, разборов, вопросов, ответов на них, для фиксирования деталей темы или связанных с ней фактов, которые припоминаются самим студентом в ходе слушания.

Слушание лекций - сложный вид интеллектуальной деятельности, успех которой обусловлен *умением слушать*, и стремлением воспринимать материал, нужное записывая в тетрадь. Запись лекции помогает сосредоточить внимание на главном, в ходе самой лекции продумать и осмыслить услышанное, осознать план и логику изложения материала преподавателем.

Такая работа нередко вызывает трудности у студентов: некоторые стремятся записывать все дословно, другие пишут отрывочно, хаотично. Чтобы избежать этих ошибок, целесообразно придерживаться ряда правил.

1. После записи ориентирующих и направляющих внимание данных (тема, цель, план лекции, рекомендованная литература) важно попытаться проследить, как они раскрываются в содержании, подкрепляются формулировками, доказательствами, а затем и выводами.

2. Записывать следует основные положения и доказывающие их аргументы, наиболее яркие примеры и факты, поставленные преподавателем вопросы для самостоятельной проработки.

3. Стремиться к четкости записи, ее последовательности, выделяя темы, подтемы, вопросы и подвопросы, используя цифровую и буквенную нумерацию (римские и арабские цифры, большие и малые буквы), красные строки, выделение абзацев, подчеркивание главного и т.д.

Форма записи материала может быть различной - в зависимости от специфики изучаемого предмета. Это может быть стиль учебной программы (назывные предложения), уместны и свои краткие пояснения к записям.

Студентам не следует подробно записывать на лекции «все подряд», но обязательно фиксировать то, что преподаватели диктуют – это базовый конспект, содержащий основные положения лекции: определения, выводы, параметры, критерии, аксиомы, постулаты, парадигмы, концепции, ситуации, а также мысли-маяки (ими часто являются афоризмы, цитаты, остроумные изречения). Запись лекции лучше вести в сжатой форме, короткими и четкими фразами. Каждому студенту полезно выработать свою систему сокращений, в которой он мог бы разобраться легко и безошибочно.

Даже отлично записанная лекция предполагает дальнейшую самостоятельную работу над ней (осмысление ее содержания, логической структуры, выводов). С целью доработки конспекта лекции необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополняя и исправляя свои записи. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект. Доработанный конспект и

рекомендуемая литература используется при подготовке к практическому занятию. Знание лекционного материала при подготовке к практическому занятию обязательно.

Особенно важно в процессе самостоятельной работы над лекцией выделить новый понятийный аппарат, уяснить суть новых понятий, при необходимости обратиться к словарям и другим источникам, заодно устранив неточности в записях. Главное - вести конспект аккуратно и регулярно, только в этом случае он сможет стать подспорьем в изучении дисциплины.

Работа над лекцией стимулирует самостоятельный поиск ответов на самые различные вопросы: над какими понятиями следует поработать, какие обобщения сделать, какой дополнительный материал привлечь.

Важным средством, направляющим самообразование, является выполнение различных заданий по тексту лекции, например, составление ее развернутого плана или тезисов; ответы на вопросы проблемного характера, (скажем, об основных тенденциях развития той или иной проблемы); составление проверочных тесты по проблеме, написание по ней реферата, составление графических схем.

По своим задачам лекции могут быть разных жанров: *установочная лекция* вводит в изучение курса, предмета, проблем (что и как изучать), а *обобщающая лекция* позволяет подвести итог (зачем изучать), выделить главное, усвоить законы развития знания, преемственности, новаторства, чтобы применить обобщенный позитивный опыт к решению современных практических задач. Обобщающая лекция ориентирует в истории и современном состоянии научной проблемы.

В процессе освоения материалов обобщающих лекций студенты могут выполнять задания разного уровня. Например: задания *репродуктивного* уровня (составить развернутый план обобщающей лекции, составить тезисы по материалам лекции); задания *продуктивного* уровня (ответить на вопросы проблемного характера, составить опорный конспект по схеме, выявить основные тенденции развития проблемы); задания *творческого* уровня (составить проверочные тесты по теме, защитить реферат и графические темы по данной проблеме). Обращение к ранее изученному материалу не только помогает восстановить в памяти известные положения, выводы, но и приводит разрозненные знания в систему, углубляет и расширяет их. Каждый возврат к старому материалу позволяет найти в нем что-то новое, переосмыслить его с иных позиций, определить для него наиболее подходящее место в уже имеющейся системе знаний.

.

2. Методические указания по подготовке к опросу

Самостоятельная работа обучающихся включает подготовку к устному или письменному опросу на семинарских занятиях. Для этого обучающийся изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

Письменный опрос

Письменный опрос является одной из форм текущего контроля успеваемости студента. При изучении материала студент должен убедиться, что хорошо понимает основную терминологию темы, умеет ее использовать в нужном контексте. Желательно составить краткий конспект ответа на предполагаемые вопросы письменной работы, чтобы убедиться в том, что студент владеет материалом и может аргументировано, логично и грамотно письменно изложить ответ на вопрос. Следует обратить особое внимание на написание профессиональных терминов, чтобы избегать грамматических ошибок в работе. При изучении новой для студента терминологии рекомендуется изготовить карточки, которые содержат новый термин и его расшифровку, что значительно облегчит работу над материалом.

Устный опрос

Целью устного собеседования являются обобщение и закрепление изученного курса. Студентам предлагаются для освещения сквозные концептуальные проблемы. При подготовке следует использовать лекционный материал и учебную литературу. Для более глубокого постижения курса и более основательной подготовки рекомендуется познакомиться с указанной дополнительной литературой. Готовясь к семинару, студент должен, прежде всего, ознакомиться с общим планом семинарского занятия. Следует внимательно прочесть свой конспект лекции по изучаемой теме и рекомендуемую к теме семинара литературу. С незнакомыми терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии [1].

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубина ответа.
3. Сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться профессиональной терминологией).
5. Рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели).
6. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).
8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[2].

---

[1] Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

[2]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

Ответ на каждый вопрос из плана семинарского занятия должен быть содержательным и аргументированным. Для этого следует использовать документы, монографическую, учебную и справочную литературу.

Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы. Объем временина на подготовку к устному опросу зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

3.Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)

Доклад – публичное сообщение по заданной теме, представляющее собой развернутое изложение на определенную тему, вид самостоятельной работы, который используется в учебных и внеаудиторных занятиях и способствует формированию навыков исследовательской работы, освоению методов научного познания, приобретению навыков публичного выступления, расширяет познавательные интересы, приучает критически мыслить.

При подготовке доклада используется дополнительная литература, систематизируется материал. Работа над докладом не только позволяет учащемуся приобрести новые знания, но и способствует формированию важных научно-исследовательских навыков самостоятельной работы с научной литературой, что повышает познавательный интерес к научному познанию.

Приветствуется использование мультимедийных технологий, подготовка докладов-презентаций.

Доклад должен соответствовать следующим требованиям:

- тема доклада должна быть согласованна с преподавателем и соответствовать теме занятия;

- иллюстрации (слайды в презентации) должны быть достаточными, но не чрезмерными;

- материалы, которыми пользуется студент при подготовке доклада-презентации, должны тсоответствовать научно-методическим требованиям ВУЗа и быть указаны в докладе;

- необходимо соблюдать регламент: 7-10 минут выступления.

Преподаватель может дать тему сразу нескольким студентам одной группы, по принципу: докладчик и оппонент. Студенты могут подготовить два выступления с противоположными точками зрения и устроить дискуссию по проблемной теме. Докладчики и содокладчики во многом определяют содержание, стиль, активность данного занятия, для этого необходимо:

- использовать технические средства;
- знать и хорошо ориентироваться в теме всей презентации (семинара);
- уметь дискутировать и быстро отвечать на вопросы;
- четко выполнять установленный регламент: докладчик - 7-10 мин.; содокладчик - 5 мин.; дискуссия - 10 мин;
- иметь представление о композиционной структуре доклада.

После выступления докладчик и содокладчик, должны ответить на вопросы слушателей.

В подготовке доклада выделяют следующие этапы:

1. Определение цели доклада: информировать, объяснить, обсудить что-то (проблему, решение, ситуацию и т. п.)

2. Подбор литературы, иллюстративных примеров.

3. Составление плана доклада, систематизация материала, композиционное оформление доклада в виде печатного /рукописного текста и электронной презентации.

Общая структура доклада

Построение доклада включает три части: вступление, основную часть и заключение.

Вступление.

Вступление должно содержать:

- название презентации (доклада);
- сообщение основной идеи;
- обоснование актуальности обсуждаемого вопроса;
- современную оценку предмета изложения;
- краткое перечисление рассматриваемых вопросов;
- живую интересную форму изложения;
- акцентирование оригинальности подхода.

Основная часть.

Основная часть состоит из нескольких разделов, постепенно раскрывающих тему. Возможно использование иллюстрации (графики, диаграммы, фотографии, карты, рисунки) Если необходимо, для обоснования темы используется ссылка на источники с доказательствами, взятыми из литературы (цитирование авторов, указание цифр, фактов, определений). Изложение материала должно быть связным, последовательным, доказательным.

Задача основной части - представить достаточно данных для того, чтобы слушатели и заинтересовались темой и захотели ознакомиться с материалами. При этом логическая структура теоретического блока не должны даваться без наглядных пособий, аудио-визуальных и визуальных материалов.

Заключение.

Заключение - это ясное четкое обобщение, в котором подводятся итоги, формулируются главные выводы, подчеркивается значение рассмотренной проблемы, предлагаются самые важные практические рекомендации. Требования к оформлению доклада. Объем машинописного текста доклада должен быть рассчитан на произнесение доклада в течение 7 -10 минут (3-5 машинописных листа текста с докладом).

Доклад оценивается по следующим критериям:

Критерии оценки доклада, сообщения	*Количество баллов*
Содержательность, информационная насыщенность доклада	1
Наличие аргументов	1
Наличие выводов	1
Наличие презентации доклада	1
Владение профессиональной лексикой	1
Итого:	5

Электронные презентации выполняются в программе MS PowerPoint в виде слайдов в следующем порядке: • титульный лист с заголовком темы и автором исполнения презентации; • план презентации (5-6 пунктов - это максимум); • основная часть (не более 10 слайдов); • заключение (вывод). Общие требования к стилевому оформлению презентации: • дизайн должен быть простым и лаконичным; • основная цель - читаемость, а не субъективная красота; цветовая гамма должна состоять не более чем из двух-трех цветов; • всегда должно быть два типа слайдов: для титульных и для основного текста; • размер шрифта должен быть: 24–54 пункта (заголовок), 18–36 пунктов (обычный текст); • текст должен быть свернут до ключевых слов и фраз. Полные развернутые предложения на слайдах таких презентаций используются только при цитировании; каждый слайд должен иметь заголовок; • все слайды должны быть выдержаны в одном стиле; • на каждом слайде должно быть не более трех иллюстраций; • слайды должны быть пронумерованы с указанием общего количества слайдов.

4. Методические рекомендации по написанию эссе

Эссе - это самостоятельная письменная работа на тему, предложенную преподавателем. Цель эссе состоит в развитии навыков самостоятельного творческого мышления и письменного изложения собственных мыслей. Писать эссе чрезвычайно полезно, поскольку это позволяет автору научиться четко и грамотно формулировать мысли, структурировать информацию, использовать основные категории анализа, выделять причинно-следственные связи, иллюстрировать понятия соответствующими примерами, аргументировать свои выводы; овладеть научным стилем речи.

Эссе должно содержать: четкое изложение сути поставленной проблемы, включать самостоятельно проведенный анализ этой проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария, рассматриваемого в рамках дисциплины, выводы, обобщающие авторскую позицию по поставленной проблеме. В зависимости от специфики дисциплины формы эссе могут значительно дифференцироваться. В некоторых случаях это может быть анализ имеющихся статистических данных по изучаемой проблеме, анализ материалов из средств массовой информации и использованием изучаемых моделей, подробный разбор предложенной задачи с развернутыми мнениями, подбор и детальный анализ примеров, иллюстрирующих проблему и т.д.

Построение эссе - это ответ на вопрос или раскрытие темы, которое основано на классической системе доказательств.

Структура эссе

1. *Титульный лист* (заполняется по единой форме);

2. *Введение* - суть и обоснование выбора данной темы, состоит из ряда компонентов, связанных логически и стилистически.

На этом этапе очень важно правильно *сформулировать вопрос, на который вы собираетесь найти ответ в ходе своего исследования.*

3. *Основная часть* - теоретические основы выбранной проблемы и изложение основного вопроса.

Данная часть предполагает развитие аргументации и анализа, а также обоснование их, исходя из имеющихся данных, других аргументов и позиций по этому вопросу. В этом заключается основное содержание эссе и это представляет собой главную трудность. Поэтому важное значение имеют подзаголовки, на основе которых осуществляется структурирование аргументации; именно здесь необходимо обосновать (логически, используя данные или строгие рассуждения) предлагаемую аргументацию/анализ. Там, где это необходимо, в качестве аналитического инструмента можно использовать графики, диаграммы и таблицы.

В зависимости от поставленного вопроса анализ проводится на основе следующих категорий:

Причина - следствие, общее - особенное, форма - содержание, часть - целое, постоянство - изменчивость.

В процессе построения эссе необходимо помнить, что один параграф должен содержать только одно утверждение и соответствующее доказательство, подкрепленное графическим и иллюстративным материалом. Следовательно, наполняя содержанием разделы аргументацией (соответствующей подзаголовкам), необходимо в пределах параграфа ограничить себя рассмотрением одной главной мысли.

Хорошо проверенный (и для большинства — совершено необходимый) способ построения любого эссе - использование подзаголовков для обозначения ключевых моментов аргументированного изложения: это помогает посмотреть на то, что предполагается сделать (и ответить на вопрос, хорош ли замысел). Такой подход поможет следовать точно определенной цели в данном исследовании. Эффективное использование подзаголовков - не только обозначение основных пунктов, которые необходимо осветить.

Их последовательность может также свидетельствовать о наличии или отсутствии логичности в освещении темы.

4. *Заключение* - обобщения и аргументированные выводы по теме с указанием области ее применения и т.д. Подытоживает эссе или еще раз вносит пояснения, подкрепляет смысл и значение изложенного в основной части. Методы, рекомендуемые для составления заключения: повторение, иллюстрация, цитата, впечатляющее утверждение. Заключение может содержать такой очень важный, дополняющий эссе элемент, как указание на применение (импликацию) исследования, не исключая взаимосвязи с другими проблемами.

Структура аппарата доказательств, необходимых для написания эссе

Доказательство - это совокупность логических приемов обоснования истинности какого-либо суждения с помощью других истинных и связанных с ним суждений. Оно связано с убеждением, но не тождественно ему: аргументация или доказательство должны основываться на данных науки и общественно-исторической практики, убеждения же могут быть основаны на предрассудках, неосведомленности людей в вопросах экономики и политики, видимости доказательности. Другими словами, доказательство или аргументация - это рассуждение, использующее факты, истинные суждения, научные данные и убеждающее нас в истинности того, о чем идет речь.

Структура любого доказательства включает в себя три составляющие: тезис, аргументы и выводы или оценочные суждения.

Тезис - это положение (суждение), которое требуется доказать. *Аргументы* - это категории, которыми пользуются при доказательстве истинности тезиса. *Вывод* - это мнение, основанное на анализе фактов. *Оценочные суждения* - это мнения, основанные на наших убеждениях, верованиях или взглядах. *Аргументы* обычно делятся на следующие группы:

1. *Удостоверенные факты* — фактический материал (или статистические данные).
2. *Определения* в процессе аргументации используются как описание понятий, связанных с тезисом.
3. *Законы* науки и ранее доказанные теоремы тоже могут использоваться как аргументы доказательства.

Требования к фактическим данным и другим источникам

При написании эссе чрезвычайно важно то, как используются эмпирические данные и другие источники (особенно качество чтения). Все (фактические) данные соотносятся с конкретным временем и местом, поэтому прежде, чем их использовать, необходимо убедится в том, что они соответствуют необходимому для исследований времени и месту. Соответствующая спецификация данных по времени и месту — один из способов, который может предотвратить чрезмерное обобщение, результатом которого может, например, стать предположение о том, что все страны по некоторым важным аспектам одинаковы (если вы так полагаете, тогда это должно быть доказано, а не быть голословным утверждением).

Всегда можно избежать чрезмерного обобщения, если помнить, что в рамках эссе используемые данные являются иллюстративным материалом, а не заключительным актом, т.е. они подтверждают аргументы и рассуждения и свидетельствуют о том, что автор умеет использовать данные должным образом. Нельзя забывать также, что данные, касающиеся спорных вопросов, всегда подвергаются сомнению. От автора не ждут определенного или окончательного ответа. Необходимо понять сущность фактического материала, связанного с этим вопросом (соответствующие индикаторы? насколько надежны данные для построения таких индикаторов? к какому заключению можно прийти на основании имеющихся данных и индикаторов относительно причин и следствий? и т.д.), и продемонстрировать это в эссе. Нельзя ссылаться на работы, которые автор эссе не читал сам.

Как подготовить и написать эссе

Качество любого эссе зависит от трех взаимосвязанных составляющих, таких как:

1. Исходный материал, который будет использован (конспекты прочитанной литературы, лекций, записи результатов дискуссий, собственные соображения и накопленный опыт по данной проблеме).

2. Качество обработки имеющегося исходного материала (его организация, аргументация и доводы).

3. Аргументация (насколько точно она соотносится с поднятыми в эссе проблемами).

Процесс написания эссе можно разбить на несколько стадий: обдумывание - планирование - написание - проверка - правка.

Планирование - определение цели, основных идей, источников информации, сроков окончания и представления работы.

Цель должна определять действия.

Идеи, как и цели, могут быть конкретными и общими, более абстрактными. Мысли, чувства, взгляды и представления могут быть выражены в форме аналогий, ассоциации, предположений, рассуждений, суждений, аргументов, доводов и т.д.

Аналогии - выявление идеи и создание представлений, связь элементов значений.

Ассоциации - отражение взаимосвязей предметов и явлений действительности в форме закономерной связи между нервно - психическими явлениями (в ответ на тот или иной словесный стимул выдать «первую пришедшую в голову» реакцию).

Предположения - утверждение, не подтвержденное никакими доказательствами.

Рассуждения - формулировка и доказательство мнений.

Аргументация - ряд связанных между собой суждений, которые высказываются для того, чтобы убедить читателя (слушателя) в верности (истинности) тезиса, точки зрения, позиции.

Суждение - фраза или предложение, для которого имеет смысл вопрос: истинно или ложно?

Доводы - обоснование того, что заключение верно абсолютно или с какой-либо долей вероятности. В качестве доводов используются факты, ссылки на авторитеты, заведомо истинные суждения (законы, аксиомы и т.п.), доказательства (прямые, косвенные, «от противного», «методом исключения») и т.д.

Перечень, который получится в результате перечисления идей, поможет определить, какие из них нуждаются в особенной аргументации.

*Источники***.** Тема эссе подскажет, где искать нужный материал. Обычно пользуются библиотекой, Интернет-ресурсами, словарями, справочниками. Пересмотр означает редактирование текста с ориентацией на качество и эффективность.

Качество текста складывается из четырех основных компонентов: ясности мысли, внятности, грамотности и корректности.

Мысль - это содержание написанного. Необходимо четко и ясно формулировать идеи, которые хотите выразить, в противном случае вам не удастся донести эти идеи и сведения до окружающих.

Внятность - это доступность текста для понимания. Легче всего ее можно достичь, пользуясь логично и последовательно тщательно выбранными словами, фразами и взаимосвязанными абзацами, раскрывающими тему.

Грамотность отражает соблюдение норм грамматики и правописания. Если в чем-то сомневаетесь, загляните в учебник, справьтесь в словаре или руководстве по стилистике или дайте прочитать написанное человеку, чья манера писать вам нравится.

Корректность — это стиль написанного. Стиль определятся жанром, структурой работы, целями, которые ставит перед собой пишущий, читателями, к которым он обращается.

5. Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям

Семинар представляет собой комплексную форму и завершающее звено в изучении определенных тем, предусмотренных программой учебной дисциплины. Комплексность данной формы занятий определяется тем, что в ходе её проведения сочетаются выступления обучающихся и преподавателя: рассмотрение обсуждаемой проблемы и анализ различных, часто дискуссионных позиций; обсуждение мнений обучающихся и разъяснение (консультация) преподавателя; углубленное изучение теории и приобретение навыков умения ее использовать в практической работе.

По своему назначению семинар, в процессе которого обсуждается та или иная научная проблема, способствует:

- углубленному изучению определенного раздела учебной дисциплины, закреплению знаний;
- отработке методологии и методических приемов познания;
- выработке аналитических способностей, умения обобщения и формулирования выводов;
- приобретению навыков использования научных знаний в практической деятельности;
- выработке умения кратко, аргументированно и ясно излагать обсуждаемые вопросы;
- осуществлению контроля преподавателя за ходом обучения.

Семинары представляет собой *дискуссию* в пределах обсуждаемой темы (проблемы). Дискуссия помогает участникам семинара приобрести более совершенные знания, проникнуть в суть изучаемых проблем. Выработать методологию, овладеть методами анализа социально-экономических процессов. Обсуждение должно носить творческий характер с четкой и убедительной аргументацией.

По своей структуре семинар начинается со вступительного слова преподавателя, в котором кратко излагаются место и значение обсуждаемой темы (проблемы) в данной дисциплине, напоминаются порядок и направления ее обсуждения. Конкретизируется ранее известный обучающимся план проведения занятия. После этого начинается процесс обсуждения вопросов обучающимися. Завершается занятие подведением итогоа обсуждения, заключительным словом преподавателя.

Проведение семинарских занятий в рамках учебной группы (20 - 25 человек) позволяет обеспечить активное участие в обсуждении проблемы всех присутствующих.

По ходу обсуждения темы помните, что изучение теории должно быть связано с определением (выработкой) средств, путей применения теоретических положений в практической деятельности, например, при выполнении функций государственного служащего. В то же время важно не свести обсуждение научной проблемы только к пересказу случаев из практики работы, к критике имеющих место недостатков. Дискуссии имеют важное значение: учат дисциплине ума, умению выступать по существу, мыслить логически, выделяя главное, критически оценивать выступления участников семинара.

В процессе проведения семинара обучающиеся могут использовать разнообразные по своей форме и характеру пособия, демонстрируя фактический, в том числе статистический материал, убедительно подтверждающий теоретические выводы и положения. В завершение обсудите результаты работы семинара и сделайте выводы, что хорошо усвоено, а над чем следует дополнительно поработать.

В целях эффективности семинарских занятий необходима обстоятельная подготовка к их проведению. В начале семестра (учебного года) возьмите в библиотеке необходимые методические материалы для своевременной подготовки к семинарам. Готовясь к конкретной теме занятия следует ознакомиться с новыми официальными документами, статьями в периодических журналах, вновь вышедшими монографиями.

6. Методические рекомендации по подготовке к дискуссии

Современная практика предлагает широкий круг типов семинарских занятий. Среди них особое место занимает *семинар-дискуссия,* где в диалоге хорошо усваивается новая информация, видны убеждения студента, обсуждаются противоречия (явные и скрытые) и

недостатки. Для обсуждения берутся конкретные актуальные вопросы, с которыми студенты предварительно ознакомлены. Дискуссия является одной из наиболее эффективных технологий группового взаимодействия, обладающей особыми возможностями в обучении, развитии и воспитании будущего специалиста.

Дискуссия (от лат. discussio - рассмотрение, исследование) - способ организации совместной деятельности с целью интенсификации процесса принятия решений в группе посредством обсуждения какого-либо вопроса или проблемы.

Дискуссия обеспечивает активное включение студентов в поиск истины; создает условия для открытого выражения ими своих мыслей, позиций, отношений к обсуждаемой теме и обладает особой возможностью воздействия на установки ее участников в процессе группового взаимодействия. Дискуссию можно рассматривать как *метод интерактивного обучения* и как особую технологию, включающую в себя другие методы и приемы обучения: «мозговой штурм», «анализ ситуаций» и т.д.

Обучающий эффект дискуссии определяется предоставляемой участнику возможностью получить разнообразную информацию от собеседников, продемонстрировать и повысить свою компетентность, проверить и уточнить свои представления и взгляды на обсуждаемую проблему, применить имеющиеся знания в процессе совместного решения учебных и профессиональных задач.

Развивающая функция дискуссии связана со стимулированием творчества обучающихся, развитием их способности к анализу информации и аргументированному, логически выстроенному доказательству своих идей и взглядов, с повышением коммуникативной активности студентов, их эмоциональной включенности в учебный процесс.

Влияние дискуссии на личностное становление студента обусловливается ее целостно - ориентирующей направленностью, созданием благоприятных условий для проявления индивидуальности, самоопределения в существующих точках зрения на определенную проблему, выбора своей позиции; для формирования умения взаимодействовать с другими, слушать и слышать окружающих, уважать чужие убеждения, принимать оппонента, находить точки соприкосновения, соотносить и согласовывать свою позицию с позициями других участников обсуждения.

Безусловно, наличие оппонентов, противоположных точек зрения всегда обостряет дискуссию, повышает ее продуктивность, позволяет создавать с их помощью конструктивный конфликт для более эффективного решения обсуждаемых проблем.

Существует несколько видов дискуссий, использование того или иного типа дискуссии зависит от характера обсуждаемой проблемы и целей дискуссии.

Дискуссия- диалог чаще всего применяется для совместного обсуждения учебных и производственных проблем, решение которых может быть достигнуто путем взаимодополнения, группового взаимодействия по принципу «индивидуальных вкладов» или на основе согласования различных точек зрения, достижения консенсуса.

Дискуссия - спор используется для всестороннего рассмотрения сложных проблем, не имеющих однозначного решения даже в науке, социальной, политической жизни, производственной практике и т.д. Она построена на принципе «позиционного противостояния» и ее цель - не столько решить проблему, сколько побудить участников дискуссии задуматься над проблемой, уточнить и определить свою позицию; научить аргументировано отстаивать свою точку зрения и в то же время осознать право других иметь свой взгляд на эту проблему, быть индивидуальностью.

Условия эффективного проведения дискуссии:

- информированность и подготовленность студентов к дискуссии,
- свободное владение материалом, привлечение различных источников для аргументации отстаиваемых положений;
- правильное употребление понятий, используемых в дискуссии, их единообразное понимание;
- корректность поведения, недопустимость высказываний, задевающих личность оппонента; установление регламента выступления участников;
- полная включенность группы в дискуссию, участие каждого студента в ней.

Подготовка студентов к дискуссии: если тема объявлена заранее, то следует ознакомиться с указанной литературой, необходимыми справочными материалами, продумать свою позицию, четко сформулировать аргументацию, выписать цитаты, мнения специалистов.

В проведении дискуссии выделяется несколько этапов.

*Этап 1-й, введение в дискуссию***:** формулирование проблемы и целей дискуссии;

определение значимости проблемы, совместная выработка правил дискуссии; выяснение однозначности понимания темы дискуссии, используемых в ней терминов, понятий.

*Этап 2-й, обсуждение проблемы***:** обмен участниками мнениями по каждому вопросу. Цель этапа - собрать максимум мнений, идей, предложений, соотнося их друг с другом.

*Этап 3-й, подведение итогов обсуждения***:** выработка студентами согласованного мнения и принятие группового решения.

Далее подводятся итоги дискуссии, заслушиваются и защищаются проектные задания. После этого проводится "мозговой штурм" по нерешенным проблемам дискуссии, а также выявляются прикладные аспекты, которые можно рекомендовать для включения в курсовые и дипломные работы или в апробацию на практике.

Семинары-дискуссии проводятся с целью выявления мнения студентов по актуальным и проблемным вопросам.

7. Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

Экзамен - одна из важнейших частей учебного процесса, имеющая огромное значение.

Во-первых, готовясь к экзамену, студент приводит в систему знания, полученные на лекциях, семинарах, практических и лабораторных занятиях, разбирается в том, что осталось непонятным, и тогда изучаемая им дисциплина может быть воспринята в полном объеме с присущей ей строгостью и логичностью, ее практической направленностью. А это чрезвычайно важно для будущего специалиста.

Во-вторых, каждый хочет быть волевым и сообразительным., выдержанным и целеустремленным, иметь хорошую память, научиться быстро находить наиболее рациональное решение в трудных ситуациях. Очевидно, что все эти качества не только украшают человека, но и делают его наиболее действенным членом коллектива. Подготовка и сдача экзамена помогают студенту глубже усвоить изучаемые дисциплины, приобрести навыки и качества, необходимые хорошему специалисту.

Конечно, успех на экзамене во многом обусловлен тем, насколько систематически и глубоко работал студент в течение семестра. Совершенно очевидно, что серьезно продумать и усвоить содержание изучаемых дисциплин за несколько дней подготовки к экзамену просто невозможно даже для очень способного студента. И, кроме того, хорошо известно, что быстро выученные на память разделы учебной дисциплины так же быстро забываются после сдачи экзамена.

При подготовке к экзамену студенты не только повторяют и дорабатывают материал дисциплины, которую они изучали в течение семестра, они обобщают полученные знания, осмысливают методологию предмета, его систему, выделяют в нем основное и главное, воспроизводят общую картину с тем, чтобы яснее понять связь между отдельными элементами дисциплины. Вся эта обобщающая работа проходит в условиях напряжения воли и сознания, при значительном отвлечении от повседневной жизни, т. е. в условиях, благоприятствующих пониманию и запоминанию.

Подготовка к экзаменам состоит в приведении в порядок своих знаний. Даже самые способные студенты не в состоянии в короткий период зачетно-экзаменационной сессии усвоить материал целого семестра, если они над ним не работали в свое время. Для тех, кто мало занимался в семестре, экзамены принесут мало пользы: что быстро пройдено, то быстро и забудется. И хотя в некоторых случаях студент может «проскочить» через экзаменационный барьер, в его подготовке останется серьезный пробел, трудно восполняемый впоследствии.

Определив назначение и роль экзаменов в процессе обучения, попытаемся на этой основе пояснить, как лучше готовиться к ним.

Экзаменам, как правило, предшествует защита курсовых работ (проектов) и сдача зачетов. К экзаменам допускаются только студенты, защитившие все курсовые работы проекты) и сдавшие все зачеты. В вузе сдача зачетов организована так, что при систематической работе в течение семестра, своевременной и успешной сдаче всех текущих работ, предусмотренных графиком учебного процесса, большая часть зачетов не вызывает повышенной трудности у студента. Студенты, работавшие в семестре по плану, подходят к экзаменационной сессии без напряжения, без излишней затраты сил в последнюю, «зачетную» неделю.

Подготовку к экзамену следует начинать с первого дня изучения дисциплины. Как правило, на лекциях подчеркиваются наиболее важные и трудные вопросы или разделы дисциплины, требующие внимательного изучения и обдумывания. Нужно эти вопросы выделить и обязательно постараться разобраться в них, не дожидаясь экзамена, проработать их, готовясь к семинарам, практическим или лабораторным занятиям, попробовать самостоятельно решить несколько типовых задач. И если, несмотря на это, часть материала осталась неусвоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на то, что это не попадется на экзамене. Факты говорят об обратном; если те или другие вопросы учебной дисциплины не вошли в экзаменационный билет, преподаватель может их задать (и часто задает) в виде дополнительных вопросов.

Точно такое же отношение должно быть выработано к вопросам и задачам, перечисленным в программе учебной дисциплины, выдаваемой студентам в начале семестра. Обычно эти же вопросы и аналогичные задачи содержатся в экзаменационных билетах. Не следует оставлять без внимания ни одного раздела дисциплины: если не удалось в чем-то разобраться самому, нужно обратиться к товарищам; если и это не помогло выяснить какой-либо вопрос до конца, нужно обязательно задать этот вопрос преподавателю на предэкзаменационной консультации. Чрезвычайно важно приучить себя к умению самостоятельно мыслить, учиться думать, понимать суть дела. Очень полезно после проработки каждого раздела восстановить в памяти содержание изученного материала. кратко записав это на листе бумаги. создать карту памяти (умственную карту), изобразить необходимые схемы и чертежи (логико-графические схемы), например, отобразить последовательность вывода теоремы или формулы. Если этого не сделать, то большая часть материала останется не понятой, а лишь формально заученной, и при первом же вопросе экзаменатора студент убедится в том, насколько поверхностно он усвоил материал.

В период экзаменационной сессии происходит резкое изменение режима работы, отсутствует посещение занятий по расписанию. При всяком изменении режима работы очень важно скорее приспособиться к новым условиям. Поэтому нужно сразу выбрать такой режим работы, который сохранился бы в течение всей сессии, т. е. почти на месяц. Необходимо составить для себя новый распорядок дня, чередуя занятия с отдыхом. Для того чтобы сократить потерю времени на включение в работу, рабочие периоды целесообразно делать длительными, разделив день примерно на три части: с утра до обеда, с обеда до ужина и от ужина до сна.

Каждый рабочий период дня надо заканчивать отдыхом. Наилучший отдых в период экзаменационной сессии - прогулка, кратковременная пробежка или какой-либо неутомительный физический труд.

При подготовке к экзаменам основное направление дают программа учебной дисциплины и студенческий конспект, которые указывают, что наиболее важно знать и уметь делать. Основной материал должен прорабатываться по учебнику (если такой имеется) и учебным пособиям, так как конспекта далеко недостаточно для изучения дисциплины. Учебник должен быть изучен в течение семестра, а перед экзаменом сосредоточьте внимание на основных, наиболее сложных разделах. Подготовку по каждому разделу следует заканчивать восстановлением по памяти его краткого содержания в логической последовательности.

За один - два дня до экзамена назначается консультация. Если ее правильно использовать, она принесет большую пользу. Во время консультации студент имеет полную возможность получить ответ на нее ни ясные ему вопросы. А для этого он должен проработать до консультации все темы дисциплины. Кроме того, преподаватель будет отвечать на вопросы других студентов, что будет для вас повторением и закреплением знаний. И еще очень важное

обстоятельство: преподаватель на консультации, как правило, обращает внимание на те вопросы, по которым на предыдущих экзаменах ответы были неудовлетворительными, а также фиксирует внимание на наиболее трудных темах дисциплины. Некоторые студенты не приходят на консультации либо потому, что считают, что у них нет вопросов к преподавателю, либо полагают, что у них и так мало времени и лучше самому прочитать материал в конспекте или и учебнике. Это глубокое заблуждение. Никакая другая работа не сможет принести столь значительного эффекта накануне экзамена, как консультация преподавателя.

Но консультация не может возместить отсутствия длительной работы в течение семестра и помочь за несколько часов освоить материал, требующийся к экзамену. На консультации студент получает ответы на трудные или оставшиеся неясными вопросы и, следовательно, дорабатывается материал. Консультации рекомендуется посещать, подготовив к ним все вопросы, вызывающие сомнения. Если студент придет на консультацию, не проработав всего материала, польза от такой консультации будет невелика.

Итак, *основные советы* для подготовки к сдаче зачетов и экзаменов состоят в следующем:

- лучшая подготовка к зачетам и экзаменам - равномерная работа в течение всего семестра;
- используйте программы учебных дисциплин - это организует вашу подготовку к зачетам и экзаменам;
- учитывайте, что для полноценного изучения учебной дисциплины необходимо время;
- составляйте планы работы во времени;
- работайте равномерно и ритмично;
- курсовые работы (проекты) желательно защищать за одну - две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии;
- все зачеты необходимо сдавать до начала экзаменационной сессии;
- помните, что конспект не заменяет учебник и учебные пособия, а помогает выбрать из него основные вопросы и ответы;
- при подготовке наибольшее внимание и время уделяйте трудным и непонятным вопросам учебной дисциплины;
- грамотно используйте консультации;
- соблюдайте правильный режим труда и отдыха во время сессии, это сохранит работоспособность и даст хорошие результаты;
- учитесь владеть собой на зачете и экзамене;
- учитесь точно и кратко передавать свои мысли, поясняя их, если нужно, логико-графическими схемами.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальный сон, иначе в день экзамена не будет чувства бодрости и уверенности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильная организация самостоятельной работы позволяет обучающимся развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, способствует формированию навыков совершенствования профессионального мастерства.

Также внеаудиторное время включает в себя подготовку к аудиторным занятиям и изучение отдельных тем, расширяющих и углубляющих представления обучающихся по разделам изучаемой дисциплины.

Таким образом, обучающийся используя методические указания может в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

1) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;

2) добросовестное выполнение заданий;

3) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;

4) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам; выявление неточностей и некорректного изложения материала в периодической и специальной литературе;

5) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области управления персоналом;

6) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам для *HR*;

7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе студенческих научных обществ, круглых столах и диспутах по проблемам управления персоналом.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально - ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

2. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

3. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности (на материале немецкого языка): Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Уторов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.1.02 ИСТОРИЯ

Специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация №1

«Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых»

форма обучения: очная, заочная

Екатеринбург

2020

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий	4
2	Методические указания по подготовке к опросу	8
3	Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям	9
4	Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям	10
5	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	11
	Заключение	14
	Список использованных источников	15

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов может рассматриваться как организационная форма обучения - система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью студентов по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

Подразумевается несколько категорий видов самостоятельной работы студентов, значительная часть которых нашла отражения в данных методических рекомендациях:

- работа с источниками литературы и официальными документами (*использование библиотечно-информационной системы*);
- выполнение заданий для самостоятельной работы в рамках учебных дисциплин (*рефераты, эссе, домашние задания, решения практико-ориентированных заданий*);

- реализация элементов научно-педагогической практики (*разработка методических материалов, тестов, тематических портфолио*);
- реализация элементов научно-исследовательской практики (*подготовка текстов докладов, участие в исследованиях*).

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентовonline и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

1. Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий

Практико-ориентированные задания - метод анализа ситуаций. Суть его заключается в том, что студентам предлагают осмыслить реальную жизненную ситуацию, описание которой одновременно отражает не только какую-либо практическую проблему, но и актуализирует определенный комплекс знаний, который необходимо усвоить при разрешении данной проблемы. При этом сама проблема не имеет однозначных решений.

Использование метода практико-ориентированного задания как образовательной технологии профессионально-ориентированного обучения представляет собой сложный процесс, плохо поддающийся алгоритмизации[1]. Формально можно выделить следующие этапы:

- ознакомление студентовс текстом;
- анализ практико-ориентированного задания;
- организация обсуждения практико-ориентированного задания, дискуссии, презентации;
- оценивание участников дискуссии;
- подведение итогов дискуссии.

Ознакомление студентов с текстом практико-ориентированного задания и последующий анализ практико-ориентированного задания чаще всего осуществляются за несколько дней до его обсуждения и реализуются как самостоятельная работа студентов; при этом время, отводимое на подготовку, определяется видом практико-ориентированного задания, его объемом и сложностью.

Общая схема работы с практико-ориентированное заданием на данном этапе может быть представлена следующим образом: в первую очередь следует выявить ключевые проблемы практико-ориентированного задания и понять, какие именно из представленных данных важны для решения; войти в ситуационный контекст практико-ориентированного задания, определить, кто его главные действующие лица, отобрать факты и понятия,

[1] Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

необходимые для анализа, понять, какие трудности могут возникнуть при решении задачи; следующим этапом является выбор метода исследования.

Знакомство с небольшими практико-ориентированного заданиями и их обсуждение может быть организовано непосредственно на занятиях. Принципиально важным в этом случае является то, чтобы часть теоретического курса, на которой базируется практико-ориентированное задание, была бы прочитана и проработана студентами.

Максимальная польза из работы над практико-ориентированного заданиями будет извлечена в том случае, если аспиранты при предварительном знакомстве с ними будут придерживаться систематического подхода к их анализу, основные шаги которого представлены ниже:

1. Выпишите из соответствующих разделов учебной дисциплины ключевые идеи, для того, чтобы освежить в памяти теоретические концепции и подходы, которые Вам предстоит использовать при анализе практико-ориентированного задания.
2. Бегло прочтите практико-ориентированное задание, чтобы составить о нем общее представление.
3. Внимательно прочтите вопросы к практико-ориентированное задание и убедитесь в том, что Вы хорошо поняли, что Вас просят сделать.
4. Вновь прочтите текст практико-ориентированного задания, внимательно фиксируя все факторы или проблемы, имеющие отношение к поставленным вопросам.
5. Прикиньте, какие идеи и концепции соотносятся с проблемами, которые Вам предлагается рассмотреть при работе с практико-ориентированное заданием.

Организация обсуждения практико-ориентированного задания предполагает формулирование перед студентами вопросов, включение их в дискуссию. Вопросы обычно подготавливают заранее и предлагают студентам вместе с текстом практико-ориентированного задания. При разборе учебной ситуации преподаватель может занимать активную или пассивную позицию, иногда он «дирижирует» разбором, а иногда ограничивается подведением итогов дискуссии.

Организация обсуждения практико-ориентированных заданий обычно основывается на двух методах. Первый из них носит название традиционного Гарвардского метода - открытая дискуссия. Альтернативным методом является метод, связанный с индивидуальным или групповым опросом, в ходе которого аспиранты делают формальную устную оценку ситуации и предлагают анализ представленного практико-ориентированного задания, свои решения и рекомендации, т.е. делают презентацию. Этот метод позволяет некоторым студентам минимизировать их учебные усилия, поскольку каждый аспирант опрашивается один- два раза за занятие. Метод развивает у студентов коммуникативные навыки, учит их четко выражать свои мысли. Однако, этот метод менее динамичен, чем Гарвардский метод. В открытой дискуссии организация и контроль участников более сложен.

Дискуссия занимает центральное место в методе. Ее целесообразно использовать в том случае, когда аспиранты обладают значительной степенью зрелости и самостоятельности мышления, умеют аргументировать, доказывать и обосновывать свою точку зрения. Важнейшей характеристикой дискуссии является уровень ее компетентности, который складывается из компетентности ее участников. Неподготовленность студентов к дискуссии делает ее формальной, превращает в процесс вытаскивания ими информации у преподавателя, а не самостоятельное ее добывание.

Особое место в организации дискуссии при обсуждении и анализе практико-ориентированного задания принадлежит использованию метода генерации идей, получившего название «мозговой атаки» или «мозгового штурма».

Метод «мозговой атаки» или «мозгового штурма» был предложен в 30-х годах прошлого столетия А. Осборном как групповой метод решения проблем. К концу XX столетия этот метод приобрел особую популярность в практике управления и обучения не только как самостоятельный метод, но и как использование в процессе деятельности с целью усиления ее продуктивности. В процессе обучения «мозговая атака» выступает в

качестве важнейшего средства развития творческой активности студентов. «Мозговая атака» включает в себя три фазы.

Первая фаза представляет собой вхождение в психологическую раскованность, отказ от стереотипности, страха показаться смешным и неудачником; достигается созданием благоприятной психологической обстановки и взаимного доверия, когда идеи теряют авторство, становятся общими. Основная задача этой фазы - успокоиться и расковаться.

Вторая фаза - это собственно атака; задача этой фазы - породить поток, лавину идей. «Мозговая атака» в этой фазе осуществляется по следующим принципам:

- есть идея, - говорю, нет идеи, - не молчу;
- поощряется самое необузданное ассоциирование, чем более дикой покажется идея, тем лучше;
- количество предложенных идей должно быть как можно большим;
- высказанные идеи разрешается заимствовать и как угодно комбинировать, а также видоизменять и улучшать;
- исключается критика, можно высказывать любые мысли без боязни, что их признают плохими, критикующих лишают слова;
- не имеют никакого значения социальные статусы участников; это абсолютная демократия и одновременно авторитаризм сумасшедшей идеи;
- все идеи записываются в протокольный список идей;
- время высказываний - не более 1-2 минут.

Третья фаза представляет собой творческий анализ идей с целью поиска конструктивного решения проблемы по следующим правилам:

- анализировать все идеи без дискриминации какой-либо из них;
- найти место идее в системе и найти систему под идею;
- не умножать сущностей без надобности;
- не должна нарушаться красота и изящество полученного результата;
- должно быть принципиально новое видение;
- ищи «жемчужину в навозе».

В методе мозговая атака применяется при возникновении у группы реальных затруднений в осмыслении ситуации, является средством повышения активности студентов. В этом смысле мозговая атака представляется не как инструмент поиска новых решений, хотя и такая ее роль не исключена, а как своеобразное «подталкивание» к познавательной активности.

Презентация, или представление результатов анализа практико-ориентированного задания, выступает очень важным аспектом метода ***case-study***. Умение публично представить интеллектуальный продукт, хорошо его рекламировать, показать его достоинства и возможные направления эффективного использования, а также выстоять под шквалом критики, является очень ценным интегральным качеством современного специалиста. Презентация оттачивает многие глубинные качества личности: волю, убежденность, целенаправленность, достоинство и т.п.; она вырабатывает навыки публичного общения, формирования своего собственного имиджа.

Публичная (устная) презентация предполагает представление решений практико-ориентированного задания группе, она максимально вырабатывает навыки публичной деятельности и участия в дискуссии. Устная презентация обладает свойством кратковременного воздействия на студентов и, поэтому, трудна для восприятия и запоминания. Степень подготовленности выступающего проявляется в спровоцированной им дискуссии: для этого необязательно делать все заявления очевидными и неопровержимыми. Такая подача материала при анализе практико-ориентированного задания может послужить началом дискуссии. При устной презентации необходимо учитывать эмоциональный настрой выступающего: отношение и эмоции говорящего вносят существенный вклад в сообщение. Одним из преимуществ публичной (устной) презентации является ее гибкость. Оратор может откликаться на изменения окружающей обстановки, адаптировать свой стиль и материал, чувствуя настроение аудитории.

Непубличная презентация менее эффектна, но обучающая роль ее весьма велика. Чаще всего непубличная презентация выступает в виде подготовки отчета по выполнению задания, при этом стимулируются такие качества, как умение подготовить текст, точно и аккуратно составить отчет, не допустить ошибки в расчетах и т.д. Подготовка письменного анализа практико-ориентированного задания аналогична подготовке устного, с той разницей, что письменные отчеты-презентации обычно более структурированы и детализированы. Основное правило письменного анализа практико-ориентированного задания заключается в том, чтобы избегать простого повторения информации из текста, информация должна быть представлена в переработанном виде. Самым важным при этом является собственный анализ представленного материала, его соответствующая интерпретация и сделанные предложения. Письменный отчет - презентация может сдаваться по истечении некоторого времени после устной презентации, что позволяет студентам более тщательно проанализировать всю информацию, полученную в ходе дискуссии.

Как письменная, так и устная презентация результатов анализа практико-ориентированного задания может быть групповая и индивидуальная. Отчет может быть индивидуальным или групповым в зависимости от сложности и объема задания. Индивидуальная презентация формирует ответственность, собранность, волю; групповая - аналитические способности, умение обобщать материал, системно видеть проект.

Оценивание участников дискуссии является важнейшей проблемой обучения посредством метода практико-ориентированного задания. При этом выделяются следующие требования к оцениванию:

- объективность - создание условий, в которых бы максимально точно выявлялись знания обучаемых, предъявление к ним единых требований, справедливое отношение к каждому;
- обоснованность оценок - их аргументация;
- систематичность - важнейший психологический фактор, организующий и дисциплинирующий студентов, формирующий настойчивость и устремленность в достижении цели;
- всесторонность и оптимальность.

Оценивание участников дискуссии предполагает оценивание не столько набора определенных знаний, сколько умения студентов анализировать конкретную ситуацию, принимать решение, логически мыслить.

Следует отметить, что оценивается содержательная активность студента в дискуссии или публичной (устной) презентации, которая включает в себя следующие составляющие:

- выступление, которое характеризует попытку серьезного предварительного
- анализа (правильность предложений, подготовленность,
- аргументированность и т.д.);
- обращение внимания на определенный круг вопросов, которые требуют углубленного обсуждения;
- владение категориальным аппаратом, стремление давать определения, выявлять содержание понятий;
- демонстрация умения логически мыслить, если точки зрения, высказанные раньше, подытоживаются и приводят к логическим выводам;
- предложение альтернатив, которые раньше оставались без внимания;
- предложение определенного плана действий или плана воплощения решения;
- определение существенных элементов, которые должны учитываться при анализе практико-ориентированного задания;
- заметное участие в обработке количественных данных, проведении расчетов;
- подведение итогов обсуждения.

При оценивании анализа практико-ориентированного задания, данного студентами при непубличной (письменной) презентации учитывается:

- формулировка и анализ большинства проблем, имеющихся в практико-ориентированное задание;
- формулировка собственных выводов на основании информации о практико-ориентированное задание, которые отличаются от выводов других студентов;
- демонстрация адекватных аналитических методов для обработки информации;
- соответствие приведенных в итоге анализа аргументов ранее выявленным проблемам, сделанным выводам, оценкам и использованным аналитическим метода

2. Методические указанияпо подготовке к опросу

Самостоятельная работа обучающихся включает подготовку к устному или письменному опросу на семинарских занятиях. Для этого обучающийся изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

Письменный опрос

В соответствии с технологической картой письменный опрос является одной из форм текущего контроля успеваемости студента по данной дисциплине. При подготовке к письменному опросу студент должен внимательно изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

При изучении материала студент должен убедиться, что хорошо понимает основную терминологию темы, умеет ее использовать в нужном контексте. Желательно составить краткий конспект ответа на предполагаемые вопросы письменной работы, чтобы убедиться в том, что студент владеет материалом и может аргументировано, логично и грамотно письменно изложить ответ на вопрос. Следует обратить особое внимание на написание профессиональных терминов, чтобы избегать грамматических ошибок в работе. При изучении новой для студента терминологии рекомендуется изготовить карточки, которые содержат новый термин и его расшифровку, что значительно облегчит работу над материалом.

Устный опрос

Целью устного собеседования являются обобщение и закрепление изученного курса. Студентам предлагаются дляосвещения сквозные концептуальные проблемы. При подготовке следует использовать лекционный материал и учебную литературу. Для более глубокого постижения курса и более основательной подготовки рекомендуется познакомиться с указанной дополнительной литературой. Готовясь к семинару, студент должен, прежде всего, ознакомиться с общим планом семинарского занятия. Следует внимательно прочесть свой конспект лекции по изучаемой теме и рекомендуемую к теме семинара литературу. С незнакомыми терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии[2].

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубинаответа.
3. Сознательность ответа(учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложенияматериала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться профессиональной терминологией).

[2]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

5. Рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели).
6. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).
8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[3].

Ответ на каждый вопрос из плана семинарского занятия должен быть содержательным и аргументированным. Для этого следует использовать документы, монографическую, учебную и справочную литературу.

Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы. В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 4 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

3.Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

На практических занятиях необходимо стремиться к самостоятельному решению задач, находя для этого более эффективные методы. При этом студентам надо приучить себя доводить решения задач до конечного «идеального» ответа. Это очень важно для будущих специалистов. Практические занятия вырабатывают навыки самостоятельной творческой работы, развивают мыслительные способности.

Практическое занятие – активная форма учебного процесса, дополняющая теоретический курс или лекционную часть учебной дисциплины и призванная помощь обучающимся освоиться в «пространстве» (тематике) дисциплины, самостоятельно прооперировать теоретическими знаниями на конкретном учебном материале.

Продолжительность одного практического занятия – от 2 до 4 академических часов. Общая доля практических занятий в учебном времени на дисциплину – от 10 до 20 процентов (при условии, что все активные формы займут в учебном времени на дисциплину от 40 до 60 процентов).

Для практического занятия в качестве темы выбирается обычно такая учебная задача, которая предполагает не существенные эвристические и аналитические напряжения и продвижения, а потребность обучающегося «потрогать» материал, опознать в конкретном то общее, о чем говорилось в лекции. Например, при рассмотрении вопросов оплаты труда, мотивации труда и проблем безработицы в России имеет смысл провести практические занятия со следующими сюжетами заданий: «Расчет заработной платы работников предприятия». «Разработка механизма мотивации труда на предприятии N». «В чем причины и особенности безработицы в России?». Последняя тема предполагает уже некоторую аналитическую составляющую. Основная задача первой из этих тем - самим посчитать заработную плату для различных групп работников на примере заданных параметров для конкретного предприятия, т. е. сделать расчеты «как на практике»; второй – дать собственный вариант мотивационной политики для предприятия, учитывая особенности данного объекта, отрасли и т.д.; третьей – опираясь на теоретические знания в области проблем занятости и безработицы, а также статистические материалы, сделать

[3]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

авторские выводы о видах безработицы, характерных для России, и их причинах, а также предложить меры по минимизации безработицы.

Перед проведением занятия должен быть подготовлен специальный материал – тот объект, которым обучающиеся станут оперировать, активизируя свои теоретические (общие) знания и тем самым, приобретая навыки выработки уверенных суждений и осуществления конкретных действий.

Дополнительный материал для практического занятия лучше получить у преподавателя заранее, чтобы у студентов была возможность просмотреть его и подготовить вопросы.

Условия должны быть такими, чтобы каждый мог работать самостоятельно от начала до конца. В аудитории должны быть «под рукой» необходимые справочники и тексты законов и нормативных актов по тематике занятия. Чтобы сделать практическое занятие максимально эффективным, надо заранее подготовить и изучить материал по наиболее интересным и практически важным темам.

Особенности практического занятия с использованием компьютера

Для того чтобы повысить эффективность проведения практического занятия, может использоваться компьютер по следующим направлениям:

- поиск информации в Интернете по поставленной проблеме: в этом случае преподаватель представляет обучающимся перечень рекомендуемых для посещения Интернет-сайтов;
- использование прикладных обучающих программ;
- выполнение заданий с использованием обучающимися заранее установленных преподавателем программ;
- использование программного обеспечения при проведении занятий, связанных с моделированием социально-экономических процессов.

4.Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям

Семинар представляет собой комплексную форму и завершающее звено в изучении определенных тем, предусмотренных программой учебной дисциплины. Комплексность данной формы занятий определяется тем, что в ходе её проведения сочетаются выступления обучающихся и преподавателя: рассмотрение обсуждаемой проблемы и анализ различных, часто дискуссионных позиций; обсуждение мнений обучающихся и разъяснение (консультация) преподавателя; углубленное изучение теории и приобретение навыков умения ее использовать в практической работе.

По своему назначению семинар, в процессе которого обсуждается та или иная научная проблема, способствует:

- углубленному изучению определенного раздела учебной дисциплины, закреплению знаний;
- отработке методологии и методических приемов познания;
- выработке аналитических способностей, умения обобщения и формулирования выводов;
- приобретению навыков использования научных знаний в практической деятельности;
- выработке умения кратко, аргументированно и ясно излагать обсуждаемые вопросы;
- осуществлению контроля преподавателя за ходом обучения.

Семинары представляет собой дискуссию в пределах обсуждаемой темы (проблемы). Дискуссия помогает участникам семинара приобрести более совершенные знания, проникнуть в суть изучаемых проблем. Выработать методологию, овладеть методами анализа социально-экономических процессов. Обсуждение должно носить творческий характер с четкой и убедительной аргументацией.

По своей структуре семинар начинается со вступительного слова преподавателя, в котором кратко излагаются место и значение обсуждаемой темы (проблемы) в данной

дисциплине, напоминаются порядок и направления ее обсуждения. Конкретизируется ранее известный обучающимся план проведения занятия. После этого начинается процесс обсуждения вопросов обучающимися. Завершается занятие заключительным словом преподавателя.

Проведение семинарских занятий в рамках учебной группы (20 - 25 человек) позволяет обеспечить активное участие в обсуждении проблемы всех присутствующих.

По ходу обсуждения темы помните, что изучение теории должно быть связано с определением (выработкой) средств, путей применения теоретических положений в практической деятельности, например, при выполнении функций государственного служащего. В то же время важно не свести обсуждение научной проблемы только к пересказу случаев из практики работы, к критике имеющих место недостатков. Дискуссии имеют важное значение: учат дисциплине ума, умению выступать по существу, мыслить логически, выделяя главное, критически оценивать выступления участников семинара.

В процессе проведения семинара обучающиеся могут использовать разнообразные по своей форме и характеру пособия (от доски смелом до самых современных технических средств), демонстрируя фактический, в том числе статистический материал, убедительно подтверждающий теоретические выводы и положения. В завершение обсудите результаты работы семинара и сделайте выводы, что хорошо усвоено, а над чем следует дополнительно поработать.

В целях эффективности семинарских занятий необходима обстоятельная подготовка к их проведению. В начале семестра (учебного года) возьмите в библиотеке необходимые методические материалы для своевременной подготовки к семинарам. Во время лекций, связанных с темой семинарского занятия, следует обращать внимание на то, что необходимо дополнительно изучить при подготовке к семинару (новые официальные документы, статьи в периодических журналах, вновь вышедшие монографии и т.д.).

5.Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

Экзамен - одна из важнейших частей учебного процесса, имеющая огромное значение.

Во-первых, готовясь к экзамену, студент приводит в систему знания, полученные на лекциях, семинарах, практических и лабораторных занятиях, разбирается в том, что осталось непонятным, и тогда изучаемая им дисциплина может быть воспринята в полном объеме с присущей ей строгостью и логичностью, ее практической направленностью. А это чрезвычайно важно для будущего специалиста.

Во-вторых, каждый хочет быть волевым и сообразительным., выдержанным и целеустремленным, иметь хорошую память, научиться быстро находить наиболее рациональное решение в трудных ситуациях. Очевидно, что все эти качества не только украшают человека, но и делают его наиболее действенным членом коллектива. Подготовка и сдача экзамена помогают студенту глубже усвоить изучаемые дисциплины, приобрести навыки и качества, необходимые хорошему специалисту.

Конечно, успех на экзамене во многом обусловлен тем, насколько систематически и глубоко работал студент в течение семестра. Совершенно очевидно, что серьезно продумать и усвоить содержание изучаемых дисциплин за несколько дней подготовки к экзамену просто невозможно даже для очень способного студента. И, кроме того, хорошо известно, что быстро выученные на память разделы учебной дисциплины так же быстро забываются после сдачи экзамена.

При подготовке к экзамену студенты не только повторяют и дорабатывают материал дисциплины, которую они изучали в течение семестра, они обобщают полученные знания, осмысливают методологию предмета, его систему, выделяют в нем основное и главное, воспроизводят общую картину с тем, чтобы яснее понять связь между отдельными элементами дисциплины. Вся эта обобщающая работа проходит в условиях напряжения

воли и сознания, при значительном отвлечении от повседневной жизни, т. е. в условиях, благоприятствующих пониманию и запоминанию.

Подготовка к экзаменам состоит в приведении в порядок своих знаний. Даже самые способные студенты не в состоянии в короткий период зачетно-экзаменационной сессии усвоить материал целого семестра, если они над ним не работали в свое время. Для тех, кто мало занимался в семестре, экзамены принесут мало пользы: что быстро пройдено, то быстро и забудется. И хотя в некоторых случаях студент может «проскочить» через экзаменационный барьер, в его подготовке останется серьезный пробел, трудно восполняемый впоследствии.

Определив назначение и роль экзаменов в процессе обучения, попытаемся на этой основе пояснить, как лучше готовиться к ним.

Экзаменам, как правило, предшествует защита курсовых работ (проектов) и сдача зачетов. К экзаменам допускаются только студенты, защитившие все курсовые работы проекты) и сдавшие все зачеты. В вузе сдача зачетов организована так, что при систематической работе в течение семестра, своевременной и успешной сдаче всех текущих работ, предусмотренных графиком учебного процесса, большая часть зачетов не вызывает повышенной трудности у студента. Студенты, работавшие в семестре по плану, подходят к экзаменационной сессии без напряжения, без излишней затраты сил в последнюю, «зачетную» неделю.

Подготовку к экзамену следует начинать с первого дня изучения дисциплины. Как правило, на лекциях подчеркиваются наиболее важные и трудные вопросы или разделы дисциплины, требующие внимательного изучения и обдумывания. Нужно эти вопросы выделить и обязательно постараться разобраться в них, не дожидаясь экзамена, проработать их, готовясь к семинарам, практическим или лабораторным занятиям, попробовать самостоятельно решить несколько типовых задач. И если, несмотря на это, часть материала осталась неусвоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на то, что это не попадется на экзамене. Факты говорят об обратном; если те или другие вопросы учебной дисциплины не вошли в экзаменационный билет, преподаватель может их задать (и часто задает) в виде дополнительных вопросов.

Точно такое же отношение должно быть выработано к вопросам и задачам, перечисленным в программе учебной дисциплины, выдаваемой студентам в начале семестра. Обычно эти же вопросы и аналогичные задачи содержатся в экзаменационных билетах. Не следует оставлять без внимания ни одного раздела дисциплины: если не удалось в чем-то разобраться самому, нужно обратиться к товарищам; если и это не помогло выяснить какой-либо вопрос до конца, нужно обязательно задать этот вопрос преподавателю на предэкзаменационной консультации. Чрезвычайно важно приучить себя к умению самостоятельно мыслить, учиться думать, понимать суть дела. Очень полезно после проработки каждого раздела восстановить в памяти содержание изученного материала. кратко записав это на листе бумаги. создать карту памяти (умственную карту), изобразить необходимые схемы и чертежи (логико-графические схемы), например, отобразить последовательность вывода теоремы или формулы. Если этого не сделать, то большая часть материала останется не понятой, а лишь формально заученной, и при первом же вопросе экзаменатора студент убедится в том, насколько поверхностно он усвоил материал.

В период экзаменационной сессии происходит резкое изменение режима работы, отсутствует посещение занятий по расписанию. При всяком изменении режима работы очень важно скорее приспособиться к новым условиям. Поэтому нужно сразу выбрать такой режим работы, который сохранился бы в течение всей сессии, т. е. почти на месяц. Необходимо составить для себя новый распорядок дня, чередуя занятия с отдыхом. Для того чтобы сократить потерю времени на включение в работу, рабочие периоды целесообразно делать длительными, разделив день примерно на три части: с утра до обеда, с обеда до ужина и от ужина до сна.

Каждый рабочий период дня надо заканчивать отдыхом. Наилучший отдых в период экзаменационной сессии - прогулка, кратковременная пробежка или какой-либо неутомительный физический труд.

При подготовке к экзаменам основное направление дают программа учебной дисциплины и студенческий конспект, которые указывают, что наиболее важно знать и уметь делать. Основной материал должен прорабатываться по учебнику (если такой имеется) и учебным пособиям, так как конспекта далеко недостаточно для изучения дисциплины, Учебник должен быть изучен в течение семестра, а перед экзаменом сосредоточьте внимание на основных, наиболее сложных разделах. Подготовку по каждому разделу следует заканчивать восстановлением по памяти его краткого содержания в логической последовательности.

За один - два дня до экзамена назначается консультация. Если ее правильно использовать, она принесет большую пользу. Во время консультации студент имеет полную возможность получить ответ на нее ни ясные ему вопросы. А для этого он должен проработать до консультации все темы дисциплины. Кроме того, преподаватель будет отвечать на вопросы других студентов, что будет для вас повторением и закреплением знаний. И еще очень важное обстоятельство: преподаватель на консультации, как правило, обращает внимание на те вопросы, по которым на предыдущих экзаменах ответы были неудовлетворительными, а также фиксирует внимание на наиболее трудных темах дисциплины. Некоторые студенты не приходят на консультации либо потому, что считают, что у них нет вопросов к преподавателю, либо полагают, что у них и так мало времени и лучше самому прочитать материал в конспекте или и учебнике. Это глубокое заблуждение. Никакая другая работа не сможет принести столь значительного эффекта накануне экзамена, как консультация преподавателя.

Но консультация не может возместить отсутствия длительной работы в течение семестра и помочь за несколько часов освоить материал, требующийся к экзамену. На консультации студент получает ответы на трудные или оставшиеся неясными вопросы и, следовательно, дорабатывается материал. Консультации рекомендуется посещать, подготовив к ним все вопросы, вызывающие сомнения. Если студент придет на консультацию, не проработав всего материала, польза от такой консультации будет невелика.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальным сон. Подготовка к экзамену не должна идти в ущерб сну, иначе в день экзамена не будет чувства свежести и бодрости, необходимых для хороших ответов. Вечер накануне экзамена рекомендуем закончить небольшой прогулкой.

Итак, *основные советы* для подготовки к сдаче зачетов и экзаменов состоят в следующем:

- лучшая подготовка к зачетам и экзаменам - равномерная работа в течение всего семестра;
- используйте программы учебных дисциплин - это организует вашу подготовку к зачетам и экзаменам;
- учитывайте, что для полноценного изучения учебной дисциплины необходимо время;
- составляйте планы работы во времени;
- работайте равномерно и ритмично;
- курсовые работы (проекты) желательно защищать за одну - две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии;
- все зачеты необходимо сдавать до начала экзаменационной сессии;
- помните, что конспект не заменяет учебник и учебные пособия, а помогает выбрать из него основные вопросы и ответы;
- при подготовке наибольшее внимание и время уделяйте трудным и непонятным вопросам учебной дисциплины;
- грамотно используйте консультации;

- соблюдайте правильный режим труда и отдыха во время сессии, это сохранит работоспособность и даст хорошие результаты;
- учитесь владеть собой на зачете и экзамене;
- учитесь точно и кратко передавать свои мысли, поясняя их, если нужно, логико-графическими схемами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильная организация самостоятельной работы позволяет обучающимся развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, способствует формированию навыков совершенствования профессионального мастерства. Также внеаудиторное время включает в себя подготовку к аудиторным занятиям и изучение отдельных тем, расширяющих и углубляющих представления обучающихся по разделам изучаемой дисциплины.

Таким образом, обучающийся используя методические указания может в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

1) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;

2) добросовестное выполнение заданий;

3) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;

4) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам; выявление неточностей и некорректного изложения материала в периодической и специальной литературе;

5) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области управления персоналом;

6) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам для *HR*;

7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе студенческих научных обществ, круглых столах и диспутах по проблемам управления персоналом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брандес М. П. Немецкий язык. Переводческое реферирование: практикум. М.: КДУ, 2008. – 368с.

2. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально - ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

3. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

4. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности: Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

5. Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа:http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

по дисциплине
Б1.Б.1.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Специальность:
21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.
Одобрена на заседании кафедры
Иностранных языков и деловой коммуникации
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
к.п.н., доц. Юсупова Л. Г.
(Дата)

Екатеринбург
2020

Содержание

Цели и задачи дисциплины …….…….....3
Требования к оформлению контрольной работы ……..……..4
Содержание контрольной работы…….....4
Выполнение работы над ошибками……...…8
Критерии оценивания контрольной работы ……9
Образец титульного листа ……..…10

Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины: повышение исходного уровня владения иностранным языком, достигнутого на предыдущей ступени образования, и достижение уровня иноязычной коммуникативной компетенции достаточного для общения в социально-бытовой, культурной и профессиональной сферах, а также для дальнейшего самообразования.

Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины:

общекультурные:

- способностью к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия (ОК-6).

Для достижения указанной цели необходимо (задачи курса):

- владение иностранным языком как средством коммуникации в социально-бытовой, культурной и профессиональной сферах;
- развитие когнитивных и исследовательских умений с использованием ресурсов на иностранном языке;
- развитие информационной культуры;
- расширение кругозора и повышение общей гуманитарной культуры студентов;
- воспитание толерантности и уважения к духовным ценностям разных стран и народов.

Методические указания по выполнению контрольной работы предназначены для студентов очной и заочной формы обучения, обучающихся по специальности *21.05.03 Технология геологической разведки.*

Письменная контрольная работа является обязательной формой *промежуточной аттестации.* Она отражает степень освоения студентом учебного материала по дисциплине Б1.Б.1.03 Иностранный язык. А именно, в результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- особенности фонетического строя иностранного языка;
- лексические единицы социально-бытовой и академической тематики, основы терминосистемы соответствующего направления подготовки;
- основные правила грамматической системы иностранного языка;
- особенности построения устных высказываний и письменных текстов разных стилей речи;
- правила речевого этикета в соответствии с ситуациями межличностного и межкультурного общения в социально-бытовой, академической и деловой сферах;
- основную страноведческую информацию о странах изучаемого языка;
- лексико-грамматические явления иностранного языка профессиональной сферы для решения задач профессиональной деятельности;

Уметь:

- вести диалог/полилог и строить монологическое высказывание в пределах изученных тем;
- понимать на слух иноязычные тексты монологического и диалогического характера с различной степенью понимания в зависимости от коммуникативной задачи;
- читать аутентичные тексты прагматического, публицистического, художественного и научного характера с целью получения значимой информации;
- передавать основное содержание прослушанного/прочитанного текста;
- записывать тезисы устного сообщения, писать эссе по изученной тематике, составлять аннотации текстов, вести личную и деловую переписку;
- использовать компенсаторные умения в процессе общения на иностранном языке;

- пользоваться иностранным языком в устной и письменной формах, как средством профессионального общения;

Владеть:

- основными приёмами организации самостоятельной работы с языковым материалом с использованием учебной и справочной литературы, электронных ресурсов;
- навыками выполнения проектных заданий на иностранном языке в соответствии с уровнем языковой подготовки;
- умением применять полученные знания иностранного языка в своей будущей профессиональной деятельности.

Требования к оформлению контрольной работы

Контрольные задания выполняются на листах формата А4 в рукописном виде, кроме титульного листа. На титульном листе (см. образец оформления титульного листа в печатном виде) указывается фамилия студента, номер группы, номер контрольной работы и фамилия преподавателя, у которого занимается обучающийся.

В конце работы должна быть поставлена подпись студента и дата выполнения заданий.

Контрольные задания должны быть выполнены в той последовательности, в которой они даны в контрольной работе.

Выполненную контрольную работу необходимо сдать преподавателю для проверки в установленные сроки.

Если контрольная работа выполнена без соблюдения изложенных выше требований, она возвращается студенту для повторного выполнения.

По дисциплине «Иностранный язык (английский)» представлено три варианта контрольной работы.

Номер варианта контрольной работы определяется для студентов в соответствии с начальными буквами их фамилий в алфавитном порядке. Например, студенты, у которых фамилии начинаются с букв А, выполняют контрольную работу № 1 и т.д. (см. таблицу №1).

Таблица №1

начальная буква фамилии студента	***№ варианта контрольной работы***
А, Г, Ж, К, Н, Р, У, Ц, Щ	№1
Б, Д, З, Л, О, С, Ф, Ч, Э, Я	№2
В, Е, И, М, П, Т, Х, Ш, Ю	№3

Содержание контрольной работы

Контрольная работа проводится по теме *1. Бытовая сфера общения (Я и моя семья)* и *теме 2. Учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование)* и направлена на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Контрольная работа также направлена на проверку сформированности грамматического навыка в рамках тем: порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях, порядок слов в вопросительном предложении, безличные предложения, местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные), имя существительное, артикли (определенный, неопределенный, нулевой), функции и спряжение глаголов *to be* и *to have, о*борот *there+be,* имя прилагательное и наречие, степени сравнения, сравнительные конструкции, имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат), образование видовременных форм глагола в активном залоге.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице №2:

Таблица №2

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях	148	9
Порядок слов в вопросительном предложении	163-170	10, 24
Безличные предложения	149	440
Местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные)	41-55	101, 439
Имя существительное	66-78	435
Артикли (определенный, неопределенный, нулевой)	78-84	433
Функции и спряжение глаголов *to be* и *to have*	102-104	6-8
Оборот *there+be*	105-107	100
Имя прилагательное и наречие	115	83
Степени сравнения, сравнительные конструкции	115-121	143
Имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат)	261-271	-
Образование видовременных форм глагола в активном залоге	193-209	10, 36, 69

АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК

Вариант №1

Задание 1. Заполните пропуски в предложениях, выбрав один ответ.

Пример: Michael _____ everyone he meets because he is very sociable and easygoing. He has five brothers and two sisters, so that probably helped him learn how to deal with people.

A. gets divorced; **B. gets along well with;** C. gets married;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Заполните пропуски местоимениями some, any, no или их производными.

Пример: A: Is ***anything*** the matter with Dawn? She looks upset.

B: She had an argument with her friend today.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «неопределённые местоимения».

Задание 3. Заполните пропуски личными местоимениями (I, we, you, he, she, it, they, me, us, him, her, them).

Пример: My teacher is very nice. I like … . – I like **him**.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «личные и притяжательные местоимения».

Задание 4. Поставьте в правильную форму глагол, представленный в скобках, обращая при этом внимание на использованные в предложениях маркеры.

Пример: Every morning George **eats** (to eat) cereals, and his wife only **drinks** (to drink) a cup of coffee.

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 5. Составьте вопросительные предложения и дайте краткие ответы на них.

Пример: Paul was tired when he got home. – ***Was Paul tired when he got home? Yes, he was.***

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Контрольная работа
Вариант №2

Задание 1. Заполните пропуск, выбрав один вариант ответа.

Пример: A British university year is divided into three _____.

1) conferences; 2) sessions; **3) terms**; 4) periods;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Выберите правильную форму глагола.

Пример: A: I have a Physics exam tomorrow.

B: Oh dear. Physics **is/**are a very difficult subject.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «имя существительное, функции и спряжение глаголов to be и to have».

Задание 3. Раскройте скобки, употребив глагол в форме Present Continuous, Past Continuous или Future Continuous.

Пример: I **shall be studying** (study) Japanese online from 5 till 6 tomorrow evening.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 4. Составьте вопросы к словам, выделенным жирным шрифтом.

Пример: **The Petersons** have bought a dog. – *Who has bought a dog?*

The Petersons have bought **a dog. –** *What have the Petersons bought?*

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Задание 5. Подчеркните правильный вариант ответа.

Пример: A: You haven't seen my bag anywhere, haven't you**/<u>have you</u>**?

B: No. You didn't leave it in the car, **<u>did you</u>**/didn't you?

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Контрольная работа
Вариант № 3

Задание 1. Заполните пропуски, выбрав один вариант ответа.

Пример: The University accepts around 2000 new ____ every year.

1) students; 2) teachers; 3) pupils; 4) groups;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Поставьте в предложения подходящие по смыслу фразы:

as red as a beet (свекла), as slow as a turtle, as sweet as honey, as busy as a bee, as clumsy as a bear (неуклюжий), as black as coal, as cold as ice, as slippery as an eel (изворотливый как угорь), as free as a bird, as smooth as silk (гладкий)

Пример: Your friend is so unemotional, he is **as cold as ice**.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «имя прилагательное и наречие».

Задание 3. Переведите следующие предложения на английский язык.

Пример: Это самая ценная картина в Русском музее. **This is the most valuable picture in Russian Museum.**

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «степени сравнения имени прилагательного и наречий».

Задание 4. Раскройте скобки, употребив глагол в форме Present Perfect, Past Perfect или Future Perfect.

Пример: Sam **has lost** (lose) his keys. So he can't open the door.

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 5. Задайте вопросы к предложениям.

Пример: There are two books. The one on the table is Sue's.

a) 'Which *book is Sue's*?' 'The one on the table.'

b) 'Whose *book is on the table*?' 'Sue's.'

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

НЕМЕЦКИЙ ЯЗЫК

Задание 1. Заполните пропуски в предложениях, выбрав один ответ.

Пример: Mein Bruder ... Arzt geworden

A. hat; **B. ist**; C. wird;

Задание 1 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Пассивный залог».

Задание 2. Вставьте подходящее вопросительное слово.

Пример: **Was** machen Sie am Wochenende?

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Вопросительные местоимения».

Задание 3. Заполните пропуски возвратными местоимениями в нужной форме.

Пример: Wo wohnen d**eine** Eltern?

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Притяжательные местоимения».

Задание 4. Поставьте в правильную форму глагол, представленный в скобках.

Пример: **Kannst** du mir bitte die Marmelade geben? (können)

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Модальные глаголы».

Задание 5. Составьте вопросительные предложения и дайте краткие ответы на них.

Пример: Sie wohnen in Berlin.

Ответ: Wo wohnen Sie? Wer wohnt in Berlin?

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по

теме «Вопросительные предложения».

ФРАНЦУЗСКИЙ ЯЗЫК

Задание 1. Заполните пропуски в предложениях следующими предлогами: de, à, chez, dans, pour, depuis. vers, avec, devant. en.

Пример: **Monsieur Dupont est en mission**.

Задание 1 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Предлоги».

Задание 2. Заполните пропуски, выберите правильно указательное прилагательное:

Пример: **Peux-tu me passer ces dictionnaires?**

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Указательные прилагательные».

Задание 3. Поставьте нужный артикль или предлог там, где это необходимо:

Пример: **C'est la salle des études**.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Употребление слитного артикля».

Задание 4. Выберите правильную форму глагола:

Пример: **Tous les matins, il s'est levé à 7 heures depuis un an.**

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Спряжение глаголов 1,2,3 группы в Présent».

Задание 5. Ответьте на следующие вопросы:

Пример: **Où passez-vous vos vacances d'été? - Je les passe en Crimée.**

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Личные местоимения le, la, les».

Проблемные и сложные вопросы, возникающие в процессе изучения курса и выполнения контрольной работы, необходимо решать с преподавателем на консультациях.

Выполнению контрольной работы должно предшествовать самостоятельное изучение студентом рекомендованной литературы.

Студент получает проверенную контрольную работу с исправлениями в тексте и замечаниями. В конце работы выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно». Работа с оценкой «неудовлетворительно» должна быть доработана и представлена на повторную проверку.

Выполнение работы над ошибками

При получении проверенной контрольной работы необходимо проанализировать отмеченные ошибки. Все задания, в которых были сделаны ошибки или допущены неточности, следует еще раз выполнить в конце данной контрольной работы. Контрольные работы являются учебными документами, которые хранятся на кафедре до конца учебного года.

Критерии оценивания контрольной работы

Оценка за контрольную работу определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы: 1 правильный ответ = 1 балл. Максимум 44 балла.

Результат контрольной работы

Контрольная работа оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»:

40-44 балла (90-100%) - оценка «отлично»;

31-39 балла (70-89%) - оценка «хорошо»;

22-30 баллов (50-69%) - оценка «удовлетворительно»;

0-21 балла (0-49%) - оценка «неудовлетворительно».

Образец оформления титульного листа

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Кафедра иностранных языков и деловой коммуникации

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

по дисциплине
ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Специальность:
21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация № 4
Сейсморазведка

формы обучения: очная, заочная

Выполнил: Иванов Иван Иванович
Группа НФ-18

Преподаватель: Петров Петр Петрович,
к.т.н, доцент

Екатеринбург
2018

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.Б.1.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобрена на заседании кафедры

Иностранных языков и деловой коммуникации
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)
к.п.н., доц. Юсупова Л. Г.

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

I. Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям……... 3
1.1 Повторение материала практических занятий……..... 3
1.2 Чтение и перевод учебных текстов……. 42
1.3 Подготовка к практическим занятиям (запоминание иноязычных лексических единиц и грамматических конструкций) ..……..... 60
1.4 Самостоятельное изучение тем курса (для заочной формы обучения) ……. 73
1.5 Подготовка к контрольной работе 73

II. Другие виды самостоятельной работы……. 73
2.1 Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания:
2.1.1 Подготовка к ролевой игре……. 73
2.1.2 Подготовка к практико-ориентированному заданию ……. 74
2.1.3 Подготовка к опросу …… 75
2.2 Дополнительное чтение профессионально ориентированных текстов и выполнение заданий на проверку понимания прочитанного……. 75
2.3 Подготовка доклада…….. 94
2.4 Подготовка к тесту……..... 95
2.5 Подготовка к экзамену…….. 99

I. Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям

1. Повторение материала практических занятий

Практические занятия направлены на развитие умений иноязычного говорения в рамках заданных РПД тем: бытовая сфера общения (Я и моя семья); учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование); социально-культурная сфера общения (Я и моя страна. Я и мир); профессиональная сфера общения (Я и моя будущая специальность).

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My family

My name is Vladimir Petrov. I am … years old. I was born in 19… in Nizhniy Tagil. I went to school when I was 7. In 20… I finished school number 10 in Ekaterinburg. This year I entered the Ural State Mining University. In five years I shall graduate from this University.

I live in the center of Ekaterinburg. I work at the Ministry of Foreign Trade. I'm an engineer & I am also a student. Many engineers in our Ministry learn foreign languages.

My family is not large. I have a wife & two children. My wife's name is Ann & children's names are Nick & Natalie.

My wife is an economist. My wife is a young woman. She is twenty – nine years old. She works at the Ministry of Foreign Trade, too. She goes to the office every day. My wife doesn't learn English. She already knows English very well. She reads many English books, magazines & newspapers. My wife is also a student. She learns German. She likes languages very much & is going to learn French next year.

My daughter is a girl of ten. She goes to school. She has a lot of subjects at school. She also learns English. She also helps her mother at home.

My son is a little boy. He was born five years ago. I take him to the kindergarten every morning.

My parents are not old. My father is 53. He is an engineer. He graduated from The Ural Polytechnical Institute. He works at a big plant. My mother is 51. She is a teacher. She teaches Russian at school. She graduated from the Leningrad Teachers' Training University.

My sister's name is Katya. She works at an office. Besides she studies at an Evening Department. She is married. Her husband is a doctor. He works at a hospital. They have a little son. He is only six months old.

My elder brother, Boris by name, does not stay with us. He lives in Gorky in a large two-roomed flat. He is a designer. He has also a family of his own. He has a wife & two children: a boy & a girl. Their son is already a pupil. My brother & his family often come to see us. We also visit them sometimes.

I also have a grandfather & a grandmother. They are pensioners. My grandmother looks after the house & does the cooking. We usually take our children to the country in summer to stay with their grandparents. They love their grandchildren very much.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My student's life

I'm a student of The Ural State Mining University. I have been a student only one month. I can't speak English very well yet. I am just a beginner. I live in a hostel. It is rather a long way from the University. In fact, it takes me about an hour to get to the University. But it gives me no trouble at all, as I like to get up early. I don't need an alarm-clock to wake me up. I am an early - riser.

Though the hostel is far from the University it is very comfortable & has all modern conveniences.

As a rule I get up at 6.30, do morning exercises & have shower. I don't have a bath in the morning; I have a bath before I go to bed.

For breakfast I have a boiled egg & a cup of coffee in order not to waste the time. At about 7.30 I am quite ready to go. It is about 5 minutes walk from the hostel to the stop. I usually take the 7.40. bus. I walk to the stop as I have plenty of time to catch my bus.

I come to the University 5 minutes before the lesson begins. So I can have a chat with my friends. The majority of my group mates are from Ekaterinburg the others either come from different towns of our country. We usually have a lot of things to talk about.

We don't go out to the lunch. There is a good canteen at the University. It is on the ground floor. But I should say that you have to stand in a queue to have lunch.

I come to the hostel from the University at about 3 o'clock. I live in a single room & have nobody to speak with. In the evening I sometimes go out with my friends. We go to the cinema if there is something new or to the club if there is a dancing party there. But often I stay in, watch TV programs or listen to the music. Then I read a book for half an hour or so & go to sleep. That doesn't take me long, as a rule.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

Ekaterinburg – an Industrial Centre

Ekaterinburg is one of the leading industrial centres of Russia. There are over 200 industrial enterprises of all-Russia importance in it. The key industry is machine-building. The plants of our city produce walking excavators, electric motors, turbines, various equipment for industrial enterprises.

During the Great Patriotic War Sverdlovsk plants supplied the front with arms and munitions and delivered various machinery for restoration of Donbass collieries and industrial enterprises of the Ukraine.

The biggest plants of our city are the Urals Heavy Machine Building Plant (the Uralmash), the Urals Electrical Engineering Plant (Uralelectrotyazhmash), the Torbomotorny Works (TMZ), the Chemical Machinery Building Works (Chimmash), the Verkh Iset Metallurgical Works (VIZ) and many others.

The Urals Heavy Machinery Building Plant was built in the years of the first five-year plan period. It has begun to turn out production in 1933. The machines and equipment produced by the Uralmash have laid the foundation for the home iron and steel, mining and oil industries. The plant produces walking excavators and draglines, drilling rigs for boring super-deep holes, crushing and milling equipment for concentrators. The plant also produces rolling-mills, highly efficient equipment for blast furnaces, powerful hydraulic presses and other machines. The trade mark of the Uralmash is well-known all over the world.

The Electrical Engineering plant was put into operation in 1934. At the present time it is a great complex of heavy electrical machine-building. It produces powerful hydrogenerators, transformers, air and oil switches, rectifiers & other electrical equipment. Besides, it is one of the main producers of high-voltage machinery.

The Turbo-Motorny Works produces turbines & diesel motors for powerful trucks. The turbines manufactured by this plant are widely known not only in our country, but also abroad. The plant turned out its first turbines in 1941.

The Urals Chemical Works, the greatest plant in the country, produces machinery for the chemical industry. It also produces vacuum- filters used in different branches of oil industry.

The Verkh-Iset Metallurgical Works the oldest industrial enterprise in Ekaterinburg is now the chief producer of high grade transformer steel in the country.

Now complex mechanization & automation of production processes are being used at all industrial enterprises of Ekaterinburg. Its plants make great contribution to the development of our country's national economy.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (the UK) occupies most of the territory of the British Isles. It consists of four main parts: England, Scotland, Wales and Northern

Ireland. London is the capital of England. Edinburgh is the capital of Scotland, Cardiff— of Wales and Belfast — of Northern Ireland. The UK is a small country with an area of some 244,100 square kilometres. It occupies only 0.2 per cent of the world's land surface. It is washed by the Atlantic Ocean in the north-west, north and south-west and separated from Europe by the Severn, but the most important waterway is the Thames.

The climate is moderate and mild. But the weather is very changeable. The population of the United Kingdom is over 57 million people. Foreigners often call British people "English", but the Scots, the Irish and the Welsh do not consider themselves to be English. The English are Anglo-Saxon in origin, but the Welsh, the Scots and the Irish are Celts, descendants of the ancient people, who crossed over from Europe centuries before the Norman Invasion. It was this people, whom the Germanic Angles and Saxons conquered in the 5th and 6th centuries AD. These Germanic conquerors gave England its name — "Angle" land. They were conquered in their turn by the Norman French, when William the Conqueror of Normandy landed near Hastings in 1066. It was from the union of Norman conquerors and the defeated Anglo-Saxons that the English people and the English language were born. The official language of the United Kingdom is English. But in western Scotland some people still speak Gaelic, and in northern and central parts of Wales people often speak Welsh.

The UK is a highly developed industrial country. It is known as one of the world’s largest producers and exporters of machinery, electronics, textile, aircraft, and navigation equipment. One of the chief industries of the country is shipbuilding.

The UK is a constitutional monarchy. In law, Head of the State is Queen. In practice, the country is ruled by the elected government with the Prime Minister at the head. The British Parliament consists of two chambers: the House of Lords and the House of Commons. There are three main political parties in Great Britain: the Labour, the Conservative and the Liberal parties. The flag of the United Kingdom, known as the Union Jack, is made up of three crosses. The big red cross is the cross of Saint George, the patron saint of England. The white cross is the cross of Saint Andrew, the patron saint of Scotland. The red diagonal cross is the cross of Saint Patrick, the patron saint of Ireland.

The United Kingdom has a long and exciting history and a lot of traditions and customs. The favorite topic of conversation is weather. The English like to drink tea at 5 o’clock. There are a lot of high daysin Great Britain. They celebrate Good Friday, Christmastide, Christmas, Valentine`s day and many others. It is considered this nation is the most conservative in Europe because people attach greater importance to traditions; they are proud of them and keep them up. The best examples are their money system, queen, their measures and weights. The English never throw away old things and don’t like to have changes.

Great Britain is a country of strong attraction for tourists. There are both ancient and modern monuments. For example: Hadrian Wall and Stonehenge, York Cathedral and Durham castle. It is no doubt London is the most popular place for visiting because there are a lot of sightseeing like the Houses of Parliament, Buckingham Palace, London Bridge, St Paul’s Cathedral, Westminster Abbey, the Tower of London. Also you can see the famous Tower Clock Big Ben which is considered to be the symbol of London. Big Ben strikes every quarter of an hour. You will definitely admire Buckingham Palace. It’s the residence of the royal family. The capital is famous for its beautiful parks: Hyde Park, Regent’s Park. The last one is the home of London Zoo.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My speciality is Geology

I am a first year student of the Ural State Mining University. I study at the geological faculty. The geological faculty trains geologic engineers in three specialities: mineral prospecting and exploration, hydrogeology and engineering geology, drilling technology.

Geology is the science which deals with the lithosphere of our planet. Geology studies the composition of the Earth's crust, its history, the origin of rocks, their distribution and many other problems.

That is why the science of geology is commonly divided into several branches, such as:

1. General Geology which deals with the composition arid the structure of the Earth and with various geological processes going on below the Earth’s surface and on its surface.

2. Petrology which studies the rocks of the Earth.

3. Mineralogy which investigates the natural chemical compounds of the lithosphere.

4. Paleontology which deals with fossil remains of ancient animals and plants found in rocks.

5. Historic Geology which treats of the Earth's history.

6. Structural Geology which deals with the arrangement of rocks due to the Earth's movements.

7. Economic Geology which deals with occurrence, origin and distribution of mineral deposits valuable to man.

All these branches of geology are closely related to each other.

Geology is of great practical importance because .it supplies industry with all kinds of raw materials, such as ore, coal, oil, building materials, etc.

Geology deals with the vital problem of water supply. Besides, many engineering projects, such as tunnels, canals, dams, irrigation systems, bridges etc. need geological knowledge in choosing construction sites and materials.

The practical importance of geology has greatly increased nowadays. It is necessary to provide a rapid growth of prospecting mineral deposits, such as ores of iron, copper, lead, uranium and others, as well as water and fossil fuels (oil, gas and coal). They are badly needed for further development of all the branches of the national Economy of our country and for creating a powerful economic foundation of the society. The graduates of the geological faculty of the Ural State Mining University work all over the country in mines, geological teams and expeditions of the Urals, Siberia, Kasakhstan, in the North and Far East, etc. as well as abroad.

Very often geologists have to work under hard climatic and geological conditions. They must be courageous, strong and purposeful people, ready to overcome any hardships which nature has put in their way to its underground treasure-house.

Практические занятия направлены также на формирование грамматического навыка по темам: порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях, порядок слов в вопросительном предложении, безличные предложения, местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные), имя существительное, артикли (определенный, неопределенный, нулевой), функции и спряжение глаголов *to be* и *to have, о*борот *there+be,* имя прилагательное и наречие, степени сравнения, сравнительные конструкции, имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат), образование видовременных форм глагола в активном залоге.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице №1:

Таблица №1

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях	148	9
Порядок слов в вопросительном предложении	163-170	10, 24
Безличные предложения	149	440
Местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные)	41-55	101, 439
Имя существительное	66-78	435

Артикли (определенный, неопределенный, нулевой)	78-84	433
Функции и спряжение глаголов *to be* и *to have*	102-104	6-8
Оборот *there+be*	105-107	100
Имя прилагательное и наречие	115	83
Степени сравнения, сравнительные конструкции	115-121	143
Имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат)	261-271	-
Образование видовременных форм глагола в активном залоге	193-209	10, 36, 69

Повторите материал практических занятий!

Порядок слов в английском предложении

В русском языке, благодаря наличию падёжных окончаний, мы можем переставлять члены предложения, не меняя основного смысла высказывания. Например, предложения Студенты изучают эти планы и Эти планы изучают студенты совпадают по своему основному смыслу. Подлежащее в обоих случаях - студенты, хотя в первом предложении это слово стоит на первом месте, а во втором предложении - на последнем.

По-английски такие перестановки невозможны. Возьмём предложение The students study these plans Студенты изучают эти планы. Если подлежащее и дополнение поменяются местами, то получится бессмыслица: These plans study the students Эти планы изучают студентов. Произошло это потому, что слово plans, попав на первое место, стало подлежащим.

Английское предложение имеет твёрдый порядок слов.

Порядок слов в английском предложении показан в этой таблице:

I	**II**	**III Дополнение**			**IV Обстоятельство**
Подлежащее	**Сказуемое**	**Косвенное без предлога**	**Прямое**	**Косвенное с предлогом**	
We Мы	study изучаем		math математику		
He Он	gives дает	us нам	lessons уроки		in this room. в этой комнате
She Она	reads читает		her notes свои заметки	to Peter Петру	every day. каждый день

Вопросительное предложение

Общее правило построения вопросов в английском языке таково: Все вопросы (кроме специальных вопросов к подлежащему предложения) строятся путем инверсии. Инверсией называется нарушение обычного порядка слов в английском предложении, когда сказуемое следует за подлежащим.

В тех случаях, когда сказуемое предложения образовано без вспомогательных глаголов (в Present и Past Indefinite) используется вспомогательный глагол to do в требуемой форме - do/does/did.

Общие вопросы

Общий вопрос задается с целью получить подтверждение или отрицание высказанной в вопросе мысли. На общий вопрос обычно дается краткий ответ: "да" или "нет".

Для построения общего вопроса вспомогательный или модальный глагол, входящий в состав сказуемого, ставится в начале предложения перед подлежащим.

а) Примеры сказуемого с одним вспомогательным глаголом: Is he speaking to the teacher? - Он говорит с учителем?

б) Примеры сказуемого с несколькими вспомогательными глаголами:

You will be writing letters to us. – Ты будешь писать нам письма.
Will you be writing letters to us? – Будешь ли ты писать нам письма?
Примеры с модальными глаголами:
She can drive a car. – Она умеет водить машину.
Can she drive a car? - Она умеет водить машину? (Yes, she can.; No, she cannot)

Когда в составе сказуемого нет вспомогательного глагола (т.е. когда сказуемое выражено глаголом в Present или Past Indefinite), то перед подлежащим ставятся соответственно формы do / does или did; смысловой же глагол ставится в форме инфинитива без to (словарная форма) после подлежащего.

С появлением вспомогательного глагола do на него переходит вся грамматическая нагрузка - время, лицо, число: в Present Indefinite в 3-м лице ед. числа окончание -s, -es смыслового глагола переходит на глагол do, превращая его в does; а в Past Indefinite окончание прошедшего времени -ed переходит на do, превращая его в did.
Do you go to school? – Ходишь ли ты в школу?
Do you speak English well? - Ты хорошо говоришь по-английски?

Ответы на общие вопросы

Общий вопрос требует краткого ответа "да" или "нет", которые в английском языке образуются следующим образом:

а) Положительный состоит из слова Yes за которым (после запятой) идет подлежащее, выраженное личным местоимением в им. падеже (никогда не используется существительное) и тот вспомогательный или модальный глагол, который использовался в вопросе (вспомогательный глагол согласуется с местоимением ответа);

б) Отрицательный ответ состоит из слова No, личного местоимения и вспомогательного (или модального) глагола с последующей частицей not
Например: Are you a student? - Ты студент?
Yes, I am. - Да.; No, I am not. - Нет.
Do you know him? – Ты знаешь его?
Yes, I do. – Да (знаю).; No, I don't. – Нет (не знаю).

Специальные вопросы

Специальный вопрос начинается с вопросительного слова и задается с целью получения более подробной уточняющей информации. Вопросительное слово в специальном вопросе заменяет член предложения, к которому ставится вопрос.
Специальные вопросы могут начинаться словами:
who? – кто? whom? – кого? whose? - чей? what? – что? какой? which? – который?
when? – когда? where? – где? куда? why? – почему? how? – как?
how much? – сколько? how many? – сколько? how long? – как долго? сколько времени?
how often? – как часто?

Построение специальных вопросов:

1) Специальные вопросы ко всем членам предложения, кроме подлежащего (и его определения) строятся так же, как и общие вопросы – посредством инверсии, когда вспомогательный или модальный глагол ставится перед подлежащим.

Специальный вопрос (кроме вопроса к подлежащему) начинается с вопросительного слова или группы слов за которым следуют вспомогательный или модальный глагол, подлежащее и смысловой глагол (сохраняется структура общего вопроса).

Вопрос к прямому дополнению:
What are you reading? Что ты читаешь?
What do you want to show us? Что вы хотите показать нам?

Вопрос к обстоятельству

Обстоятельства бывают разного типа: времени, места, причины, условия, образа действия и др.

He will come back tomorrow. – Он вернется завтра.
When will he come back? – Когда он вернется?
What did he do it for? Зачем он это сделал?
Where are you from?

Вопрос к определению

Вопрос к определению начинается с вопросительных слов what какой, which (of) который (из), whose чей, how much сколько (с неисчисляемыми существительными), how many сколько (с исчисляемыми существительными). Они ставятся непосредственно перед определяемым существительным (или перед другим определением к этому существительному), а затем уже идет вспомогательный или модальный глагол.

What books do you like to read? Какие книги вы любите читать?
Which books will you take? Какие книги (из имеющихся) вы возьмете?

Вопрос к сказуемому

Вопрос к сказуемому является типовым ко всем предложениям: ”Что он (она, оно, они, это) делает (делал, будет делать)?”, например:
What does he do? Что он делает?

Специальные вопросы к подлежащему

Вопрос к подлежащему (как и к определению подлежащего) не требует изменения прямого порядка слов, характерного для повествовательного предложения. Просто подлежащее (со всеми его определениями) заменяется вопросительным местоимением, которое исполняет в вопросе роль подлежащего. Вопросы к подлежащему начинаются с вопросительных местоимений:

who – кто (для одушевленных существительных)
what - что (для неодушевленных существительных)
The teacher read an interesting story to the students yesterday.
Who read an interesting story to the students yesterday?

Сказуемое в таких вопросах (после who, what в роли подлежащего) всегда выражается глаголом в 3-м лице единственного числа (не забудьте про окончание -s в 3-м лице ед. числа в Present Indefinite. Правила образования -s форм см. здесь.):
Who is reading this book? Кто читает эту книгу?
Who goes to school?

Альтернативные вопросы

Альтернативный вопрос задается тогда, когда предлагается сделать выбор, отдать чему-либо предпочтение.

Альтернативный вопрос может начинаться со вспомогательного или модального глагола (как общий вопрос) или с вопросительного слова (как специальный вопрос) и должен обязательно содержать союз or - или. Часть вопроса до союза or произносится с повышающейся интонацией, после союза or - с понижением голоса в конце предложения.

Например вопрос, представляющий собой два общих вопроса, соединенных союзом or:
Is he reading or is he writing?
Did he pass the exam or did he fail?

Вторая часть вопроса, как правило, имеет усеченную форму, в которой остается (называется) только та часть, которая обозначает выбор (альтернативу):
Is he reading or writing?

Разделительные вопросы

Основными функциями разделительных вопросов являются: проверка предположения, запрос о согласии собеседника с говорящим, поиски подтверждения своей мысли, выражение сомнения.

Разделительный (или расчлененный) вопрос состоит из двух частей: повествовательной и вопросительной.

Первая часть - повествовательное утвердительное или отрицательное предложение с прямым порядком слов.

Вторая часть, присоединяемая через запятую, представляет собой краткий общий вопрос, состоящий из местоимения, заменяющего подлежащее, и вспомогательного или модального глагола. Повторяется тот вспомогательный или модальный глагол, который входит в состав сказуемого первой части. А в Present и Past Indefinite, где нет вспомогательного глагола, употребляются соответствующие формы do/ does/ did.

В второй части употребляется обратный порядок слов, и она может переводится на русский язык: не правда ли?, не так ли?, верно ведь?

1. Если первая часть вопроса утвердительная, то глагол во второй части стоит в отрицательной форме, например:

You speak French, don't you? You are looking for something, aren't you? Pete works at a plant, doesn't he?

2. Если первая часть отрицательная, то во второй части употребляется утвердительная форма, например:

It is not very warm today, is it? John doesn't live in London, does he?

Безличные предложения

Поскольку в английском языке подлежащее является обязательным элементом предложения, в безличных предложениях употребляется формальное подлежащее, выраженное местоимением it. Оно не имеет лексического значения и на русский язык не переводится.

Безличные предложения используются для выражения:

1. Явлений природы, состояния погоды: It is/(was) winter. (Была) Зима. It often rains in autumn. Осенью часто идет дождь. It was getting dark. Темнело. It is cold. Холодно. It snows. Идет снег.

2. Времени, расстояния, температуры: It is early morning. Ранее утро. It is five o'clock. Пять часов. It is two miles to the lake. До озера две мили. It is late. Поздно.

3. Оценки ситуации в предложениях с составным именным (иногда глагольным) сказуемым, за которым следует подлежащее предложения, выраженное инфинитивом, герундием или придаточным предложением: It was easy to do this. Было легко сделать это.
It was clear that he would not come. Было ясно, что он не придет.

4. С некоторыми глаголами в страдательном залоге в оборотах, соответствующих русским неопределенно-личным оборотам: It is said he will come. Говорят, он придет.

Местоимение. The Pronoun.
Классификации местоимений.

1	**personal**	личные
2	**possessive**	притяжательные
3	**demonstrative**	указательные
4	**indefinite and negative**	неопределенные и отрицательные
5	**quantifiers**	количественные
6	**reflexive**	возвратные
7	**reciprocal**	взаимные
8	**relative**	относительные
9	**defining**	определительные
10	**interrogative**	вопросительные

I. Личные (personal) местоимения

Общий падеж		**Объектный падеж**	
I	я	**me**	мне, меня
he	он	**him**	его, ему
she	она	**her**	ей, о ней
it	оно, это	**it**	ей, ему, этому
we	мы	**us**	нам, нас

they	они	**them**	им, их
you	ты, вы	**you**	тебе, вам

Внимание! He (он) и **she (она)** в английском языке можно говорить только про людей. Все остальные английские существительные (предметы, животные, явления природы, чувства и т. д.) - обозначаются – it (оно, это).

he	**she**	**it**
a boy – мальчик **a man –** мужчина **brother –** брат **father –** отец **Nick –** Николай **Mr Grey –** мистер Грей	**a girl –** девочка **a woman –** женщина **sister – с**естра **motherч–** мама **Kate –** Катя **Mrs Grey –** миссис Грей	**a cat –** кот **a wall –** стена **rain –** дождь **love –** любовь **a hand –** рука **an apple -** яблоко

Англичане говорят <u>It's me</u>, а не It's I (это я).

II. Притяжательные (possessive) местоимения

Притяжательные местоимения выражают принадлежность и имеют в английском языке **две формы - основную** (после этой формы обязательно требуется существительное).
Whose pen is it? - *Чья это ручка?* - **It's my pen**. - *Это моя ручка*.
И **абсолютную** (существует самостоятельно, без существительного) - **It's mine.** - *Это моя.*

Личное местоимение	**Основная форма**	**Абсолютная форма**
I – я **he –** он **she –** она **it – оно,** это **we –** мы **you –** ты, вы **they -** они	**my (toy) -** моя (игрушка) **his (toy) -** его (игрушка) **her (toy) -** ее (игрушка) **its (toy) -** его (не о человеке) **our (toy) -** наша (игрушка) **your (toy) -** ваша, твоя (игрушка) **their (toy) -** их (игрушка)	**his -** его **hers -** ее **its -** его (этого) **ours -** наша **yours -** ваша, твоя **theirs -** их

III. Указательные (demonstrative) местоимения

this (это, эта, этот) **– these** (эти) **that** (то, та, тот) **- those** (те)

IV. Неопределенные (indefinite) и отрицательные (negative) местоимения

Местоимения some, any, every, и их производные

• Если у вас есть, например, яблоки и вы знаете, сколько их, вы говорите:
I have/l have got three apples. *У меня есть 3 яблока,*
• Если вы не знаете точное количество, то используйте неопределенное местоимение **some: I have/1 have got apples.** *У меня есть несколько яблок (некоторое количество).*

Производные от неопределенных местоимений

Слово **"think"** обозначает **"вещь"** (не обязательно материальная).
Слово **"body"** обозначает **"тело".** Эти слова являются основой для целого ряда словообразований.

Thing используется для неодушевленных (что-то):

some		**something –** *что-то, что-нибудь*
any		**anything -** *что-то, что-нибудь*
	thing	
no		**nothing -** *ничего, ничто*

every	**everything** - *все*
Body/one - для одушевленных (кто-то):	
some	**somebody/someone** – *кто-то, кто-нибудь*
any	**anybody/anyone** - *кто-то, кто-нибудь*
body/one	
no	**nobody / no one** - *никого, никто*
every	**everybody /everyone** – *все, каждый*
Местоимение **some** и основа **body** должны произноситься и писаться слитно, в противном случае вместо **somebody** – *кто-то*, получится **some body** - *какое-то тело*, **Something/somebody/someone** - в утвердительных предложениях, **anything/anybody/anyone** - в отрицательных и вопросительных предложениях**, nothing/nobody/no one** – в отрицательных. **Anything/anybody/anyone** - также используются в утвердительных предложениях, но в значении *что угодно/кто угодно*	

somewhere - *где-нибудь, куда-нибудь*	**anywhere** - *где угодно*
nowhere - *нигде*	**everywhere** - *везде*

V. Количественные (quantifiers) местоимения

Many и much - оба слова обозначают **" много"**, С **исчисляемыми** существительными (теми, которые можно посчитать, можно образовать множественное число) используется слово **many**, а с **неисчисляемыми** - слово **much**.	
many girls - *много девочек* **many boys** - *много мальчиков* **many books** - *много книжек*	**much snow** - *много снега* **much money** - *много денег* **much time** - *много времени*
How many? } **сколько?** **How much?** } **сколько?**	**How many girls?** - *Сколько девочек?* **How much sugar?** - *Сколько сахара?* **How much sugar?** - *Сколько сахара?*
a lot of... - много - используется и с исчисляемыми, и с неисчисляемыми существительными a lot без (of) используется и без существительного. **Сравните**: He writes **a lot** of funny stories**.** *Он пишет много забавных рассказов.* He writes **a lot.** *Он много пишет.*	girls – много девочек **a lot of** sugar - много сахара
В утвердительных предложениях используйте **a lot of.** В отрицательных и в вопросительных **many/much,** **Сравните:** (+) My grandmother often cooks **a lot of** tasty things. *Моя бабушка часто готовит много вкусного*. (-) But we don't eat **much.** *Но мы не едим много*. (?) Do you eat much? *Вы много едите?* Иногда слова **much** и **a lot** являются синонимами слова **"часто":** Do you ski **much**? *Вы много (часто) катаетесь на лыжах?* No, not much (= not often).Нет, не часто.	

Few, little, a few, a little

С неисчисляемыми существительными используйте слово little (мало), а с исчисляемыми - few (мало).

few books - мало книг **few girls** - мало девочек **few boys** - мало мальчиков	**little time** - мало времени **little money** - мало денег **little snow** - мало снега
little } **мало (т.е. надо еще)** **few** } **мало (т.е. надо еще)**	**a little** } **немного (т.е. пока хватает)** **a few** } **немного (т.е. пока хватает)**

VI. Возвратные (reflexive) местоимения

Возвратные местоимения образуются от личных местоимений в объектном падеже и притяжательных местоимений прибавлением **- self** в единственном числе и **- selves** во множественном числе. Возвратные местоимения используются для того, чтобы показать, что объект, названный подлежащим предложения сам совершает действие.

Личное местоимение	**Возвратное местоимение**	**Пример**	**Перевод**
I	myself	I did it myself.	Я сделал это сам
he	himself	He did it himself.	Он сделал это сам.
she	herself	She did it herself.	Она сделала это сама
you	yourself	You did it yourself.	Вы сделали это сами.
they	themselves	They did it themselves.	Они сделали это сами.
we	ourselves	We did it ourselves.	Мы сделали это сами.

VII. Взаимные (reciprocal) местоимения

Each other - друг друга (относится к двум лицам или предметам).
One another - друг друга (относится к большему количеству лиц или предметов).
They spoke to <u>each other</u> rather friendly. *Они разговаривали друг с другом довольно дружелюбно.*
They always help <u>one another</u>. *Они всегда помогают друг другу.*

VIII. Относительные (relative) местоимения

Who (whom), whose, which, that

who	**Именительный падеж <u>who</u> (подлежащее)** **The girl <u>who</u> is playing the piano is my sister.** *Девочка, которая играет на пианино, - моя сестра.*
	Объектный падеж <u>whom</u> (дополнение) **The man <u>whom</u> I love the best is your brother.** *Человек, которого я люблю больше всех, - твой брат.*
which	**Для неодушевленных предметов и животных** **The flowers <u>which</u> you brought me were pretty nice.** *Цветы, которые ты мне принес, очень милые.*
whose	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>whose</u> book we read yesterday.** *Это человек, книгу которого мы читали вчера.*
	Для неодушевленных существительных **We saw the tree <u>whose</u> leaves were absolutely yellow.** *Мы увидели дерево, листья которого были абсолютно желтыми.*
that	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>that</u> we saw yesterday.** *Это мужчина, которого мы видели вчера.*
	Для неодушевленных существительных **This is the film <u>that</u> we saw yesterday.** *Это фильм, который мы видели вчера.*

IX. Определительные (defining) местоимения

all

Употребление	**Примеры**	**Перевод**
определяет неисчисляемые	He spent **all his** time fishing on the	Он провел все свое время,

существительные	lake**.**	ловя рыбу на озере.
определяет исчисляемые существительные	**All the** boys like football. **(the после all!)**	Все мальчишки любят футбол.
all = everything	I know **all/everything.**	Я знаю всё.
all = everybody	**All** were hungry. **Everybody** was hungry.	Все были голодны. Все были голодны.
we all = ail of us you all = all of you they all = ail of them	We **all** love you very much = **All** of us love you very much.	Мы все тебя очень любим

both

Употребление	Примеры	Перевод
определяет существительные	**Both (the/my) friends like football.**	Оба моих друга любят футбол
допускается использование артикля вместо указательных местоимений после both	**Both these/the men are Russian.**	Оба (эти) мужчины - русские.
употребляется вместо существительного	**He gave me two apples. Both were sweet.**	Он дал мне два яблока. Оба были сладкими.
they both = both of them you both = both of you we both = both of us	**They both (both of them) came to visit us.**	Они оба пришли навестить нас.
в устойчивой конструкции **both...and.**	**Both mother father were at home**	И мама, и папа были дома.
в отрицательных предложениях **вместо both** используется **neither**	**Both of them know English. Neither of them know English.**	Они оба знают английский. Ни один из них не знает английского.

either/neither

	Употребление	Примеры	Перевод
either	любой из двух (артикль не ставится)	**I've got 2 cakes. Take either cake.**	У меня 2 пирожных. Возьми любое.
	каждый, оба, и тот, и другой	**There are windows on either side of the house.**	С обеих сторон дома есть окна.
	заменяет существительное (глагол в ед. числе)	**Either of dogs is always hungry.**	Любая из собак вечно голодная.
neither	отрицательное местоимение-определение (ни тот, ни другой)	**Neither of examples is correct.**	Ни один из примеров не верен.
	в констр. neither.. .nor (ни.. .ни)	**I like neither tea, nor coffee.**	Я не люблю ни чай, ни кофе.

other, another, the other, the others (другой, другие)

	Употребление	Примеры	Перевод
the other	другой (второй), другой из двух	**You've got 2 balls: one and the other.**	У тебя 2 мяча: один и другой.
another	другой из многих, еще один	**Take another ball.**	Возьми другой мяч. (Любой, но не этот.)
other	другие (любые), не последние	**Take other 2 balls.**	Возьми другие 2 мяча. (Из многих.)

the others	другие (определенные)	**There are 4 balls: 2 balls are red and the others are blue.**	Есть 4 мяча: 2 красных, а другие 2 - синие.

X. Вопросительные (interrogative) местоимения

what	что	**What's this?**	Что это?
which	который	**Which of them?**	Который из них?
who	кто, кого	**Who was that?**	Кто это был?
whom	кого	**Whom did you meet?**	Кого ты встретил?
whose	чей	**Whose book is it?**	Чья это книга?

Имя существительное. The Noun

Категории	Существительное в русском языке	Существительное в английском языке
Число	**Изменяется**	**Изменяется**
Падеж	**Изменяется**	**Не изменяется**

The Plural Form of Nouns

Образование множественного числа у английских существительных

Способ образования	Примеры	Перевод
после глухих согласных	**a book - books** **a cup - cups**	**книга - книги** **чашка - чашки**
после звонких согласных и гласных -	a name - names a girl - girls	**имя - имена** **девочка - девочки**
после шипящих, свистящих звуков -ch, -sh, -x, -s, -z: -es	a palace - palaces a bush - bushes a box - boxes a church - churches	дворец - дворцы куст - кусты коробка - коробки церковь - церкви
слово заканчивается на -y: 1) гласная +y	**a toy - toys** **a boy - boys**	игрушка - игрушки мальчик - мальчики
2) согласная **+** y	**a family - families** **a story - stories**	**семья - семьи** **история - истории**
слово заканчивается на *-file*	**a leaf - leaves** **a shelf - shelves**	лист - листья полка - полки

Особые случаи образования множественного числа

Ед. число	**Мн. число**	**Перевод**
man	men	мужчина - мужчины
woman	women	женщина - женщины
foot	feet	нога (стопа) - ноги (стопы)
child	children	ребенок - дети
goose	geese	гусь - гуси
mouse	mice	мышь - мыши
ox	oxen	**бык - быки**
tooth	teeth	**зуб - зубы**

Слова - заместители существительных **Substitutions: one/ones**

При повторном использовании одного и того же существительного в одном предложении, вместо него следует использовать one (в единственном числе) и ones (во множественном числе):

This table is bigger that that one - Этот стол больше, чем тот (стол).
These table are bigger than those ones. - Эти столы больше, чем те (столы).

Со словами one/ones **может быть использован артикль, если перед ними стоит прилагательное.**	
What apple do you want? **Какое ты хочешь яблоко?** **The red one. Красное.**	**What apples do you want?** **Какие яблоки ты хочешь?** **The red ones. Красные.**

Английские существительные не имеют падежных окончаний традиционно выделяют два падежа -общий и притяжательный.

Общий падеж

И. п. Эта девочка хорошо говорит по-английски.	This girl speaks English well.
Р. п. Это собака той девочки.	It's a dog of that girl.
Д. п. Я дал яблоко той девочке. .	I gave an apple to that girl.
В. п. Я вижу маленькую девочку. .	1 can see a little girl.
Т. п. Я люблю гулять с этой девочкой.	1 like to play with this girl.
П. п. Я часто думаю об этой девочке.	1 often think about this girl.

Притяжательный падеж. The Possessive Case
Образование притяжательного падежа

	Образование	**Примеры**	**Перевод**
существительные в единственном числе	**'s**	**bird's house** **child's ball**	домик птички мячик ребенка
существительные во множественном числе (группа исключений}	**'s**	**children's bail** **women's rights**	мячик детей права женщин
существительное во множественном числе	**'**	**girls' toy** **birds' house**	игрушка девочек домик птичек

Формула притяжательного падежа обычно имеют лишь одушевленные существительные, обозначающие живое существо, которому что-то принадлежит,

my mother's book - мамина книга,

this girl's bail - мячик девочки,

the bird's house - домик птички

Для того, чтобы показать принадлежность объекта неодушевленному предмету, используется предлог of:

the handle of the door (ручка (от) двери), но чаще образуется составное существительное door-handle,

Артикль. The Article

1. Неопределенный a/an (используется перед исчисляемыми существительными в единственном числе)

a cat –кот a dog –собака a boy – мальчик a girl -девочка
a teacher - учитель

2. Определенный the (может использоваться с любыми существительными)

the cat -кот the houses –дома the water -вода the weather –погода
the flowers - цветы

Если слово начинается с гласной буквы, к артиклю "a" добавляется буква "n", для того, чтобы две гласные не сливались: an apple (яблоко), an orange (апельсин), an author (автор) и т, д. Слово "an hour" (час) начинается с согласной буквы "h", но в слове эта буква не читается, т.е. слово начинается с гласного звука, поэтому к артиклю "a" также добавляется n = an

Упоминая объект впервые, перед ним ставят неопределенный артикль a/an при вторичном с упоминании того же самого объекта, перед ним ставят определенный артикль the

I see a cat, Я вижу кота (одного). The cat is black. (этот) Кот – черный.

This is a kitten. Это - котенок. (Один из многих) The kitten is hungry. (этот) Котенок - голодный.

I have a book- У меня есть книга. The book is interesting. (эта) Книга - интересная.

Неопределенный артикль a/an опускается перед исчисляемыми существительными и существительными во множественном числе.

a pen - pens (ручка - ручки) a dog - dogs (собака - собаки) a book - books (книга -книги)
- water (вода) - snow (снег) - meat (мясо)

Использование неопределенного артикля a

один из множества (любой)	This is a cat.
первое упоминание в тексте	I see a bird.
при упоминании профессии	My brother is a pilot.
в восклицательных предложениях	What a good girl! What a surprise! Such a fine room!
вместо слова один	She is coming for a weak.
в определенных конструкциях there is a... I have a… he has a... I see a... this is a... that is a… It is a... Iama… he/she is a…	There is a book here. I have got a nice coat. He has a kind smile. I see a wolf. This is a dog. That is a doctor. It is a red pen. I am a good swimmer. He/she is a tourist
в ряде устойчивых словосочетаний at a quarter.., in a loud, (a low, an angry voice) to have a good time a lot of to go for a walk such a... after a while in a day (a month, a week, a year)	Come at a quarter to 8. Don't speak to him in an angry voice. We had a good time in the country. She has got a lot of presents. Let's go for a walk. He is such a clever boy. You'll see them after a while. We are living in a day.

Использование определенного артикля the

если речь идет о конкретном лице или предмете	The pen is on the table.
при повторном упоминании того же самого объекта	I see a cat. The cat is black.
если слово обозначает нечто, существующее в единственном лице, с частями света	the sun, the moon, the Earth
со словами: only (только), main (главный), central (центральный), left (левый), right (правый), wrong (неправильный), next (следующий), last (последний), final (заключительный)	The only man I love the main road to the left, to the right It was the right answer. the final test
с порядковыми числительными	the first, the tenth

с прилагательными в превосходной степени	the kindest, the most interesting the best
с музыкальными инструментами и танцами	to play the piano, to dance the tango
с обобщающими существительными (класс людей» животных, термины, жанры)	The Britons keep their traditions.
с названиями музеев, кинотеатров, кораблей, галерей, газет, журналов	the Hermitage the Tretyakov Gallery the Avrora the Seasame Street
с названиями океанов, рек, морей, каналов, пустынь, групп, островов, штатов, горных массивов, наименований с of	the Atlantic ocean the Neva river the Black sea Changing of the Guard

Использование определенного артикля в ряде устойчивых словосочетаний

in the middle, in the corner	The table is in the middle of the room.
in the morning, In the evening, in the afternoon	I never drink coffee in the evening.
what's the use?	What's the use of going there so late?
to the cinema, to the theatre, to the shop, to the market	Do you like going to the theatre? He works at the shop.
at the cinema, at the theatre, at the shop, at the market	The fact is that I have no money at all.
the fact is (was) that...	Where is the doctor?
where is the…?	We always spend summer in the country.
in the country, to the country	

Сколько бы прилагательных-определений ни стояло перед существительным, все эти определения ставятся между артиклем и существительным: A big, black, fat cat большой, черный, толстый кот.

Случаи, когда артикль не употребляется

если, перед существительным стоит притяжательное местоимение	a pen - my pen a dog - his dog the teacher - our teacher the apple - her apple
если перед существительным стоит указательное местоимение	the cats - those cats the books - these books a mouse - this mouse
если стоит другое существительное в притяжательном падеже	a car - father's car the horse - farmer's horse a bike - brother's bike the doll - sister's doll
если перед существительным стоит, количественное числительное	5 balls, 7 bananas, 2 cats
если перед существительным стоит отрицание "no"	She has no children. I see no birds.
перед именами	Mike, Kate, Jim, etc
с названиями дней недели	Sunday, Monday, etc.
с названиями месяцев	May, December, etc.
с названиями времен года	in spring, in winter
с названиями цветов	white, etc. I like green
с названиями спортивных игр	football, chess, etc.
с названиями блюд, напитков	tea, coffee, soup, etc,
с названиями праздников	Easter, Christmas, etc.

с названиями языков, если нет слова (язык). Если есть, нужен артикль the	English, etc. I learn English, the English language
с названиями стран	Russia, France, etc HO: the USA, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, the Netheriands, the Ukraine, the Congo
с названиями городов	Moscow, Paris, etc.
с названиями улиц, площадей	Trafalgar Square
с названиями парков	St James' Park, Hyde Park
с названиями мостов	Tower Bridge
с названиями одиночных гор	Kilimanjaro
с названиями озер	Loch Ness
с названиями континентов	Asia, Australia, etc.
с названиями одиночных островов	Cyprus
если перед существительными стоит вопросительное или отрицательное местоимение	what animals can swim? I know what thing you have lost!

ГЛАГОЛ (THE VERB)

Глаголом называется часть речи, обозначающая действие или состояние предмета или лица.

В английском языке признаком глагола в неопределенной форме (инфинитиве) является частица to.

По своей структуре глаголы делятся на:

1. Простые, состоящие только из одного корня:

to fire - стрелять; зажигать
to order - приказывать
to read - читать
to play - играть

2. Производные, состоящие из корня и префикса, из корня и суффикса или из корня, префикса и суффикса:

to unpack - распаковывать
to dismiss - увольнять, отпускать
to realize - представлять себе
to shorten - укорачивать (ся)
to encounter - встречать (ся), наталкивать (ся)
to regenerate - перерождаться, возрождаться

3. Сложные, состоящие из двух основ (чаще всего основы существительного или прилагательного и основы глагола):

to broadcast (broad + cast) - передавать по радио
to whitewash (white + wash) - белить

4. Составные, состоящие из глагольной основы и наречия или предлога:

to carry out - выполнять
to sit down - садиться

По значению глаголы делятся на смысловые и служебные.

1. Смысловые глаголы имеют самостоятельное значение, выражают действие или состояние: Lomonosov as a poet and scientist played a great role in the formation of the Russian literary language. Как поэт и ученый Ломоносов сыграл огромную роль в создании русского литературного языка.

2. Служебные глаголы не имеют самостоятельного значения и употребляются для образования сложных форм глагола или составного сказуемого. Они являются спрягаемым элементом сказуемого и в его формах выражается лицо, число и время. К ним относятся:

1. Глаголы-связки to be быть, to become становиться, to remain оставаться, to grow становиться, to get, to turn становиться, to look выглядеть, to keep сохраняться.

Every man is the maker of his own fortune. Каждый человек-творец своей судьбы.

2. Вспомогательные глаголы to be, to do, to have, to let, shall, will (should, would):

The kitchen was supplied with every convenience, and there was even a bath-room, a luxury the Gerhardts had never enjoyed before. На кухне имелись все удобства; была даже ванная комната- роскошь, какой Герхардты никогда до сих пор не обладали.

3. Модальные глаголы can, may, must, ought, need: He that would eat the fruit must climb the tree. Кто любит фрукты, должен влезть на дерево (чтобы сорвать). (Любишь кататься-люби и саночки возить.)

Все формы глагола в английском языке делятся на личные и неличные.

Личные формы глагола выражают время, лицо, число, наклонение. Они выполняют в предложении функцию сказуемого. К личным формам относятся все формы времен действительного и страдательного залога (изъявительного и сослагательного наклонения):

As you leave the Kremlin by Spassky Gate you come out on the Red Square. Если вы выходите из Кремля мимо Спасских Ворот, вы оказываетесь на Красной площади.

Неличные формы глагола не различаются по лицам и числам. Они не могут самостоятельно выполнять в предложении функцию сказуемого, но могут входить в его состав. К неличным формам относятся: инфинитив, причастие и герундий. Every step towards eliminating nuclear weapons is in the interests of every nation. Любой шаг в направлении уничтожения ядерного оружия служит интересам каждого государства.

Личные формы глагола в английском языке имеют три наклонения: изъявительное (the Indicative Mood), повелительное (the Imperative Mood) и сослагательное (the Subjunctive Mood).

Глаголы в изъявительном наклонении выражают реальное действие, передают факты:

His son goes to school. Его сын учится в школе.

She has written an interesting article. Она написала интересную статью.

A new building of the theatre was built in this street. На этой улице построили новое здание театра.

Глаголы в повелительном наклонении выражают приказание, просьбу, совет, запрещение, команду:

"Don't buy them", warned our cautious driver. "Не покупайте их", - предупредил наш осторожный шофер.

Undertake not what you cannot perform but be careful to keep your promise. Не беритесь за то, что не сможете выполнить, но старайтесь сдержать обещание.

Глаголы в сослагательном наклонении выражают действие не реальное, а желательное или предполагаемое: If there were no bad people, there would be no good lawyers. Если бы не было плохих людей, не было бы хороших адвокатов.

Как личные, так и неличные формы глагола имеют **два залога**: действительный (the Active Voice) и страдательный (the Passive Voice).

Глаголы в действительном залоге выражают действие, которое производится подлежащим: I inform you that I have carried out the mission. Сообщаю, что я выполнил задание.

Глаголы в страдательном залоге выражают действие, которое испытывает на себе подлежащее: I was informed that the mission had been carried out. Мне сообщили, что задание было выполнено.

Формы глагола могут выражать отношение между действием и временем. В русском языке бывают глаголы **совершенного и несовершенного вида**. **Глаголы совершенного вида** обозначают действие, которое закончено, и есть его результат:

Он прочитал эту статью с интересом.

Глаголы несовершенного вида обозначают действие, указывая на его повторяемость, длительность, незаконченность: Вчера он читал эту статью с интересом. (Но он мог и не прочитать ее).

Вид глагола в русском языке выражается либо изменением его формы, либо с помощью суффиксов и приставок. Видовые значения глагола в английском языке выражаются сочетанием вспомогательного глагола с причастием настоящего или прошедшего времени смыслового глагола.

В английском языке четыре видо-временных группы глагола: неопределенные времена (Indefinite Tenses), продолженные времена (Continuous Tenses), совершенные времена (Perfect Tenses), и совершенные продолженные времена (Perfect Continuous Tenses). В каждой временной группе три времени: настоящее (Present), прошедшее (Past), будущее (Future).

Глагол “to be”

A: Are you from England?
B: No, we aren't. We're from China.

He's Tom and she's Helen. They are friends.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Am I?
I am	I'm	I am not	I'm not	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Is he?
He is	He's	He is not	He isn't	Is she?
She is	She's	She is not	She isn't	Is it?
It is	It's	It is not	It isn't	Are we?
We are	We're	We are not	We aren't	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Are they?
They are	They're	They are not	They aren't	

Краткими ответами называются ответы на вопросы, начинающиеся с глагольной формы is /are; в кратком ответе содержание вопроса не повторяется. Употребляется только Yes или No, далее личное местоимение в именительном падеже и глагольная форма is (isn't) / are (aren't). Например: Are you British? No, I'm not.
Yes, I am /we are. No, I'm not/we aren't.
Yes, he/she/it is. No, he/she/it isn't.
Yes, they are. No, they aren't.

WAS/WERE

Bob is eighty. He's old and weak.
Mary, his wife is seventy-nine. She's old too.
Fifty years ago they were young. Bob was strong. He wasn't weak. Mary was beautiful. She wasn't old.
В прошедшем простом времени (past simple) глагол "to be" с личными местоимениями в именительном падеже имеет следующие формы: was для I, he, she, it и –were для –we, you, they. В вопросахwas/were ставятся перед личным местоимением в именительном падеже (I, you, he и т.д.) или существительным. Например: She was ill yesterday. -> Was she ill yesterday? Отрицания образуются путем постановки not после was/were. Например: She was not ill yesterday. She wasn't ill yesterday.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I was	I was not	I wasn’t	Was I?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
He was	He was not	He wasn’t	Was he?

She was	She was not	She wasn’t	Was she?
It was	It was not	It wasn’t	Was it?
We were	We were not	We weren’t	Were we?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
They were	They were not	They weren’t	Were they?

ОБОРОТ THERE IS/THERE ARE

There is a sofa in the room. There are two pictures on the wall. There isn't a TV in the room. What else is there in the room?

Мы употребляем конструкцию there is/there are, чтобы сказать, что кто-то или что-то существует или находится в определенном месте. Краткая форма there is – there’s. There are не имеет краткой формы. Например: There is (There's) a sofa in the room. There are four children in the garden.

Вопросительная форма: Is there? Are there? Например: Is there a restaurant in the town? Are there any apples in the basket?

Отрицательная форма: There isn’t …/There aren’t … Например: There is not / isn't a man in the room. There are not/aren't any cars in the street.

Краткие ответы строятся с помощью Yes, there is/are или No, there isn't / aren't. Содержание вопроса не повторяется.

Yes, there is. No, there isn't.

Yes, there are. No, there aren't.

Мы употребляем there is / there are, чтобы сказать, что что-то существует или находится в определенном месте, it is / they are - когда уже упоминали об этом. Например: There is a house in the picture.

It is a big house. (Но не: It's a house in the picture.)

There are three books on the desk.

They are history books. (Но не: They are three books on the desk.)

Конструкция There was/There were

This is a modern town today.

There are a lot of tall buildings and shops. There are cars and there isn't much peace and quiet.

This is the same town fifty years ago.

There weren't any tall buildings. There were some old houses. There weren't many cars and there wasn't much noise.

Конструкция There was/There were - это There is / There are в форме past simple. There was употребляется с существительными в единственном числе. Например: There was a post office in the street thirty years ago. There were употребляется с существительными во множественном числе. Например: There were a few houses in the street thirty years ago.

В вопросах was/were ставятся перед there. Например: Was there a post office in the street thirty years ago? Were there any houses in the street thirty years ago?

Отрицания строятся путем постановки not после was / were. Например: There was not / wasn't a post office in the street thirty years ago. There were not / weren't any houses in the street thirty years ago.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
There was	There was not	There wasn't	Was there?
There were	There were not	There weren't	Were there?

Краткие ответы строятся с помощью Yes или No и there was/there were. Содержание вопроса не повторяется.

Was there a book on the desk? Yes, there was. No, there wasn't.

Were there any people in the shop? Yes, there were. No, there weren't.

Глагол Have got

A bird has got a beak, a tail and wings.
Has she got long hair? No, she hasn't. She's got short hair.
What have they got? They've got roller blades. They haven't got skateboards.
She has got a headache.

Have (got) используется:

а) чтобы показать, что что-то принадлежит кому-то. Например: He's got a ball.
б) при описании людей, животных или предметов. Например: She's got blue eyes.
в) в следующих высказываниях: I've got a headache. I've got a temperature. I've got a cough, I've got a toothache, I've got a cold, I've got a problem.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Have I (got)?
I have (got)	I've (got)	I have not (got)	I haven't (got)	Have you (got)?
You have (got)	You've (got)	You have not (got)	You haven't (got)	Has he (got)?
He has (got)	He's (got)	He has not (got)	He hasn't (got)	Has she (got)?
She has (got)	She's (got)	She has not (got)	She hasn't (got)	Has it (got)?
It has (got)	It's (got)	It has not (got)	It hasn't (got)	Have we (got)?
We have (got)	We've (got)	We have not (got)	We haven't (got)	Have you (got)?
You have (got)	You've (got)	You have not (got)	You haven't (got)	Have they (got)?
They have (got)	They've (got)	They have not (got)	They haven't (got)	

Had

Grandpa, did you have a TV when you were five?
No, I didn't. People didn't have TV's then. They had radios.

Have (had) в past simple имеет форму Had для всех лиц.

Вопросы строятся с помощью вспомогательного глагола did, личного местоимения в именительном падеже и глагола - have. Например: Did you have many toys when you were a child? Отрицания строятся с помощью did not и have. Например: I did not / didn't have many toys when I was a child.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I had	I did not have	I didn't have	Did I have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
He had	He did not have	He didn't have	Did he have?
She had	She did not have	She didn't have	Did she have?
It had	It did not have	It didn't have	Did it have?
We had	We did not have	We didn't have	Did we have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
They had	They did not have	They didn't have	Did they have?

Имя прилагательное. The Adjective

Категории	**Прилагательное в русском языке**	**Прилагательное в английском языке**
Число	изменяется	не изменяется
Род	изменяется	не изменяется
Падеж	изменяется	не изменяется

Образование имен прилагательных

Имена прилагательные бывают: **простые и производные**

К **простым** именам прилагательным относятся прилагательные, не имеющие в своем составе

ни приставок, ни суффиксов: small - *маленький*, **long** - *длинный*, **white** - *белый*.
К **производным** именам прилагательным относятся прилагательные, имеющие в своем составе **суффиксы** или **приставки**, или одновременно и те, и другие.

Суффиксальное образование имен прилагательных

Суффикс	Пример	Перевод
- ful	use**ful** doubt**ful**	**полезный** **сомневающийся**
- less	help**less** use**less**	**беспомощный** **бесполезный**
- ous	fam**ous** danger**ous**	**известный** **опасный**
- al	form**al** centr**al**	**формальный** **центральный**
- able	eat**able** cap**able**	**съедобный** **способный**

Приставочный способ образования имен прилагательных

Приставка	Пример	Перевод
un -	**un**cooked **un**imaginable	**невареный** **невообразимый**
in -	**in**capable **in**human	**неспособный** **негуманный**
il -	**il**legal **il**liberal	**нелегальный** **необразованный**
im -	**im**possible **im**practical	**невозможный** **непрактичный**
dis -	**dis**honest **dis**agreeble	**бесчестный** **неприятный**
ir -	**ir**regular **ir**responsible	**неправильный** **безответственный**
Некоторые имена прилагательные являются составными и образуются из двух слов, составляющих одно понятие: **light-haired –** светловолосый, **snow-white –** белоснежный.		

Прилагательные, оканчивающиеся на – ed и на - ing

- ed	**- ing**
Описывают чувства и состояния	**Описывают предметы, вещи, занятия, вызывающие эти чувства**
interested – интересующийся, заинтересованный	**interesting** - интересный
bored - скучающий	**boring** - скучный
surprised - удивленный	**surprising** - удивительный

Степени сравнения прилагательных

Английские прилагательные не изменяются ни по числам, ни по родам, но у них есть **формы степеней сравнения.**
Имя прилагательное в английском языке имеет **три формы** степеней сравнения:
- положительная степень сравнения **(Positive Degree);**
- сравнительная степень сравнения **(Comparative Degree);**
- превосходная степень сравнения **(Superlative Degree).**

Основная форма прилагательного - положительная степень. Форма сравнительной и

превосходной степеней обычно образуется от формы положительной степени одним из следующих способов:

1. -er. -est

Односложные прилагательные образуют **сравнительную степень** путем прибавления **к форме прилагательного в положительной степени** суффикса **- er.** Примерно, тоже самое мы делаем и в русском языке - добавляем "е" (большой - больше, холодный - холоднее).

Превосходная степень образуется путем прибавления суффикса **- est. Артикль the обязателен!!!**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
cold - холодный	cold**er** - холоднее	the cold**est** - самый холодный
big - большой	bigg**er** - больше	the bigg**est** - самый большой
kind - добрый	kind**er** - добрее	the kind**est** - самый добрый

По этому же способу образуются степени сравнения двусложных прилагательных оканчивающихся на **-y, -er, -ow, -ble:**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
clever — умный	clever**er - умнее**	**the** clever**est - самый умный**
easy - простой	eas**ier - проще**	**the** easi**est - самый простой**
able - способный	abl**er - способнее**	**the** abl**est - самый способный**
busy - занятой	bus**ier - более занятой**	**the** busi**est - самый занятой**

При образовании степеней сравнения посредством суффиксов **– er и – est** соблюдаются следующие **правила орфографии:**

Если прилагательное заканчивается на немое **"e" ,** то при прибавлении **– er и – est немое "e" опускается:**

larg**e – larger - the** larg**est /** большой – больше – самый большой

brav**e – braver – the** brav**est /** смелый – смелее – самый смелый

Если прилагательное заканчивается **на согласную с предшествующим кратким гласным звуком,** то в сравнительной и превосходной степени **конечная согласная буква удваивается:**

big – bigg**er –** bigg**est /** большой – больше – самый большой

hot – hott**er –** hott**est /** горячий – горячее – самый горячий

thin – thinn**er –** thinn**est /** тонкий – тоньше – самый тонкий

Если прилагательное **заканчивается на "y" с предшествующей согласной,** то в сравнительной и превосходной степени **"y" переходит в "i":**

busy – bus**ier –** bus**iest / занятой – более занятой – самый занятой**

easy – eas**ier –** eas**iest / простой – проще – самый простой**

2. more, the most

Большинство двусложных прилагательных и прилагательных, состоящих из трех и более слогов, образуют сравнительную степень при помощи слова **more**, а **превосходную** – при помощи слова **most**.

Эти слова ставятся перед именами прилагательными в положительной степени:

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
beautiful - красивый	**more beautiful** - красивее	**the most beautiful** - самый красивый
interesting – интересный	**more interesting** - интереснее	**the most interesting** - самый интересный
important - важный	**more important** - важнее	**the most important** - самый важный

Особые формы

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень

good - хороший **bad** - плохой **little** - маленький **much/many** - много **far** - далекий/далеко **old** - старый	**better** - лучше **worse** - хуже **less** - меньше **more** - больше **farther/further** - дальше **older/elder** - старше	**the best** - самый лучший **the worst** - самый плохой **the least** - самый маленький, меньше всего **the most** - больше всего **the farthest/furthest** - самый дальний **the oldest/eldest** - самый старый

3. less. the least

Для выражения **меньшей** или **самой низкой степени** качества предмета по сравнению с другими предметами употребляются соответствующие слова **less** – менее и **the least** – наименее, которые ставятся перед прилагательными в форме положительной степени.

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
beautiful – красивый **interesting -** интересный **important** - важный	**less beautiful** - менее красивый **less interesting –** менее интересный **less important** - менее важный	**the least beautiful –** самый некрасивый **the least interesting –** самый неинтересный **the least important –** самый неважный

Другие средства сравнения двух предметов или лиц

Конструкция	Комментарий	Примеры
As…as (такой же, так же)	**Для сравнения двух объектов одинакового качества**	He is **as** a strong **as** a lion Он такой же сильный, как лев. She is **as** clever **as** an owl**.** Она такая же умная, как сова.
Not so…as (не такой, как)	**в отрицательных предложениях**	He is **not so** strong **as** a lion. Он не такой сильный, как лев**.** She is **not so** clever **as** an owl. Она не такая умная, как сова.
The…the (с двумя сравнительными степенями)	**показывает зависимость одного действия от другого**	**The more** we are together **the happier** we are. Чем больше времени мы проводим вместе, тем счастливее мы становимся. **The more** I learn this rule **the less** I understand it. Чем больше я учу это правило, тем меньше я его понимаю.

Особые замечания об употреблении сравнительных и превосходных степеней имен прилагательных:

- Сравнительная степень может быть усилена употреблением перед ней слов со значением **«гораздо, значительно»:**

His new book is **much more** interesting than previous one. *Его новая книга гораздо более интересная, чем предыдущая.*

This table **is more** comfortable than **that one**. *Этот стол более удобный чем тот.*

- После союзов **than** и **as** используются либо личное местоимение в именительном падеже с глаголом, либо личное местоимение в объектном падеже:

I can run **as** fast **as** him **(as he can).** *Я могу бегать так же быстро, как он.*

Числительное. The numeral

Перед **сотнями, тысячами, миллионами** обязательно называть их количество, даже если всего одна сотня или одна тысяча:

126 – one hundred twenty six

1139 – one thousand one hundred and thirty nine

В составе числительных – сотни, тысячи и миллионы не имеют окончания множественного числа: **two hundred – 200, three thousand – 3000, и т.д.**

НО: окончание множественного числа добавляется hundred, thousand, million, когда они выражают неопределенное количество сотен, тысяч, миллионов. В этом случае после них употребляется существительное с предлогом **"of":**

hundreds of children – сотни детей

thousands of birds- тысячи птиц

millions of insects – миллионы насекомых

Начиная с 21, числительные образуются так же как в русском языке:

20+1=21 (twenty + one = **twenty one**)

60+7=67 (sixty + seven = **sixty seven**) и т.д.

Как читать даты

1043	ten forty-three
1956	nineteen fifty-six
1601	sixteen o one
2003	two thousand three
В 2003 году	in two thousand three
1 сентября	the first of September
23 февраля	the twenty-third of February

ДРОБНЫЕ ЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ (FRACTIONAL NUMERALS)

В простых дробях (Common Fractions) числитель выражается количественным числительным, а знаменатель порядковым:

1/7- one seventh одна седьмая

При чтении простых дробей, если числитель их больше единицы, к знаменателю прибавляется окончание множественного числа -s:

2/4 - two fourths - две четвертых

2/3 -two thirds - две третьих

3 1/5 - three and one fifth - три целых и одна пятая

1/2 - one second, a second, one half, a half - одна вторая, половина

1/4 -one fourth, a fourth, one quarter, a quarter - одна четвертая, четверть

В десятичных дробях (Decimal Fractions) целое число отделяется точкой, и каждая цифра читается отдельно. Нуль читается nought [no:t] (в США - zero ['zierou]).

4.25 four point twenty-five; four point two five

0.43 nought point forty-three; nought point four three

Существительные, следующие за дробью, имеют форму единственного числа, и перед ними при чтении ставится предлог -of:

2/3 metre- two thirds of a metre

две третьих метра

0.05 ton - nought point nought five of a ton

ноль целых пять сотых тонны

Существительные, следующие за смешанным числом, имеют форму множественного числа и читаются без предлога of:

35 1 /9 tons -thirty-five and one ninth tons

14.65 metres -one four (или fourteen) point six five (или sixty-five) metres

В обозначениях номеров телефонов каждая цифра читается отдельно, нуль здесь читается [ou]:
224-58-06 ['tu:'tu:'fo:'faiv'eit'ou'siks]

Образование видовременных форм глагола в активном залоге

Present Simple употребляется для выражения:

1. постоянных состояний,

2. повторяющихся и повседневных действий (часто со следующими наречиями: always, never, usually и т.д.). Mr Gibson is a businessman. He lives in New York, (постоянное состояние) He usually starts work at 9 am. (повседневное действие) He often stays at the office until late in the evening, (повседневное действие)

3. непреложных истин и законов природы, The moon moves round the earth.

4. действий, происходящих по программе или по расписанию (движение поездов, автобусов и т.д.). The bus leaves in ten minutes.

Маркерами present simple являются: usually, always и т.п., every day / week / month / year и т.д., on Mondays I Tuesdays и т.д., in the morning / afternoon / evening, at night / the weekend и т.д.

Present Continuous употребляется для выражения:

1. действий, происходящих в момент речи He is reading a book right now.

2. временных действий, происходящих в настоящий период времени, но не обязательно в момент речи She is practising for a concert these days. (В данный момент она не играет. Она отдыхает.)

3. действий, происходящих слишком часто и по поводу которых мы хотим высказать раздражение или критику (обычно со словом "always") "You're always interrupting me!"(раздражение)

4. действии, заранее запланированных на будущее. He is flying to Milan in an hour. (Это запланировано.)

Маркерами present continuous являются: now, at the moment, these days, at present, always, tonight, still и т.д.

Во временах **группы Continuous** обычно **не употребляются** глаголы:

1. выражающие восприятия, ощущения (see, hear, feel, taste, smell), Например: This cake tastes delicious. (Но не: This cake is tasting delicious)

2. выражающие мыслительную деятельность [know, think, remember, forget, recognize(ze), believe, understand, notice, realise(ze), seem, sound и др.],
Например: I don't know his name.

3. выражающие эмоции, желания (love, prefer, like, hate, dislike, want и др.), Например: Shirley loves jazz music.

4. include, matter, need, belong, cost, mean, own, appear, have (когда выражает принадлежность) и т.д. Например: That jacket costs a tot of money. (Но не: That jacket is costing a lot of money.)

Present perfect употребляется для выражения:

1. действий, которые произошли в прошлом в неопределенное время. Конкретное время действия не важно, важен результат, Kim has bought a new mobile phone. (Когда она его купила? Мы это не уточняем, поскольку это не важно. Важного, что у нее есть новый мобильный телефон.)

2. действий, которые начались в прошлом и все еще продолжаются в настоящем, We has been a car salesman since /990. (Он стал продавцом автомобилей в 1990 году и до сих пор им является.)

3. действий, которые завершились совсем недавно и их результаты все еще ощущаются в настоящем. They have done their shopping. (Мы видим, что они только что сделали покупки, поскольку они выходят из супермаркета с полной тележкой.)

4. Present perfect simple употребляется также со словами "today", "this morning / afternoon" и т.д., когда обозначенное ими время в момент речи еще не истекло. He has made ten photos this morning. (Сейчас утро. Указанное время не истекло.)

К маркерам present perfect относятся: for, since, already, just, always, recently, ever, how long, yet, lately, never, so far, today, this morning/ afternoon / week / month / year и т.д.

Present perfect continuous употребляется для выражения:

1. действий, которые начались в прошлом и продолжаются в настоящее время He has been painting the house for three days. (Он начал красить дом три дня назад и красит его до сих пор.)

2. действий, которые завершились недавно и их результаты заметны (очевидны) сейчас. They're tired. They have been painting the garage door all morning. (Они только что закончили красить. Результат их действий очевиден. Краска на дверях еще не высохла, люди выглядят усталыми.)

Примечание.

1. С глаголами, не имеющими форм группы Continuous, вместо present perfect continuous употребляется present perfect simple. Например: I've known Sharon since we were at school together. (А не: I've been knowing Sharon since we were at school together.)

2. С глаголами live, feel и work можно употреблять как present perfect continuous, так и present perfect simple, при этом смысл предложения почти не изменяется.

Например: He has been living/has lived here since 1994.

К маркерам present perfect continuous относятся: for. since. all morning/afternoon/week/day и т.д., how long (в вопросах).

Past simple употребляется для выражения:

1. действий, произошедших в прошлом в определенное указанное время, то есть нам известно, когда эти действия произошли, They graduated four years ago. (Когда они закончили университет? Четыре года назад. Мы знаем время.)

2. повторяющихся в прошлом действий, которые более не происходят. В этом случае могут использоваться наречия частоты (always, often, usually и т.д.), He often played football with his dad when he was five. (Но теперь он уже не играет в футбол со своим отцом.) Then they ate with their friends.

3. действий, следовавших непосредственно одно за другим в прошлом.

They cooked the meal first.

4. Past simple употребляется также, когда речь идет о людях, которых уже нет в живых. Princess Diana visited a lot of schools.

Маркерами past simple являются: yesterday, last night / week / month / year I Monday и т.д., two days I weeks I months I years ago, then, when, in 1992 и т.д.

People used to dress differently in the past. Women used to wear long dresses. Did they use to carry parasols with them? Yes, they did. They didn't use to go out alone at night.

• **Used to** (+ основная форма глагола) употребляется для выражения привычных, повторявшихся в прошлом действий, которые сейчас уже не происходят. Эта конструкция не изменяется по лицам и числам. Например: Peter used to eat a lot of sweets. (= Peter doesn't eat many sweets any more.) Вопросы и отрицания строятся с помощью did / did not (didn't), подлежащего и глагола "use" без -d.

Например: Did Peter use to eat many sweets? Mary didn't use to stay out late.

Вместо "used to" можно употреблять past simple, при этом смысл высказывания не изменяется. Например: She used to live in the countryside. = She lived in the countryside.

Отрицательные и вопросительные формы употребляются редко.

Past continuous употребляется для выражения:

1. временного действия, продолжавшегося в прошлом в момент, о котором мы говорим. Мы не знаем, когда началось и когда закончилось это действие, At three o'clock yesterday

afternoon Mike and his son were washing the dog. (Мы не знаем, когда они начали и когда закончили мыть собаку.)

2. временного действия, продолжавшегося в прошлом (longer action) в момент, когда произошло другое действие (shorter action). Для выражения второго действия (snorter action) мы употребляем past simple, He was reading a newspaper when his wife came, (was reading = longer action: came = shorter action)

3. двух и более временных действий, одновременно продолжавшихся в прошлом. The people were watching while the cowboy was riding the bull.

4. Past continuous употребляется также для описания обстановки, на фоне которой происходили события рассказа (повествования). The sun was shining and the birds were singing. Tom was driving his old truck through the forest.

Маркерами past continuous являются: while, when, as, all day / night / morning и т.д.
when/while/as + past continuous (longer action) when + past simple (shorter action)

Past perfect употребляется:

1. для того, чтобы показать, что одно действие произошло раньше другого в прошлом. При этом то действие, которое произошло раньше, выражается past perfect simple, а случившееся позже - past simple,
They had done their homework before they went out to ptay yesterday afternoon. (=They did their homework first and then they went out to ptay.)

2. для выражения действий, которые произошли до указанного момента в прошлом,
She had watered all the flowers by five o'clock in the afternoon.
(=She had finished watering the flowers before five o'clock.)

3. как эквивалент present perfect simple в прошлом. То есть, past perfect simple употребляется для выражения действия, которое началось и закончилось в прошлом, а present perfect simple - для действия, которое началось в прошлом и продолжается (или только что закончилось) в настоящем. Например: Jill wasn't at home. She had gone out. (Тогда ее не было дома.) ЛИ isn 't at home. She has gone out. (Сечас ее нет дома.)

К маркерам past perfect simple относятся: before, after, already, just, till/until, when, by, by the time и т.д.

Future simple употребляется:

1. для обозначения будущих действий, которые, возможно, произойдут, а возможно, и нет, We'll visit Disney World one day.

2. для предсказаний будущих событий (predictions), Life will be better fifty years from now.

3. для выражения угроз или предупреждений (threats / warnings), Stop or I'll shoot.

4. для выражения обещаний (promises) и решений, принятых в момент речи (on-the-spot decisions), I'll help you with your homework.

5. с глаголами hope, think, believe, expect и т.п., с выражениями I'm sure, I'm afraid и т.п., а также с наречиями probably, perhaps и т.п. / think he will support me. He will probably go to work.

К маркерам future simple относятся: tomorrow, the day after tomorrow, next week I month / year, tonight, soon, in a week / month year и т.д.

ПРИМЕЧАНИЕ

Future simple не употребляется после слов while, before, until, as soon as, after, if и when в придаточных предложениях условия и времени. В таких случаях используется present simple. Например: I'll make a phone call while I wait for you. (А не:... whilo I will wait for you.) Please phone me when you finish work.

В дополнительных придаточных предложениях после "when" и "if" возможно употребление future simple. Например: I don't know when I if Helen will be back.

He is going to throw the ball.

Be going to употребляется для:

1. выражения заранее принятых планов и намерений на будущее,
Например: Bob is going to drive to Manchester tomorrow morning.

2. предсказаний, когда уже есть доказательства того, что они сбудутся в близком будущем. Например: Look at that tree. It is going to fall down.

We use the **future continuous**:

a) for an action which will be in progress at a stated for an action which will be future time. *This time next week, we'll be cruising round the islands.*

b) for an action which will definitely happen in the future as the result of a routine or arrangement. *Don't call Julie. I'll be seeing her later, so I'll pass the message on.*

c) when we ask politely about someone's plans for the near future (what we want to know is if our wishes fit in with their plans.) *Will you be using the photocopier for long?*
No. Why?
I need to make some photocopies.

We use the **future perfect**:

1. For an action which will be finished before a stated future time. *She will have delivered all the newspapers by 8 o'clock.*

2. The future perfect is used with the following time expressions: before, by, by then, by the time, until/till.

We use the **future perfect continuous**:

1. to emphasize the duration of an action up to a certain time in the future. *By the end of next month, she will have been teaching for twenty years.*

The future perfect continuous is used with: by... for.

Практическая работа также направлена на проверку сформированности грамматического навыка в рамках тем: модальные глаголы и их эквиваленты, образование видовременных форм глагола в пассивном залоге, основные сведения о согласовании времён, прямая и косвенная речь, неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий, основные сведения о сослагательном наклонении.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице:

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Модальные глаголы и их эквиваленты	295	47
Образование видовременных форм глагола в пассивном залоге	236	71, 115
Основные сведения о согласовании времён	323-328	269
Прямая и косвенная речь	324	268
Неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий	311-322	132, 162, 173, 192, 193
Основные сведения о сослагательном наклонении	329	224

Модальные глаголы

Глаголы	**Значение**	**Примеры**
CAN	физическая или умственная возможность/умение	I can swim very well. – Я очень хорошо умею плавать.
	возможность	You can go now. — Ты можешь идти сейчас.You cannot play

		football in the street. – На улице нельзя играть в футбол.
	вероятность	They can arrive any time. – Они могут приехать в любой момент.
	удивление	Can he have said that? – Неужели он это сказал?
	сомнение, недоверчивость	She can't be waiting for us now. – Не может быть, чтобы она сейчас нас ждала.
	разрешение	Can we go home? — Нам можно пойти домой?
	вежливая просьба	Could you tell me what time it is now? – Не могли бы вы подсказать, который сейчас час?
MAY	разрешение	May I borrow your book? – Я могу одолжить у тебя книгу?
	предположение	She may not come. – Она, возможно, не придет.
	возможность	In the museum you may see many interesting things. – В музее вы можете увидеть много интересных вещей.
	упрек – только **MIGHT (+ perfect infinitive)**	You might have told me that. – Ты мог бы мне это сказать.
MUST	обязательство, необходимость	He must work. He must earn money. – Он должен работать. Он должен зарабатывать деньги.
	вероятность (сильная степень)	He must be sick. — Он, должно быть, заболел.
	запрет	Tourists must not feed animals in the zoo. — Туристы не должны кормить животных в зоопарке.
SHOULD OUGHT TO	моральное долженствование	You ought to be polite. – Вы должны быть любезными.
	совет	You should see a doctor. – Вам следует сходить к врачу.
	упрек, запрет	You should have taken the umbrella. – Тебе следовало взять с собой зонт.
SHALL	указ, обязанность	These rules shall apply in all circumstances. – Эти правила будут действовать при любых обстоятельствах.
	угроза	You shall suffer. — Ты будешь страдать.
	просьба об указании	Shall I open the window? – Мне открыть окно?
WILL	готовность, нежелание/отказ	The door won't open. — Дверь не открывается.
	вежливая просьба	Will you go with me? – Ты сможешь пойти со мной?
WOULD	готовность, нежелание/отказ	He would not answer this question. – Он не будет отвечать на этот вопрос.
	вежливая просьба	Would you please come with me? — Не могли бы вы пройти со мной.
	повторяющееся/привычное действие	We would talk for hours. – Мы беседовали часами.
NEED	необходимость	Do you need to work so hard? – Тебе надо столько работать?
NEEDN'T	отсутствие необходимости	She needn't go there. — Ей не нужно туда идти.
DARE	Посметь	How dare you say that? – Как ты смеешь такое говорить?

Модальные единицы эквивалентного типа		
to be able (to) = can	Возможность соверш-я конкрет-го дей-ия в опред. момент	She **was able** to change the situation then. (Она тогда была в состоянии (могла) изменить ситуацию).
to be allowed (to) = may	Возмож-ть совер-ия дей-ия в наст.-м, прош-ом или буд-ем + оттенок разрешения	My sister **is allowed to** play outdoors. (Моей сестре разрешается играть на улице).
to have (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом или буд-ем при опред-х об-вах	They **will have to** set up in business soon. (Им вскоре придется открыть свое дело).
to be (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом при наличии опред. планов, распис-ий и т.д.	We **are to** send Nick about his business. (Мы должны (= планируем) выпроводить Ника)

Страдательный залог (Passive Voice)

образуется при помощи вспомогательного глагола to be в соответствующем времени, лице и числе и причастия прошедшего времени смысл. глагола – Participle II (III –я форма или ed-форма).

В страдательном залоге не употребляются:

1) Непереходные глаголы, т.к. при них нет объекта, который испытывал бы воздействие, то есть нет прямых дополнений которые могли бы стать подлежащими при глаголе в форме Passive.

Переходными в англ. языке называются глаголы, после которых в действительном залоге следует прямое дополнение; в русском языке это дополнение, отвечающее на вопросы винительного падежа – кого? что?: to build строить, to see видеть, to take брать, to open открывать и т.п.

Непереходными глаголами называются такие глаголы, которые не требуют после себя прямого дополнения: to live жить, to come приходить, to fly летать, cry плакать и др.

2) Глаголы-связки: be – быть, become – становиться/стать.

3) Модальные глаголы.

4) Некоторые переходные глаголы не могут использоваться в страдательном залоге. В большинстве случаев это глаголы состояния, такие как:

to fit годиться, быть впору to have иметь to lack не хватать, недоставать to like нравиться
to resemble напоминать, быть похожим to suit годиться, подходить и др.

При изменении глагола из действительного в страдательный залог меняется вся конструкция предложения:

- дополнение предложения в Active становится подлежащим предложения в Passive;
- подлежащее предложения в Active становится предложным дополнением, которое вводится предлогом by или вовсе опускается;
- сказуемое в форме Active становится сказуемым в форме Passive.

Особенности употребления форм Passive:

1. Форма Future Continuous не употребляется в Passive, вместо нее употребляется Future Indefinite:

At ten o'clock this morning Nick will be writing the letter. –At ten o'clock this morning the letter will be written by Nick.

2. В Passive нет форм Perfect Continuous, поэтому в тех случаях, когда нужно передать в Passive действие, начавшееся до какого-то момента и продолжающееся вплоть до этого момента, употребляются формы Perfect:

He has been writing the story for three months. The story has been written by him for three months.

3. Для краткости, во избежание сложных форм, формы Indefinite (Present, Past, Future) часто употребляются вместо форм Perfect и Continuous, как в повседневной речи так и в художественной литературе. Формы Perfect и Continuous чаще употребляются в научной литературе и технический инструкциях.

This letter has been written by Bill. (Present Perfect)
This letter is written by Bill. (Present Indefinite – более употребительно)
Apples are being sold in this shop. (Present Continuous)
Apples are sold in this shop. (Present Indefinite – более употребительно)

4. Если несколько однотипных действий относятся к одному подлежащему, то вспомогательные глаголы обычно употребляются только перед первым действием, например: The new course will be sold in shops and ordered by post.

Прямой пассив (The Direct Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует прямому дополнению предложения в Active. Прямой пассив образуется от большинства переходных глаголов.

I gave him a book. Я дал ему книгу. A book was given to him. Ему дали книгу. (или Книга была дана ему)

The thief stole my watch yesterday. Вор украл мои часы вчера.
My watch was stolen yesterday. Мои часы были украдены вчера.

В английском языке имеется ряд переходных глаголов, которые соответствуют непереходным глаголам в русском языке. В английском они могут употребляться в прямом пассиве, а в русском – нет. Это:to answer отвечать кому-л.
to believe верить кому-л. to enter входить (в) to follow следовать (за) to help помогать кому-л.
to influence влиять (на) to join присоединяться to need нуждаться to watch наблюдать (за)

Так как соответствующие русские глаголы, являясь непереходными, не могут употребляться в страдательном залоге, то они переводятся на русский язык глаголами в действительном залоге:
Winter is followed by spring.

А при отсутствии дополнения с предлогом by переводятся неопределенно-личными предложениями: Your help is needed.

Косвенный пассив (The Indirect Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует косвенному дополнению предложения в Active. Она возможна только с глаголами, которые могут иметь и прямое и косвенное дополнения в действительном залоге. Прямое дополнение обычно означает предмет (что?), а косвенное – лицо (кому?).

С такими глаголами в действительном залоге можно образовать две конструкции:

а) глагол + косвенное дополнение + прямое дополнение;

б) глагол + прямое дополнение + предлог + косвенное дополнение:

а) They sent Ann an invitation.- Они послали Анне приглашение.
б) They sent an invitation to Ann. - Они послали приглашение Анне.

В страдательном залоге с ними также можно образовать две конструкции – прямой и косвенный пассив, в зависимости от того, какое дополнение становится подлежащим предложения в Passive. К этим глаголам относятся:to bring приносить
to buy покупать to give давать to invite приглашать to leave оставлять
to lend одалживать to offer предлагать to order приказывать to pay платить
to promise обещать to sell продавать to send посылать to show показывать
to teach учить to tell сказать и др.
Например: Tom gave Mary a book. Том дал Мэри книгу.
Mary was given a book. Мэри дали книгу. (косвенный пассив – более употребителен)
A book was given to Mary. Книгу дали Мэри. (прямой пассив – менее употребителен)

Выбор между прямым или косвенным пассивом зависит от смыслового акцента, вкладываемого в последние, наиболее значимые, слова фразы:
John was offered a good job. (косвенный пассив) Джону предложили хорошую работу.
The job was offered to John. (прямой пассив) Работу предложили Джону.

Глагол to ask спрашивать образует только одну пассивную конструкцию – ту, в которой подлежащим является дополнение, обозначающее лицо (косвенный пассив):
He was asked a lot of questions. Ему задали много вопросов.

Косвенный пассив невозможен с некоторыми глаголами, требующими косвенного дополнения (кому?) с предлогом to. Такое косвенное дополнение не может быть подлежащим в Passive, поэтому в страдательном залоге возможна только одна конструкция – прямой пассив, то есть вариант: Что? объяснили, предложили, повторили…Кому? Это глаголы:to address адресовать
to describe описывать to dictate диктовать to explain объяснять to mention упоминать
to propose предлагать to repeat повторять to suggest предлагать to write писать и др.

Например: The teacher explained the rule to the pupils. – Учитель объяснил правило ученикам. The rule was explained to the pupils. – Правило объяснили ученикам. (Not: The pupils was explained…)

Употребление Страдательного залога

В английском языке, как и в русском, страдательный залог употр. для того чтобы:

1. Обойтись без упоминания исполнителя действия (70% случаев употребления Passive) в тех случаях когда:

а) Исполнитель неизвестен или его не хотят упоминать:
He was killed in the war. Он был убит на войне.

б) Исполнитель не важен, а интерес представляет лишь объект воздействия и сопутствующие обстоятельства:
The window was broken last night. Окно было разбито прошлой ночью.

в) Исполнитель действия не называется, поскольку он ясен из ситуации или контекста:
The boy was operated on the next day. Мальчика оперировали на следующий день.

г) Безличные пассивные конструкции постоянно используются в научной и учебной литературе, в различных руководствах: The contents of the container should be kept in a cool dry place. Содержимое упаковки следует хранить в сухом прохладном месте.

2. Для того, чтобы специально привлечь внимание к тому, кем или чем осуществлялось действие. В этом случае существительное (одушевленное или неодушевленное.) или местоимение (в объектном падеже) вводится предлогом by после сказуемого в Passive.

В английском языке, как и в русском, смысловой акцент приходится на последнюю часть фразы. He quickly dressed. Он быстро оделся.

Поэтому, если нужно подчеркнуть исполнителя действия, то о нем следует сказать в конце предложения. Из-за строгого порядка слов английского предложения это можно осуществить лишь прибегнув к страдательному залогу. Сравните:
The flood broke the dam. (Active) Наводнение разрушило плотину. (Наводнение разрушило что? – плотину)
The dam was broken by the flood. (Passive) Плотина была разрушена наводнением. (Плотина разрушена чем? – наводнением)

Чаще всего используется, когда речь идет об авторстве:
The letter was written by my brother. Это письмо было написано моим братом.

И когда исполнитель действия является причиной последующего состояния:
The house was damaged by a storm. Дом был поврежден грозой.

Примечание: Если действие совершается с помощью какого-то предмета, то употребляется предлог with, например:
He was shot with a revolver. Он был убит из револьвера.

Перевод глаголов в форме Passive

В русском языке есть три способа выражения страдательного залога:

1. При помощи глагола "быть" и краткой формы страдательного причастия, причем в настоящем времени "быть" опускается:
I am invited to a party.
Я приглашён на вечеринку.

Иногда при переводе используется обратный порядок слов, когда русское предложение начинается со сказуемого: New technique has been developed. Была разработана новая методика.

2. Глагол в страдательном залоге переводится русским глаголом, оканчивающимся на –ся(-сь):
Bread is made from flour. Хлеб делается из муки.
Answers are given in the written form. Ответы даются в письменном виде.

3. Неопределенно-личным предложением (подлежащее в переводе отсутствует; сказуемое стоит в 3-м лице множественного числа действительного залога). Этот способ перевода возможен только при отсутствии дополнения с предлогом by (производитель действия не упомянут):

The book is much spoken about. Об этой книге много говорят.
I was told that you're ill. Мне сказали, что ты болен.

4. Если в предложении указан субъект действия, то его можно перевести личным предложением с глаголом в действительном залоге (дополнение с by при переводе становится подлежащим). Выбор того или иного способа перевода зависит от значения глагола и всего предложения в целом (от контекста):
They were invited by my friend. Их пригласил мой друг.(или Они были приглашены моим другом.)

Примечание 1: Иногда страдательный оборот можно перевести двумя или даже тремя способами, в зависимости от соответствующего русского глагола и контекста:
The experiments were made last year.
1) Опыты были проведены в прошлом году.
2) Опыты проводились в прошлом году.
3) Опыты проводили в прошлом году.

Примечание 2: При переводе нужно учитывать, что в английском языке, в отличие от русского, при изменении залога не происходит изменение падежа слова, стоящего перед глаголом (например в английском she и she, а переводим на русский - она и ей):

Примечание 3: Обороты, состоящие из местоимения it с глаголом в страдательном залоге переводятся неопределенно-личными оборотами:
It is said… Говорят… It was said… Говорили…
It is known… Известно… It was thought…Думали, полагали…
It is reported… Сообщают… It was reported…Сообщали…и т.п.

В таких оборотах it играет роль формального подлежащего и не имеет самостоятельного значения: It was expected that he would return soon. Ожидали, что он скоро вернется.

Согласование времен (Sequence of Tenses)

Если в главном предложении сказуемое выражено глаголом в одной из форм прошедшего времени, то в придаточном предложении употребление времен ограничено. Правило, которому в этом случае подчиняется употребление времен в придаточном предложении, называется согласованием времен.

Правило 1: Если глагол главного предложения имеет форму настоящего или будущего времени, то глагол придаточного предложения будет иметь любую форму, которая требуется смыслом предложения. То есть никаких изменений не произойдет, согласование времен здесь в силу не вступает.

Правило 2: Если глагол главного предложения имеет форму прошедшего времени (обычно Past Simple), то глагол придаточного предложения должен быть в форме одного из прошедших времен. То есть в данном случае время придаточного предложения изменится. Все эти изменения отражены в нижеследующей таблице:

Переход из одного времени в другое	Примеры	
Present Simple » Past Simple	He **can speak** French – Он говорит по-французски.	Boris said that he **could speak** French – Борис сказал, что он говорит по-французски.
Present Continuous » Past Continuous	They **are listening** to him – Они слушают его	I **thought** they **were listening** to him – Я думал, они слушают его.
Present Perfect » Past Perfect	Our teacher **has asked** my parents to help him – Наш учитель попросил моих родителей помочь ему.	Mary **told** me that our teacher **had asked** my parents to help him – Мария сказала мне, что наш учитель попросил моих родителей помочь ему.
Past Simple » Past Perfect	I **invited** her – Я пригласил ее.	Peter **didn't know** that I **had invited** her – Петр не знал, что я

		пригласил ее.
Past Continuous » Past Perfect Continuous	She **was crying** – Она плакала	John **said** that she **had been crying** – Джон сказал, что она плакала.
Present Perfect Continuous » Past Perfect Continuous	It **has been raining** for an hour – Дождь идет уже час.	He **said** that it **had been raining** for an hour – Он сказал, что уже час шел дождь.
Future Simple » Future in the Past	She **will show** us the map – Она покажет нам карту.	I **didn't expect** she **would show** us the map – Я не ожидал, что она покажет нам карту.

Изменение обстоятельств времени и места при согласовании времен.

Следует запомнить, что при согласовании времен изменяются также некоторые слова (обстоятельства времени и места).

this » that
these » those
here » there
now » then
yesterday » the day before
today » that day
tomorrow » the next (following) day
last week (year) » the previous week (year)
ago » before
next week (year) » the following week (year)

Перевод прямой речи в косвенную в английском языке

Для того чтобы перевести прямую речь в косвенную, нужно сделать определенные действия. Итак, чтобы передать чьи-то слова в английском языке (то есть перевести прямую речь в косвенную), мы:

1. ***Убираем кавычки и ставим слово that***

Например, у нас есть предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы передать кому-то эти слова, так же как и в русском, мы убираем кавычки и ставим слово that – «что».

She said that ….. Она сказала, что….

2. ***Меняем действующее лицо***

В прямой речи обычно человек говорит от своего лица. Но в косвенной речи мы не может говорить от лица этого человека. Поэтому мы меняем «я» на другое действующее лицо. Вернемся к нашему предложению:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Так как мы передаем слова девушки, вместо «я» ставим «она»:

She said that she ….. Она сказала, что она….

3. Согласовываем время

В английском языке мы не можем использовать в одном предложении прошедшее время с настоящим или будущим. Поэтому, если мы говорим «сказал» (то есть используем прошедшее время), то следующую часть предложения нужно согласовать с этим прошедшем временем. Возьмем наше предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы согласовать первую и вторую части предложения, меняем will на would. *см. таблицу выше.*

She said that she would buy a dress. Она сказала, что она купит платье.

4. Меняем некоторые слова

В некоторых случаях мы должны согласовать не только времена, но и отдельные слова. Что это за слова? Давайте рассмотрим небольшой пример.

She said, “I am driving now”. Она сказала: «Я за рулем сейчас».

То есть она в данный момент за рулем. Однако, когда мы будем передавать ее слова, мы будем говорить не про данный момент (тот, когда мы говорим сейчас), а про момент времени в прошлом (тот, когда она была за рулем). Поэтому мы меняем now (сейчас) на then (тогда) *см. таблицу выше.*

She said that she was driving then. Она сказала, что она была за рулем тогда.

Вопросы в косвенной речи в английском языке

Вопросы в косвенной речи, по сути, не являются вопросами, так как порядок слов в них такой же, как в утвердительном предложении. Мы не используем вспомогательные глаголы (do, does, did) в таких предложениях.

He asked, “Do you like this cafe?” Он спросил: «Тебе нравится это кафе?»

Чтобы задать вопрос в косвенной речи, мы убираем кавычки и ставим if, которые переводятся как «ли». Согласование времен происходит так же, как и в обычных предложениях. Наше предложение будет выглядеть так:

He asked if I liked that cafe. Он спросил, нравится ли мне то кафе.

Давайте рассмотрим еще один пример:

She said, “Will he call back?” Она сказала: «Он перезвонит?»

She said if he would call back. Она сказала, перезвонит ли он.

Специальные вопросы в косвенной речи

Специальные вопросы задаются со следующими вопросительными словами: what – что when – когда how – как why - почему where – где which – который

При переводе таких вопросов в косвенную речь мы оставляем прямой порядок слов (как в утвердительных предложениях), а на место if ставим вопросительное слово.

Например, у нас есть вопрос в прямой речи:

She said, “When will you come?”. Она сказала: «Когда ты придешь?»

В косвенной речи такой вопрос будет выглядеть так:

She said when I would come. Она сказала, когда я приду.

He asked, “Where does she work?” Он спросил: «Где она работает?»

He asked where she worked. Он спросил, где она работает.

Инфинитив. The Infinitive

Инфинитив - это неличная глагольная форма, которая только называет действие и выполняет функции как глагола, так и существительного. Инфинитив отвечает на вопрос что делать?, что сделать?

Формальным признаком инфинитива является частица **to**, которая стоит перед ним, хотя в некоторых случаях она опускается. Отрицательная форма инфинитива образуется при помощи частицы not, которая ставится перед ним: It was difficult not to speak. *Было трудно не говорить.*

Формы инфинитива

	Active Voice	Passive Voice
Simple	to write	to be written
Continuous	to be writing	
Perfect	to have written	to have been written
Perfect Continuous	to have been writing	

Глаголы, после которых используется инфинитив:

to agree - соглашаться
to arrange - договариваться
to ask – (по)просить
to begin – начинать
to continue – продолжать

to decide – решать
to demand - требовать
to desire – желать
to expect – надеяться
to fail – не суметь
to forget – забывать
to hate - ненавидеть
to hesitate – не решаться
to hope - надеяться
to intend – намереваться
to like – любить, нравиться
to love – любить, желать
to manage - удаваться
to mean - намереваться
to prefer - предпочитать
to promise - обещать
to remember – помнить
to seem - казаться
to try – стараться, пытаться
to want – хотеть
Например:
He asked to change the ticket. *Он попросил поменять билет.*
She began to talk. *Она начала говорить.*

Значение разных форм инфинитива в таблице

Формы инфинитива	**Чему я рад?**	
Simple	I am glad **to speak** to you.	Рад поговорить с вами. (Всегда радуюсь, когда говорю с вами).
Continuous	I am glad **to be speaking** to you.	Рад, что сейчас разговариваю с вами.
Perfect	I am glad **to have spoken** to you.	Рад, что поговорил с вами.
Perfect Continuous	I am glad **to have been speaking** to you.	Рад, что уже давно (все это время) разговариваю с вами.
Simple Passive	I am (always) glad **to be told** the news.	Всегда рад, когда мне рассказывают новости.
Perfect Passive	I am glad **to have been told** the news.	Рад, что мне рассказали новости.

Причастие. Participle

В английском языке причастие — это неличная форма глагола, которая сочетает в себе признаки глагола, прилагательного и наречия.

Формы причастия

		Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Participle I (Present Participle)	Simple	**writing**	**being written**
	Perfect	**having written**	**having been written**
Participle II (Past Participle)			**written**

Отрицательные формы причастия образуются с помощью частицы **not**, которая ставится перед причастием: not asking — не спрашивая,not broken — не разбитый.

Как переводить разные формы причастия на русский язык

Формы причастия	причастием	деепричастием
reading	читающий	читая

having read		прочитав
being read	читаемый	будучи читаемым
having been read		будучи прочитанным
read	прочитанный	
building	строящий	строя
having built		построив
being built	строящийся	будучи строящимся
having been built		будучи построенным
built	построенный	

Герундий. Gerund

Герундий — это неличная форма глагола, которая выражает название действия и сочетает в себе признаки глагола и существительного. Соответственно, на русский язык герундий обычно переводится существительным или глаголом (чаще неопределенной формой глагола). Формы, подобной английскому герундию, в русском языке нет.

My favourite occupation is reading. *Мое любимое занятие — чтение.*

Формы герундия

	Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Simple	**writing**	**being written**
Perfect	**having written**	**having been written**

Запомните глаголы, после которых употребляется только герундий!

admit (признавать), advise (советовать), avoid (избегать),
burst out (разразиться), delay (задерживать), deny (отрицать),
dislike (не нравиться), enjoy (получать удовольствие), escape (вырваться, избавиться),
finish (закончить), forgive (прощать), give up (отказываться, бросать),
keep on (продолжать), mention (упоминать), mind (возражать - только в “?”и “-“),
miss (скучать), put off (отложить), postpone (откладывать),
recommend (рекомендовать), suggest (предлагать), understand (понимать).

Герундий после глаголов с предлогами

accuse of (обвинять в), agree to (соглашаться с), blame for (винить за),
complain of (жаловаться на), consist in (заключаться в), count on /upon (рассчитывать на),
congratulate on (поздравлять с), depend on (зависеть от), dream of (мечтать о),
feel like (хотеть, собираться), hear of (слышать о), insist on (настаивать на),
keep from (удерживать(ся) от), look forward to (с нетерпением ждать, предвкушать),
look like (выглядеть как), object to (возражать против),
persist in (упорно продолжать), praise for (хвалить за), prevent from (предотвращать от),
rely on (полагаться на), result in (приводить к), speak of, succeed in (преуспевать в),
suspect of (подозревать в), thank for (благодарить за), think of (думать о)

He has always dreamt of visiting other countries. — *Он всегда мечтал о том, чтобы побывать в других странах.*

to be + прилагательное / причастие + герундий

be afraid of (бояться чего-либо), be ashamed of (стыдиться чего-либо),
be engaged in (быть занятым чем-либо), be fond of (любить что-либо, увлекаться чем-либо),
be good at (быть способным к), be interested in (интересоваться чем-либо),
be pleased at (быть довольным), be proud of (гордиться чем-либо),
be responsible for (быть ответственным за), be sorry for (сожалеть о чем-либо),
be surprised at (удивляться чему-либо), be tired of (уставать от чего-либо),
be used to (привыкать к).

I’m tired of waiting. — *Я устал ждать.*

Основные сведения о сослагательном наклонении

Conditionals are clauses introduced with if. There are three types of conditional clause: Type 1, Type 2 and Type 3. There is also another common type, Type 0.

Type 0 Conditionals: They are used to express something which is always true. We can use when (whenever) instead of it. *If/When the sun shines, snow melts.*

Type 1 Conditionals: They are used to express real or very probable situations in the present or future. *If he doesn't study hard, he won't pass his exam.*

Type 2 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the present and, therefore, are unlikely to happen in the present or future. *Bob is daydreaming. If I won the lottery, I would buy an expensive car and I would go on holiday to a tropical island next summer.*

Type 3 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the past. They are also used to express regrets or criticism. *John got up late, so he missed the bus. If John hadn't got up late, he wouldn't have missed the bus.*

	If-clause (hypothesis)	Main clause (result)	Use
Type 0 general truth	if + present simple	present simple	something which is always true
	If the temperature falls below 0 °C, water turns into ice.		
Type 1 real present	if + present simple, present continuous, present perfect or present perfect continuous	future/imperative can/may/might/must/should/ could + bare infinitive	real - likely to happen in the present or future
	If he doesn't pay the fine, he will go to prison. If you need help, come and see me. If you have finished your work, we can have a break. If you're ever in the area, you should come and visit us.		
Type 2 unreal present	if + past simple or past continuous	would/could/might + bare infinitive	imaginary situation contrary to facts in the present; also used to give advice
	If I had time, I would take up a sport. (but I don't have time - untrue in the present) If I were you, I would talk to my parents about it. (giving advice)		
Type 3 unreal past	if + past perfect or past perfect continuous	would/could/might + have + past participle	imaginary situation contrary to facts in the past; also used to express regrets or criticism
	If she had studied harder, she would have passed the test. If he hadn't been acting so foolishly, he wouldn't have been punished.		

Conditional clauses consist of two parts: the if -clause (hypothesis) and the main clause (result). When the if - clause comes before the main clause, the two clauses are separated with a comma. When the main clause comes before the if - clause, then no comma is necessary.

e.g. a) If I see Tim, I'll give him his book.

b) I'll give Tim his book if I see him.

We do not normally use will, would or should in an if - clause. However, we can use will or would after if to make a polite request or express insistence or uncertainty (usually with expressions such as / don't know, I doubt, I wonder, etc.).

We can use should after if to talk about something which is possible, but not very likely to happen.

e.g. a) If the weather is fine tomorrow, will go camping. (NOT: If the weather will be fine...)

b) If you will fill in this form, I'll process your application. (Will you please fill in... - polite request)

c) If you will not stop shouting, you'll have to leave. (If you insist on shouting... - insistence)

d) I don't know if he will pass his exams, (uncertainty)

e) If Tom should call, tell him I'll be late. (We do not think that Tom is very likely to call.)

We can use unless instead of if... not in the if -clause of Type 1 conditionals. The verb is always in the affirmative after unless.

e.g. Unless you leave now, you'll miss the bus. (If you don't leave now, you'll miss the bus.) (NOT: Unless you don't leave now, ...)

We can use were instead of was for all persons in the if - clause of Type 2 conditionals.

e.g. If Rick was/were here, we could have a party.

We use If I were you ... when we want to give advice.

e.g. If I were you, I wouldn't complain about it.

The following expressions can be used instead of if: provided/providing that, as long as, suppose/supposing, etc.

e.g. a) You can see Mr. Carter provided you have an appointment. (If you have an appointment...)

b) We will all have dinner together providing Mary comes on time. (... if Mary comes ...)

c) Suppose/Supposing the boss came now, …

We can omit if in the if - clause. When if is omitted, should (Type 1), were (Type 2), had (Type 3) and the subject are inverted.

e.g. a) Should Peter come, tell him to wait. (If Peter should come,...)

b) Were I you, I wouldn't trust him. (If I were you, ...)

c) Had he known, he would have called. (If he had known, ...)

2. Чтение и перевод учебных текстов (по 2 текста на тему)

№1

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

appear - v появляться; казаться; *ant* **disappear** - исчезать

bed - *n* пласт, слой, подстилающие породы; *syn* **layer, seam; bedded** - *a* пластовый

call for - v требовать; *syn* **demand, require**

carry out - v проводить *(исследование, эксперимент);* выполнять *(план);* завершать; *syn* **conduct, make**

colliery - каменноугольная шахта

concentration (dressing) plant - обогатительная фабрика, обогатительная установка

department - *n* отделение, факультет, кафедра; *syn* **faculty**

direct - v руководить; направлять; управлять; *a* прямой, точный; **directly** - *adv* прямо, непосредственно

education - *n* образование; просвещение; **get an education** получать образование

establish - v основывать, создавать, учреждать; *syn* **found, set up**

ferrous metals - чёрные металлы **(non-ferrous metals** цветные металлы)

iron - *n* железо; **pig iron** чугун; **cast iron** чугун, чугунная отливка

open-cast mines - открытые разработки

ore - *n* руда; **iron ore** - железная руда; **ore mining** – разработка рудных месторождений

process - v обрабатывать; *syn* **work, treat; processing** - n обработка; разделение минералов

rapid - *a* быстрый

research - *n* научное исследование

technique - *n* техника, способ, метод, технический прием; **mining technique** - горная техника, методы ведения горных работ

train - v обучать, готовить *(к чему-л.);* **training** - обучение; подготовка

to be in need of - нуждаться в

to take part in - участвовать в

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 1: The First Mining School in Russia

The Moscow Mining Academy was established in 1918. The main task of the Academy was to train mining engineers and technicians, to popularize technological achievements among miners, to work on important problems of mining and metallurgical engineering arid to direct scientific research.

There were three departments in the Academy: mining, geological prospecting and metallurgy. The Moscow Mining Academy introduced a new course in coal mining mechanization which provided the basis for the development of mining engineering. The two scientists A.M. Terpigorev and M.M. Protodyakonov wrote the first textbook on machinery for mining bedded deposits.

Much credit for the establishment of the Moscow Mining Academy and the development of co-operation among outstanding scientists and educators is due to Academician I.M. Gubkin, a prominent geologist and oil expert.

In 1925 the Moscow Mining Academy was one of the best-known educational institutions in Russia. It had well-equipped laboratories, demonstration rooms and a library which had many volumes of Russian and foreign scientific books and journals.

The Academy established close contacts with the coal and ore mining industries. The scientists carried out scientific research and worked on important mining problems.

The rapid growth of the mining industry called for the training of more highly-qualified specialists and the establishment of new educational institutions.

New collieries and open-cast mines, concentration plants, metallurgical works and metal-working factories for processing non-ferrous and ferrous metals appeared in the country. The people took an active part in the construction of new industrial enterprises.

The Academy alone could not cope with the problem of training specialists. In 1930 the Moscow Mining Academy was transformed into six independent institutes. Among the new colleges which grew out of the Academy's departments were the Moscow Mining Institute and the Moscow Institute of Geological Prospecting. Later, the scientific research Institute of Mining appeared near Moscow.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. There were four departments in the Academy.
2. The Academy introduced a new course in coal mining mechanization.
3. In 1925 the Academy had only several well-equipped laboratories, demonstration rooms and a library which had many volumes of books.
4. The Academy established close contacts with the coal industry.
5. In 1930 the Academy was transformed into six independent institutes.
6. The Moscow Mining Institute and the Moscow Institute of Geological Prospecting were among the new colleges which grew out of the Academy's departments.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What was the main task of the Academy?
2. What new course did the Academy introduce?
3. Were there three or four departments at the Academy?
4. What industries did the Academy establish contacts with?
5. Who wrote the first textbook on machinery' for mining bedded deposits?
6. Why was the Academy transformed into six independent institutes?
7. Why was the Academy transformed?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) обогатительная фабрика
б) подготовка горных инженеров
в) разведка нефти
г) обработка цветных металлов

д) техническое образование
е) новый (учебный) курс по
ж) принимать активное участие
з) проводить исследования
и) направлять научную деятельность
к) горное оборудование
л) пластовые месторождения

№2

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

change - v изменяться, менять(ся); *syn.* **transform, alter;** *n* изменение, перемена; превращение

determine - v определить, устанавливать

engineering - *n* техника; технология; машиностроение**;** *syn.* **technics, technology, technique; machinery**

composition - *n* структура, состав

connect - v соединяться; *syn* **combine, link**

enterprise - *n* предприятие; предприимчивость

deal (dealt) v **(with) -** иметь дело с; рассматривать

environment - *n* окружающая обстановка**,** среда

demand - *n* спрос

field - *n* область, сфера деятельности; поле, участок, месторождение; бассейн; *syn* **basin, branch**

design - *n* проект; план, чертеж; конструкция; v проектировать, планировать; конструировать

graduate - v окончить (высшее учебное заведение), *амер.* окончить любое учебное заведение; *n* лицо, окончившее высшее учебное заведение; **undergraduate (student) -** студент последнего курса; **postgraduate (student) -** аспирант; **graduation paper -** дипломная работа

hardware - *n* аппаратура, (аппаратное) оборудование, аппаратные средства; техническое обеспечение

hydraulic - *a* гидравлический, гидротехнический

introduction - *n* введение, вступление

management - *n* управление, заведование; *syn.* **administration; direction**

offer - *v* предлагать *(помощь, работу);* предоставлять; *n* предложение

property - *n* свойство

protection - *n* защита, охрана

range - *n* область, сфера; предел; диапазон; радиус действия; ряд; серия

recreation - *n* отдых, восстановление сил; развлечение

reveal - v показывать, обнаруживать

rock - *n* горная порода

shape - *n* форма

software - *n* программное обеспечение; программные средства

skill - *n* мастерство; умение; **skilled -** *a* квалифицированный; опытный; умелый

survey - *n* съемка, маркшейдерская съемка; v производить маркшейдерскую или топографическую съемку, производить изыскания; *n* **surveying** съемка, маркшейдерские работы

value - *n* ценность, стоимость; величина; v ценить, оценивать; **valuable** *a* ценный

workshop - *n* мастерская, цех; семинар

to be of importance - иметь значение

to give an opportunity of - дать возможность

to meet the requirements - удовлетворять требованиям (потребности)

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 2: Mining and Geological Higher Education in Russia

In Russia young people get mining education at special institutes which train geologists and mining engineers for coal and ore mining. The total number of students of an institute includes full-time students, part-time students and postgraduate students.

Russian higher educational establishments offer different specializations for the students. Thus, at the geological institutes, the students specialize in geology, the science which deals with different problems connected with the Earth, its history, the study of rocks, their physical and chemical properties. One of the main tasks of geology is to prospect, discover and study the deposits of useful minerals.

Geology is both a theoretical and an applied science. Mining geology is of great importance to the mining engineer. As a rule, mining geology includes economic geology.

The outstanding Russian geologist V.A. Obruchev says that geology is the science of the Earth which reveals to us how the Earth took shape, its composition and its changes. Geology helps prospect for ores, coal, oil, salt and other useful minerals.

Higher mining schools (universities, academies, institutes and colleges) develop a wide range of courses and programmes that meet the requirements of the society .They offer courses in mining technology, machinery and transport, hydraulic engineering, electrical engineering, industrial electronics, automation, surveying, geodesy, information technology, etc.

The main trend in the development of higher mining education is the introduction of courses in environmental protection, management (environmental human resources), economics and management of mining enterprises, marketing studies, computer-aided design (CAD) and others.

Computer science is also of great importance. The course aims at providing students with understanding how software and hardware technology helps solving problems.

Laboratory work is an important part in training specialists. Experiments in laboratories and workshops will help students to develop their practical skills. They have a short period of field work to gain working experience.

The students go through practical training at mines, plants and other industrial enterprises.. They become familiar with all stages of production and every job from worker to engineer. Here they get practical knowledge and experience necessary for their diploma (graduation) papers.

A lot of students belong to students' scientific groups. They take part in the research projects which their departments usually conduct. Postgraduates carry out research in different fields of science and engineering.

Sport centres give the students opportunities to play different sports such as tennis, football, basketball, volleyball, swimming, ' skiing, water polo, boxing, wrestling and others.

Students graduate from mining and geological higher schools as mining engineers, mining mechanical engineers, ecologists, mining electrical engineers, geologists, economists and managers for mining industry.

1. Переведите следующие сочетания слов.

а) широкий круг проблем
б) денные месторождения полезных ископаемых
в) горный инженер-механик
г) вести научно-исследовательскую работу
д) принимать форму
е) техническое и программное обеспечение
ж) студенты (последнего курса)
з) дипломная работа
и) физические и химические свойства
к) месторождение полезных ископаемых

1. оканчивать институт
2. поступать в университет
3. получать образование

4. готовить геологов и горних инженеров
5. высшие горные учебные заведения
6. приобретать опыт
7. студенческие научные общества
8. заниматься различными видами спорта

№3

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

accurate - *a* точный, правильный; **accuracy** - *n* точность

archive - *n* архив

attend - v посещать *(лекции, практические занятия, собрания)*

comprehensive - *a* всесторонний, исчерпывающий

concern - v касаться, относиться; иметь отношение к чему-л.; *n* дело, отношение; важность; **concerning** *prep* относительно, касательно

consider - v рассматривать; считать; **considerable** - значительный, важный; **consideration** - *n* рассмотрение; обсуждение

draw (drew, **drawn**) - v *зд,* чертить, рисовать; **draw the conclusion** делать вывод; *syn* **come to the conclusion**

employ - v применять, использовать; предоставлять *(работу); syn* **use, utilize, apply; employment** - *n* служба; занятие; применение, использование

familiarize - v знакомить; осваивать

fundamental - *n pl* основы *(наук)*

levelling - *n* нивелирование, сглаживание *(различий);* выравнивание

number - *n* число, количество, большое количество; *(порядковый)* номер, ряд

observe - v наблюдать, следить *(за чём-л.),* соблюдать *(правило, обычаи)*

obtain - v получать; достигать; добывать; *syn* **get, receive**

present - v преподносить, дарить; подавать, представлять; **presentation** - *n* изложение; предъявление

proximity - *n* близость, соседство; **in proximity to** поблизости, вблизи от *(чего-л.)*

require - v требовать; *syn* **call for; demand; meet the requirements** удовлетворять требованиям

traversing - *n* горизонтальная съемка

to keep in close touch with - поддерживать связь с

to touch upon (on) затрагивать, касаться вкратце *(вопроса)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 3: Mining Education in Great Britain

In Great Britain the students get mining education at special colleges and at mining departments of universities.

For example, the Mining Department at the University of Nottingham ranks as one of the foremost teaching and research mining schools in Great Britain. The students come to the University from all parts of the country and from abroad. The close proximity of Nottingham to mines extracting coal and different metals makes it possible for the University to keep in close touch with new achievements in mining.

The aim of training at the University is to give the student an understanding of applied science based on lectures, tutorial system, laboratory work and design classes. The laboratory work trains the student in accurate recording of observations, drawing of logical conclusions and presentation of scientific reports. Besides, it gives the student an understanding of experimental methods and familiarizes him (or her) with the characteristics of engineering materials, equipment and machines.

At Nottingham there are two types of laboratories, general and Specialized. General laboratories deal with the fundamentals of engineering science and specialized ones1 study the more specialized problems in different branches of engineering.

During the final two years of his course the student gets a comprehensive training in surveying. Practical work both in the field and in drawing classes forms an important part of this course. Besides, the students have practical work in survey camps during two weeks. The equipment available for carrying out traversing, levelling, tacheometric and astronomical surveying is of the latest design.

The practical and laboratory work throughout the three or four years of study forms a very important part of the course, so the students obtain the required standard in their laboratory course work before they graduate.

British educational system is fee-paying. The annual fee includes registration, tuition, examination, graduation and, in the case of full-time students, membership of the Union of Students.

Students from all over the world (nearly 100 countries) study at the University of Nottingham. For many years the University has had a thriving community of international students.

The University pays much attention to learning foreign languages. For individual study there is a 16-place self-access tape library with a tape archive of 3,000 tapes in 30 languages. There are also 16 video work stations where the students play back video tapes or watch TV broadcasts in a variety of languages.

1. Определите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. In Great Britain the students can get mining education only at special colleges.
2. The training at universities is based on tutorial system.
3. The laboratory work familiarizes the student with modern equipment.
4. There are three types of laboratories at the University of Nottingham.
5. When the students study surveying, they have practical work both in the field and in drawing classes.
6. The students from abroad don't study at Nottingham.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. Where can one get mining education in Great Britain?
2. Is the Mining Department at the University of Nottingham one of the foremost research mining schools in Great Britain?
3. What makes it possible for the University to keep in close touch with the, achievements in mining?
4. What are the students supposed to do in the laboratories?
5. Will the students have practical work in survey camps or in the laboratories?
6. What do the students use surveying equipment for?
7. What can you say about studying foreign languages at the University?

№4

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

advance - *n* прогресс, успех; продвижение вперед; v делать успехи, развиваться, продвигаться вперед; **advanced courses** курсы по расширенной программе

authority - *n* администрация; начальство

differ - v (from) отличаться (от); **difference** *n* различие; разница; **different** *a* различный; *syn* **various**

excavate - v добывать *(уголь);* вырабатывать полезное ископаемое открытым способом; вынимать *(грунт);* **excavation** - *n* открытая разработка карьером; разрез, карьер; **surface excavation** открытая разработка; *syn* **open-cast (opencast)**

experience - *n* жизненный опыт; опыт работы; стаж

found - v основывать**; *syn* establish, set up; foundation** - *n* основание; учреждение; основа; **lay the foundation** положить начало чему-л , заложить основу чего-л.

manage - v управлять, заведовать, справляться, уметь обращаться; **management** - *n* управление, заведование; правление, дирекция; **management studies** - наука об управлении

mean (meant) - *v* значить, иметь значение, подразумевать; намереваться, иметь в виду; **means** - *n, pl* средства, **meaning** - *n* значение, **by means of** посредством (чего-л)

metalliferous – *a* содержащий металл, рудоносный

preliminary - *a* предварительный**; preliminary course** подготовительные курсы

realize - v представлять, себе; понимать *(во всех деталях); **syn*** **understand**

recognize - *v* признавать; узнавать

work out -v разрабатывать *(план);* решать задачу

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 4: Mining Education in Great Britain (continued)

At present in Great Britain there are a number of universities and colleges which give instruction in mechanical engineering, mining, metallurgy, etc. These institutions provide full-time and part-time education. It should be noted that technical colleges confer diplomas' on college graduates.

A university graduate leaves with the degree of Bachelor of Arts or Bachelor of Science, which is an academic qualification awarded by universities.

For example, the University in Cardiff has become one of the largest in Wales. It is one of the four colleges which together with the Welsh National School of Medicine form the University of Wales. There is the Mining Engineering Department in the University of Wales. The Department deals with the whole range of extractive industries such as coal and metalliferous mining, quarrying and oil technology.

After graduating from the college a student can be recommended for entry to the university by a college authority and he can apply for admission to the university.

At the Mining Department students may take several courses such as geology, mining engineering, mine surveying, quarrying, management studies and others. It has become a tradition that the courses are based on an intensive tutorial system. It means that students are allotted to members of the teaching staff for individual tuition separately in mining, in quarrying and in mine surveying. The system is founded on that of the older universities of Great Britain.

At the Department of Mining Engineering of the Newcastle University mining has now become a technically advanced profession. The Department of Mining Engineering trains industrially experienced engineers through various advanced courses in rock mechanics and surface excavation. For many years the Mining Engineering Department at Newcastle has recognized the need for highly-qualified engineers and realized that the courses in rock mechanics and surface excavation are of great importance for mining engineers.

At the University a student studies for three or four years. The organization of the academic year is based on a three-term system which usually runs from about the beginning of October to the middle of December, from the middle of January to the end of March and from the middle of April to the end of June or the beginning of July.

Students course is designed on a modular basis. Modules are self-contained 'units' of study, which are taught and assessed independently of each other. When a student passes a module, he (she) gains a credit. All modules carry a number of credits. At the end of the term, the number of credits a student gets, determines the award he (she) receives. Each module is continuously assessed by coursework and/or end-of-term examinations.

Admission to the British universities is by examination and selection. The minimum age for admission to the four-year course is normally 18 years. Departments usually interview all the candidates. The aim of the interview is to select better candidates.

Just over half of all university students live in colleges, halls of residence, or other accommodation provided by their university, another third lives in lodgings or privately rented accommodation; and the rest live at home.

1. Определите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. At present there are about a hundred technical institutions in Great Britain.
2. It should be noted that British colleges confer degrees.
3. As a rule a college authority recommends the graduates for entry to the university.
4. At the Mining Engineering Department of the University of Wales the students study only metalliferous mining.
5. At the Mining Engineering Department the courses are based on an intensive tutorial system.
6. The Mining Engineering Department at the Newcastle University has recognized the importance of teaching rock mechanics and surface excavation (open-cast mining).

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. Are there many technical institutions in Great Britain?
2. What is the difference between colleges and universities?
3. Is the Mining Engineering Department the only one in the University of Wales?
4. Does the Mining Engineering Department deal only with metalliferous mining?
5. Can a student enter the university after he has graduated from the college?
6. What courses are of special importance for mining engineers?
7. What do you know about the organization of the academic year at British universities?
8. When do the students take their examinations?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) курсы по расширенной программе
б) рудоносные отложения
в) средства производства
г) горный факультет
д) открытые горные работы
е) опытный инженер
ж) администрация колледжа
з) поощрять студентов
и) отвечать требованиям университета
к) наука об управлении

1. зависеть от условий
2. значить, означать
3. признать необходимость (чего-л.)
4. ежегодная производительность (шахты)
5. начальник шахты
6. добывающая промышленность
7. представлять особую важность
8. механика горных пород
9. единственный карьер
10. основывать факультет (школу, систему и т.д.)

№5

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

abyssal - *a* абиссальный, глубинный; **hypabissal** - *a* гипабиссальный
adjacent - *a* смежный, примыкающий
ash - *n* зола
belt - *n* пояс; лента; ремень
body - *n* тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты
common - *a* обычный; общий; *syn* **general;** *ant* **uncommon**
cool - v охлаждать(ся); остывать; прохладный; *ant* **heat** нагревать(ся)

dimension - *n* измерение; *pl* размеры; величина; *syn* **measurement, size**
dust - *n* пыль
dyke – *n* дайка
extrusion - *n* вытеснение; выталкивание; *ant* **intrusion** вторжение; *геол.* интрузия *(внедрение в породу изверженной массы)*
fine - *a* тонкий, мелкий; мелкозернистый; высококачественный; тонкий; прекрасный, ясный (о *погоде);* изящный; **fine-graded (fine-grained)** мелкозернистый, тонкозернистый; **fines** - *n pl* мелочь; мелкий уголь
flow - v течь; литься; *n* течение; поток; **flow of lava** поток лавы
fragmentary - *a* обломочный, пластический
glass - *n* стекло; **glassy** - *a* гладкий, зеркальный; стеклянный
gold - *n* золото
inclined - *a* наклонный
mica - *n* слюда
permit - *v* позволять, разрешать; *syn* **allow, let; make possible**
probably - *adv* вероятно; *syn* **perhaps, maybe**
shallow - *a* мелкий; поверхностный; *ant* **deep** глубокий
sill - *n* силь, пластовая интрузия
stock - *n* шток, небольшой батолит
vein - *n* жила, прожилок, пропласток

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 5: Igneous Rocks

Igneous rocks have crystallized from solidified magma.

Igneous rocks can be classified in a number of ways and one of (hem is based on mode of occurrence. They occur either as intrusive (below the surface) bodies or as extrusive masses solidified at the Earth's surface. The terms "intrusive" and "extrusive" refer to the place where rocks solidified.

The grain size of igneous rocks depends on their occurrence. The intrusive rocks generally cool more slowly than the extrusive rocks and crystallize to a larger grain size. The coarser-grained intrusive rocks with grain size of more than 0.5 mm called plutonic or abyssal are referred to as intrusive igneous rocks because they are intruded into older pre-existing rocks. Extrusive or volcanic rocks have even finer grains, less than 0.05 mm and are glassy.

Exposed igneous rocks are most numerous in mountain zones for two reasons. First, the mountain belts have been zones of major deformation. Second, uplifts in mountain belts have permitted plutonic masses to be formed.

The largest bodies of igneous rocks are called batholiths. Batholiths cooled very slowly. This slow cooling permitted large mineral grains to form. It is not surprising that batholiths are composed mainly of granitic rocks with large crystals called plutons. As is known, granites and diorites belong to the group of intrusive or plutonic rocks formed by solidification of igneous mass under the Earth's crust. Granites sometimes form smaller masses called stocks, when the occurrence has an irregular shape but smaller dimensions than the batholiths.

Laccoliths and sills, which are very similar, are intruded between sedimentary rocks. Sills are thin and they may be horizontal, inclined or vertical. Laccoliths are thicker bodies and in some cases they form mountains.

Dykes are also intrusive bodies. They range in thickness from a few inches to several thousand feet. Dykes are generally much longer than they are wide. Most dykes occupy cracks and have straight parallel walls. These bodies cool much more rapidly and are commonly fine-grained. For example, granite may occur in dykes that cut older rocks.

Pegmatites (quartz, orthoclase and mica) also belong to the group of plutonic or intrusive rocks. They occur in numerous veins which usually cut through other plutonites, most often granite, or adjacent rocks.

Extrusive igneous rocks have been formed from lava flows which come from fissures to the surface and form fields of volcanic rocks such as rhyolite, andesite, basalt, as well as volcanic ashes and dust, tuff, etc. As a rule, these rocks of volcanic origin cool rapidly and are fine-grained. It is interesting to note that basalt is the most abundant of all lavatypes. It is the principal rock type of the ocean floor.

Igneous rocks are rich in minerals that are important economically or have great scientific value. Igneous rocks and their veins are rich in iron, gold, zinc, nickel and other ferrous metals.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Igneous rocks have been formed by sedimentation.
2. Intrusive rocks have been formed by the cooling of rocks of the Earth's crust.
3. Extrusive rocks have been formed the same way.
4. The grain size of igneous rocks depends on mode of occurrence.
5. Exposed igneous rocks are numerous in mountain zones.
6. Granites and diorites belong to the group of extrusive rocks.
7. As a rule, granite may occur in dykes.
8. Pegmatites do not belong to the group of plutonic or intrusive rocks.

2). Ответьте на вопросы:

1. Have igneous rocks crystallized from magma or have they been formed by sedimentation?
2. Which types of igneous rocks do you know?
3. What does the grain size of igneous rocks depend on?
4. Can you give an example of intrusive or plutonic rocks?
5. Are diorites intrusive or extrusive formations?
6. What do you know about batholiths?
7. Do pegmatites belong to the group of plutonic or volcanic rocks?
8. How do pegmatites occur?
9. What minerals are igneous rocks rich in?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов в сочетаний слов:

1.	adjacent layers	а) способ залегания
2.	abyssal rocks	б) крупнозернистый
3.	dimensions of crystals	в) зоны крупных нарушений
4.	valuable minerals	г) абиссальные (глубинные) породы
5.	shape and size of grains	д) смежные пласты (слои)
6.	mode of occurrence	е) размеры кристаллов
7.	coarse-grained	ж) взбросы
8.	uplifts	з) форма и размер зерен
9.	zones of major deformation	и) ценные минералы

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1.	затвердевшие массы	а) irregular shape
2.	обломочные породы	б) at a certain depth
3.	медленно остывать	в) economically important
4.	мелкозернистый	г) solidified masses
5.	многочисленные трещины	д) scientific value
6.	неправильная форма	е) to cool slowly
7.	на определенной глубине	ж) existing types of rocks
8.	экономически важный	з) fine-grained
9.	научная ценность	и) fragmentary rocks

10. существующие типы пород к) numerous cracks or fissures

№6

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

band - *n* слой; полоса; прослоек *(породы); syn* **layer**
cleave - *v* расщепляться; трескаться, отделяться по кливажу; **cleavage** *n* кливаж
constituent - *n* составная часть, компонент
define - *v* определять, давать определение
distribute - v **(among)** распределять (между); раздавать;
disturb - *v* нарушать; смещать
excess - *n* избыток, излишек; *ant* **deficiency**
flaky - *a* слоистый; похожий на хлопья
fluid - *n* жидкость; жидкая или газообразная среда
foliate - *v* расщепляться на тонкие слои; **foliated** - *a* листоватый, тонкослоистый; *syn* **flaky**
marble - *n* мрамор
mention - *v* упоминать, ссылаться; *n* упоминание
plate - *n* пластина; полоса *(металла)*
pressure - *n* давление; **rock pressure (underground pressure)** горное давление, давление горных пород
relate - *v* относиться; иметь отношение; **related** *a* родственный; **relation** - *n* отношение; **relationship** - *n* родство; свойство; **relative** - *a* относительный; соответственный
run (ran, run) - *v* бегать, двигаться; течь; работать (о *машине);* тянуться, простираться; управлять *(машиной);* вести *(дело, предприятие)*
schistose - *a* сланцеватый; слоистый
sheet - *n* полоса
slate - *n* сланец; *syn* **shale**
split (split) - *v* раскалываться, расщепляться, трескаться; *syn* **cleave**
trace - *n* след; **tracing –** *n* прослеживание
at least по крайней мере
to give an opportunity (of) давать возможность *(кому-л., чему-л.)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 6: Metamorphic Rocks

The problem discussed concerns metamorphic rocks which compose the third large family of rocks. "Metamorphic" means "changed from". It shows that the original rock has been changed from its primary form to a new one. Being subjected to pressure, heat and chemically active fluids beneath the Earth's surface, various rocks in the Earth's crust undergo changes in texture, in mineral composition and structure and are transformed into metamorphic rocks. The process described is called metamorphism.

As is known, metamorphic rocks have been developed from earlier igneous and sedimentary rocks by the action of heat and pressure.

Gneisses, mica schists, phyllites, marbles, slate, quartz, etc. belong to the same group of rocks. Having the same mineral composition as granite, gneisses consist chiefly of quartz, orthoclase and mica. However unlike granite, they have a schistose structure. It means that their constituents are distributed in bands or layers and run parallel to each other in one direction. If disturbed the rock cleaves easily into separate plates.

The role of water in metamorphism is determined by at least four variable geologically related parameters: rock pressure, temperature, water pressure, and the amount of water present.

During a normal progressive metamorphism rock pressure and temperature are interdependent, and the amount of water and the pressure of water are related to the sediments and to the degree of metamorphism in such a way that, generally speaking, the low-grade metamorphic rocks are

characterized by the excess of water. The medium-grade rocks defined by some deficiency of water and the high-grade metamorphic rocks are characterized by the absence of water.

Many of the metamorphic rocks mentioned above consist of flaky materials such as mica and chlorite. These minerals cause the rock to split into thin sheets, and rocks become foliated.

Slate, phyllite, schist and gneiss belong to the group of foliated metamorphic rocks. Marble and quartzite are non-foliated metamorphic rocks.

The structure of metamorphic rocks is of importance because it shows the nature of pre-existing rocks and the mechanism of metamorphic deformation. Every trace of original structure is of great importance to geologists. It gives an opportunity of analysing the causes of its metamorphism.

Being often called crystalline schists, metamorphic rocks such as gneisses and mica have a schistose structure. Metamorphic rocks represent the oldest portion of the Earth's crust. They are mostly found in the regions of mountain belts where great dislocations on the Earth once took place.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Generally speaking, metamorphic rocks have been developed from ores.
2. Marble, slate and phyllite belong to the group of metamorphic rocks.
3. As is known, unlike granite metamorphic rocks have a schistose structure.
4. It is quite obvious that the role of water in metamorphism is great.
5. As a rule, low-grade metamorphic rocks are characterized by the absence of water.
6. Flaky materials cause the rock to split into thin sheets.
7. It should be noted that marble and quartzite are foliated metamorphic rocks.
8. The structure of metamorphic rocks shows the nature of older preexisting rocks and the mechanism of metamorphic deformation as well.
9. All metamorphic rocks are non-foliated.

2). Ответьте на вопросы:

1. Do you know how metamorphic rocks have been formed?
2. Which rocks belong to the group of metamorphic?
3. Does gneiss have the same structure as granite?
4. Is the role of water great in metamorphism?
5. What rocks do we call foliated? What can you say about non-foliated metamorphic rocks?
6. How can geologists trace the original structure of metamorphic rocks?
7. Why are metamorphic rocks often called crystalline schists?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. as a result of the chemical and physical changes
2. constituents of rocks
3. to be subjected to constant development
4. to undergo changes
5. excess of water
6. low-grade ores
7. coal band
8. to cleave into separate layers
9. traces of original structure
10. generally speaking

а) полоса (или прослоек) угля
б) составляющие пород
в) расщепляться на отдельные слои
г) вообще говоря

д) в результате химических и физических изменений
е) избыток воды
ж) изменяться
з) находиться в постоянном развитии
и) низкосортные руды
к) следы первоначальной структуры

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. иметь значение
2. упомянутые выше
3. сланцеватая структура
4. в отличие от гранита
5. недостаток воды
6. существовавшие ранее породы
7. слоистые породы
8. мрамор и сланец
9. гнейс
10. давать возможность
11. определять структуру

а) unlike granite
б) to be of importance
в) pre-existing rocks
г) mentioned above
д) schistose structure
е) to give an opportunity (of doing smth)
ж) to define (determine) rock texture
з) deficiency of water
и) flaky rocks
к) marble and slate
л) gneiss

№7

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

aerial - *a* воздушный; надземный

certain - *a* определенный; некоторый; **certainly** *adv* конечно

cost - (cost) v стоить; *n* цена; стоимость

crop - v (out) обнажать(ся), выходить на поверхность *(о пласте, породе); syn* **expose;** засевать, собирать урожай

dredging - *n* выемка грунта; драгирование

drill - v бурить, сверлить; *n* бурение, сверление; бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение, сверление; **core-drilling** колонковое (керновое) бурение

drive (drore, **driven**) - v проходить *(горизонтальную выработку);* приводить в движение; управлять *(машиной); n* горизонтальная выработка; привод; передача

evidence – *n* основание; признак(и); свидетельства

expect - v ожидать; рассчитывать; думать; предлагать

explore - v разведывать месторождение полезного ископаемого с попутной добычей; **exploratory** - *a* разведочный; **exploration** - *n* детальная разведка; разведочные горные работы по месторождению

galena - *n* галенит, свинцовый блеск

indicate - v указывать, показывать; служить признаком; означать

lead - *n* свинец

look for - v искать

open up - v вскрывать *(месторождение);* нарезать *(новую лаву, забой);* **opening** - *n* горная выработка; подготовительная выработка; вскрытие месторождения

panning - *n* промывка *(золотоносного песка в лотке)*

processing - *n* обработка; - **industry** обрабатывающая промышленность

prove - v разведывать *(характер месторождения или залегания);* доказывать; испытывать, пробовать; **proved** - *a* разведанный, достоверный; **proving** - *n* опробование, предварительная разведка

search - v исследовать; (for) искать *(месторождение); n* поиск; *syn* **prospecting**

sign - *n* знак, символ; признак, примета

store - v хранить, накапливать *(о запасах)*

work - v работать; вынимать, извлекать *(уголь, руду);* вырабатывать; **workable** - *a* подходящий для работы, пригодный для разработки, рабочий *(о пласте);* рентабельный; **working** - *n* разработка, горная выработка

country rock коренная (основная) порода

distinctive properties отличительные свойства

malleable metal ковкий металл

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 7: Prospecting

Mining activities include prospecting and exploration for a mineral deposit through finding, proving, developing, extracting and processing the ore. That is why it is possible to divide the mining activity into three major phases: 1) before mining which involves prospecting and exploration required to locate, characterize and prove a potential ore body; 2) mining which refers to actual coal or ore extraction. Extraction processes include underground or surface mining and dredging; 3) after mining which involves processing and preparing the raw ore for the end product.

As has already been said, before a mineral deposit can be worked, that is, before it can be extracted from the Earth for use by man, it must first be found. The search for economically useful mineral deposits is called prospecting. To establish the quality and quantity of a mineral deposit, the type of country rock, etc. means to prove it and this process is called proving. Prospecting and proving are only two different stages of mining geological exploration, the latter includes drilling and driving of openings.

Last century prospectors looked for visible evidence of mineralization on the surface of the Earth. To recognize valuable minerals it was necessary to know their various distinctive physical properties. For example, gold occurs in nature as a heavy malleable yellow metal. -Galena, the most important mineral containing lead, is dark grey, heavy and lustrous. The first ores of iron to be mined were deposits of magnetite, a black heavy mineral capable of attracting a piece of iron.

As the deposits of mineral that cropped out at the surface were mined, the search for additional supplies of minerals took place. The science of geology was used to explain the occurrence of ore deposits.

The aim of geological prospecting is to provide information on a preliminary estimation of the deposit and the costs of the geological investigations to be made. It also indicates whether it is available to continue the exploration or not.

Prospecting work includes three stages: 1) finding signs of the mineral; 2) finding the deposit; 3) exploring the deposit.

General indications of the possibility of exposing this or that mineral in a locality can be obtained by studying its general topographical relief, the type of ground and its general natural conditions. Thus, in mountainous regions where fissures were formed during the process of mountain formation, ore minerals could be expected in the fissure fillings. In hilly regions, sedimentary deposits would be expected.

Certain deposits are found only in a particular type of ground. Coal seams, for example, are found in sedimentary formations mainly consisting of sandstones and shales. Veins, on the other hand,

are found in crystalline (igneous) rocks, and the type of country rock usually determines the type of minerals.

At present, prospecting methods to be used are as follows:

1. Surface geological and mineralogical prospecting such as panning.
2. Geophysical, geochemical, geobotanical prospecting.
3. Aerial photography with geological interpretation of the data to be obtained is highly effective from aircraft or helicopter. Besides, successful development of space research has made it possible to explore the Earth's resources from space by satellites.

In modern prospecting the methods mentioned above are used together with the study of geological maps.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The search for economically useful mineral deposits is called proving.
2. Last century prospectors looked for visible evidence of mineral deposits.
3. The first ores of iron to be mined were deposits of galena.
4. The science of geology can explain the mode of occurrence of ore deposits.
5. As a rule prospecting includes four stages.
6. The study of general topographical relief and the type of ground makes it possible to expose this or that deposit.
7. Geologists know that certain deposits are only found in a particular type of ground.
8. As is known, veins are found in metamorphic rocks.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is prospecting?
2. What is proving?
3. How did prospectors find mineral deposits in the 19th century?
4. Does gold occur in nature as a heavy malleable yellow metal or as a heavy dark-grey one?
5. What metal is capable of attracting a piece of iron?
6. What does prospecting work provide?
7. What are the three main stages of prospecting?
8. Is it enough to know only the topographical relief of a locality for exposing this or that mineral?
9. What methods of prospecting do you know?
10. What are the most effective aerial methods of prospecting now?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. country rock	а) залегание рудных месторождений
2. panning	б) блестящий металл
3. the search for commercially useful deposits	в) коренная (основная) порода
4. geological exploration	г) дополнительные запасы минералов
5. to look for evidence of mineralization	д) промывка (золотоносного песка в лотке)
6. distinctive properties	е) геологическая разведка (с попутной добычей)
7. lustrous metal	ж) искать доказательства наличия месторождения
8. capable of attracting a piece of iron	з) отличительные свойства
9. additional supplies of minerals	и) поиски экономически полезных месторождений
10. the occurrence of ore deposits	к) способный притягивать кусок металла

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1.	стоимость геологических исследований	а) the data obtained
2.	выходить на поверхность (обнажаться)	б) galena, sandstones and shales
3.	произвести предварительную оценку (месторождения)	в) the cost of geological investigations
4.	визуальные наблюдения с воздуха	г) to crop out
5.	полученные данные	д) certain ore deposits
6.	галенит, песчаники и сланцы	е) to make a preliminary estimation (of a deposit)
7.	общие показания	ж) visual aerial observations
8.	находить признаки месторождения	з) to find the signs of a deposit
9.	определенные рудные месторождения	и) general indications

№8

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

adit - *n* горизонтальная подземная выработка, штольня

angle - *n* угол

approximate - *a* приблизительный

bit - *n* режущий инструмент; буровая коронка, коронка для алмазного бурения; головка бура, сверло; **carbide bit** армированная коронка, армированный бур; **diamond bit** - алмазная буровая коронка

borehole - *n* скважина, буровая скважина

crosscut - *n* квершлаг

dip - *n* падение *(залежи);* уклон, откос; v падать

enable - v давать возможность или право *(что-л. сделать)*

exploit - v разрабатывать *(месторождение);* эксплуатировать; **exploitation** - *n* разработка; эксплуатация

measure - *n* мера; мерка; критерий; степень; *pl* свита, пласты; v измерять

overburden - *n* покрывающие породы, перекрывающие породы; верхние отложения, наносы; вскрыша

pit - *n* шахта; карьер, разрез; шурф

reliable - *a* надежный; достоверный

rig - *n* буровой станок, буровая вышка; буровая каретка; буровое оборудование

sample - *n* образец; проба; v отбирать образцы; опробовать, испытывать

section - *n* участок, секция, отделение, отрезок, разрез, профиль, поперечное сечение; **geological** ~ геологический разрез *(пород)*

sequence - *n* последовательность; порядок следования; ряд

sink (sank, sunk) - v проходить *(шахтный ствол, вертикальную выработку);* углублять; погружать; опускать; **sinking** - *n* проходка *(вертикальных или наклонных выработок);* **shaft sinking** - проходка ствола

slope - *n* наклон; склон; бремсберг; уклон; v клониться, иметь наклон; **sloping** - *a* наклонный; **gently sloping** - с небольшим наклоном

steep - *a* крутой, крутопадающий, наклонный

strike - *n зд.* простирание; v простираться; **across the strike** - вкрест простирания; **along (on) the strike** по простиранию

trench - *n* траншея, канава; котлован; v копать, рыть, шурфовать

to make use (of) использовать, применять

to take into consideration принимать во внимание; *syn* **take into account**

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 8: Exploration of Mineral Deposits

Exploration is known to include a whole complex of investigations carried out for determining the industrial importance of a deposit. The main task is to determine the quality and quantity of mineral and the natural and economic conditions in which it occurs. The exploration of the deposit is divided into three stages, namely preliminary exploration, detailed exploration and exploitation exploration.

The aim of preliminary exploration is to establish the general size of a deposit and to obtain an approximate idea of its shape, dimensions and quality. At this stage the geological map of the deposit is corrected and a detailed survey of its surface is completed.

The information on the preliminary exploration is expected to give an all-round description of the deposit which will enable the cost of its detailed exploration to be estimated.

The following points should be taken into consideration: 1) the shape and area of the deposit; 2) its depth and angles of dip and strike; 3) its thickness; 4) the properties of the surrounding rock and overburden; 5) the degree of uniformity of distribution of the mineral within the deposit and the country rock, etc.

Preliminary explorations can make use of exploratory openings such as trenches, prospecting pits, adits, crosscuts and boreholes. They are planned according to a definite system, and some are driven to a great depth.

All the exploratory workings are plotted on the plan. These data allow the geologist to establish the vertical section of the deposit.

The quality of the mineral deposit is determined on the basis of analyses and tests of samples taken from exploratory workings.

The method of exploration to be chosen in any particular case depends on the thickness of overburden, the angle of dip, the surface relief, the ground water conditions and the shape of the mineral deposit.

The task of the detailed exploration is to obtain reliable information on the mineral reserves, their grades and distribution in the different sectors of the deposit. Detailed exploration data provide a much more exact estimate of the mineral reserves.

Mine or exploitation exploration is known to begin as soon as mining operations start. It provides data for detailed estimates of the ore reserves of individual sections. It facilitates the planning of current production and calculating the balance of reserves and ore mined.

The searching and discovering of new mineralized areas are based on geological survey and regional geophysical prospecting. The results of these investigations provide data on iron-bearing formations and new deposits for commercial extraction.

In detailed exploration both underground workings and borehole survey are used. Core drilling with diamond and carbide bits is widely used. Non-core drilling is also used in loose rocks in combination with borehole geophysical survey.

One of the main methods to explore coal deposits is also core-drilling. Modern drilling equipment makes it possible to accurately measure bed thickness and determine structure of beds, faults and folds. Recording control instruments are attached to drilling rigs which allow the geologists to get reliable samples good for nearly all parameters of coal quality to be determined.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The purpose of preliminary exploration is to determine the mineral reserves and their distribution in the different sectors of the deposit.
2. The properties of the surrounding rock and overburden should be taken into consideration during the preliminary exploration.
3. The purpose of the detailed exploration is to find out the quantity (reserves) of the deposit.
4. Exploitation exploration facilitates the planning of current production.
5. Both core drilling and non-core drilling are widely used.

6. Recording control instruments allow geologists to get reliable ore samples.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What stages does exploration include?
2. What is the main purpose of preliminary exploration?
3. What should be taken into consideration by geologists during preliminary exploration?
4. What exploratory openings do you know?
5. Do you know how the quality of the mineral deposit is determined?
6. What is the aim of a detailed exploration?
7. Is core drilling used in prospecting for loose rocks?
8. What is drilling equipment used for?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1. bedded deposits
2. core drilling
3. the angle of dip of the seam
4. the thickness of overburden
5. exploratory workings
6. composition of minerals
7. pits and crosscuts
8. to exploit new oil deposits
9. sampling
10. geological section

а) мощность наносов
б) разрабатывать новые месторождения нефти
в) шурфы и квершлаги
г) пластовые месторождения
д) опробование (отбор) образцов
е) угол падения пласта
ж) колонковое бурение
з) геологический разрез (пород)
и) состав минералов
к) разведочные выработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1. буровые скважины
2. по простиранию пласта
3. равномерность распределения минерала в залежи
4. водоносность пород
5. карбидные и алмазные коронки
6. детальная разведка
7. использовать новые поисковые методы
8. проникать в залежь
9. коренная порода
10. свойства окружающих пород

а) ground water conditions
б) detailed exploration
в) boreholes
г) along the strike of the bed (seam)
д) carbide and diamond bits
е) the uniformity of mineral distribution in the deposit
ж) the properties of surrounding rocks
з) to make use of new prospecting methods
и) country rock
к) to penetrate into the deposit

3. Подготовка к практическим занятиям (запоминание иноязычных лексических единиц и грамматических конструкций)

Грамматические конструкции представлены на стр. 6 – 40.

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

Семья. Family

родственник relative, relation
родители parents
мать (мама) mother (mom, mum, mama, mamma, mummy, ma)
отец (папа) father (dad, daddy, papa, pa)
жена wife
муж husband
супруг(а) spouse
ребенок, дети child, children
дочь daughter
сын son
сестра sister
брат brother
единственный ребенок only child
близнец twin
близнецы, двойняшки twins
брат-близнец twin brother
сестра-близнец twin sister
однояйцевые близнецы identical twins
тройняшки triplets
бабушка и дедушка grandparents
бабушка grandmother (grandma, granny, grandmamma)
дедушка grandfather (grandpa, granddad, grandpapa, grandad)
внуки grandchildren
внучка granddaughter
внук grandson
прабабушка great-grandmother
прадедушка great-grandfather
прабабушка и прадедушка great-grandparents
правнуки great-grandchildren
тётя aunt
дядя uncle
крестный (отец) godfather
крестная (мать) godmother
отчим, приемный отец stepfather
мачеха, приемная мать stepmother
сводный брат stepbrother
сводная сестра stepsister
брат по одному из родителей half-brother
сестра по одному из родителей half-sister
приемный, усыновленный сын adopted son
приемная, удочеренная дочь adopted daughter
приемный ребенок adopted child
патронатная семья, приемная семья foster family
приемный отец foster father
приемная мать foster mother
приемные родители foster parents

приемный сын foster son
приемная дочь foster daughter
приемный ребенок foster child
неполная семья (с одним родителем) single-parent family
родня the kin, the folks
племянница niece
племянник nephew
двоюродный брат cousin (male)
двоюродная сестра cousin (female)
двоюродный брат (сестра), кузен (кузина) first cousin
троюродный брат (сестра) second cousin
четвероюродный брат (сестра) third cousin
родня со стороны мужа или жены in-laws
свекровь mother-in-law (husband's mother)
свёкор father-in-law (husband's father)
тёща mother-in-law (wife's mother)
тесть father-in-law (wife's father)
невестка, сноха daughter-in-law
зять son-in-law
шурин, свояк, зять, деверь brother-in-law
свояченица, золовка, невестка sister-in-law
семейное положение marital status
холостой, неженатый, незамужняя single
женатый, замужняя married
брак marriage
помолвка engagement
помолвленный, обрученный engaged
развод divorce
разведенный divorced
бывший муж ex-husband
бывшая жена ex-wife
расставшиеся, не разведенные, но не проживающие одной семьей separated
вдова widow
вдовец widower
подружка, невеста girlfriend
друг, парень, ухажер boyfriend
любовник, любовница lover
ухажер, жених, подружка, невеста, обрученный fiance
свадьба wedding
невеста на свадьбе bride
жених на свадьбе (bride)groom
медовый месяц honeymoon

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

The Ural State Mining University

Mining University – Горный университет; **higher educational institution** - высшее учебное заведение; **to provide** - зд. Предоставлять; **full-time education** - очное образование; **extramural education** - заочное	**scientific research centre** - центр научных исследований; **master of science** - кандидат наук; **capable** – способный; **to take part in** - принимать участие; **graduate** – выпускник; **to dedicate** – посвящать;

образование; **to award** – награждать; **post-graduate courses** – аспирантура;	**to carry out scientific work** - выполнять научную работу;

Faculty of Mining Technology - горно – технологический; **Faculty of Engineering and Economics** - инженерно-экономический; **Institute of World Economics** – Институт мировой экономики; **Faculty of Mining Mechanics** - горно-механический; **Faculty of Civil Protection** – гражданской защиты; **Faculty of City Economy** – городского хозяйства;	**Faculty of Geology & Geophysics** – геологии и геофизики; **Faculty of extramural education** – заочный; **department** – кафедра; **dean** – декан; **to train specialists in** - готовить специалистов; **to consist of** - состоять из; **preparatory** – подготовительный; **additional** – дополнительный; **to offer** – предлагать;

to house - размещать /ся/; **building** – здание; **Rector's office** – ректорат; **Dean's office** – деканат; **department** – кафедра; **library** – библиотека; **reading hall** - читальный зал; **assembly hall** - актовый зал; **layout** - расположение, план; **administrative offices** - административные отделы;	**computation centre** - вычислительный центр; **canteen** – столовая; **to have meals** – питаться; **hostel** – общежитие; **to go in for sports** - заниматься спортом; **wrestling** – борьба; **weight lifting** - тяжелая атлетика; **skiing** - катание на лыжах; **skating** - катание на коньках; **chess** – шахматы;

academic work - учебный процесс; **academic year** - учебный год; **to consist of** - состоять из; **bachelor's degree** - степень бакалавра; **course of studies** - курс обучения; **to last** - длиться; **term** - семестр; **to attend lectures and classes** - посещать лекции и занятия; **period** - пара, 2 – х часовое занятие; **break** - перерыв; **subject** - предмет; **descriptive geometry** - начертательная геометрия;	**general geology** - общая геология; **foreign language** - иностранный язык; **to operate a computer** - работать на компьютере; **to take a test (an exam)** - сдавать зачет, экзамен; **to pass a test (an exam)** - сдать зачет, экзамен; **to fail a test (an exam)** - не сдать зачет, экзамен; **to fail in chemistry** - не сдать химию; **holidays, vacations** - каникулы; **to present graduation paper** - представлять дипломные работы; **for approval** - к защите;

The Faculty of Mining Technology trains specialists in: mine surveying - маркшейдерская съемка; underground mining of mineral deposits - подземная разработка месторождений полезных ископаемых; mine and underground construction - шахтное и подземное строительство; surface mining (open-cut mining) - открытые горные работы; physical processes of mining, oil and gas production - физические процессы горного и нефтегазового производства; placer mining - разработка россыпных месторождений; town cadastre - городской кадастр.

The Institute of World Economics trains specialists in: land improvement, recultivation and soil protection - мелиорация, рекультивация и охрана земель; engineer protection of environment in mining - инженерная защита окружающей среды в горном деле; computer systems of information processing and control - автоматизированные системы обработки информации и управления; economics and management at mining enterprises - экономика и управление на предприятиях горной промышленности.

The Faculty of Mining Mechanics trains specialists in: electromechanical equipment of mining enterprises - электромеханическое оборудование горных предприятий; designing & production of mining, oil and gas machinery - конструирование и производство горных и нефтегазопромысловых машин; technological and service systems of exploitation and maintenance of machines and equipment - технологические и сервисные системы эксплуатации и ремонта машин и оборудования; motorcars and self-propelled mining equipment - автомобили и самоходное горное оборудование; electric drive and automation or industrial units and technological complexes - электопривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов; automation of technological processes and industries - автоматизация технологических процессов и производств; mineral dressing - обогащение полезных ископаемых.

The Faculty of Geology & Geophysics trains specialists in: geophysical methods of prospecting and exploring mineral deposits - геофизические мет оды поисков и разведки месторождений полезных ископаемых; according to some specializations: geoinformatics – геоинформатика; applied geophysics - прикладная геофизика; structural geophysics - структурная геофизика; geological surveying and exploration or mineral deposits - геологическая съемка и поиски МПИ; geology and mineral exploration - геология и разведка МПИ; prospecting and exploration or underground waters and engineering - geological prospecting - поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания; applied geochemistry, petrology and mineralogy - прикладная геохимия, петро логия и минералогия; drilling technology - технология и техника разведки МПИ.

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My town

a building – здание
downtown – деловой центр города
town outskirts – окраина города
a road – дорога
an avenue – проспект
a pavement/a sidewalk - тротуар
a pedestrian – пешеход
a pedestrian crossing – пешеходный переход
traffic lights – светофор
a road sign – дорожный знак
a corner – угол
a school - школа
a kindergarten – детский сад
a university - университет
an institute – институт
an embassy - посольство
a hospital - больница
a shop/a store/a shopping centre/a supermarket – магазин, супермаркет
a department store – универмаг
a shopping mall/centre – торговый центр
a food market – продуктовый рынок
a greengrocery – фруктово-овощной магазин
a chemist’s/a pharmacy/a drugstore - аптека

a beauty salon – салон красоты
a hairdressing salon/a hairdresser's - парикмахерская
a dental clinic/a dentist's – стоматологическая клиника
a vet clinic – ветеринарная клиника
a laundry – прачечная
a dry-cleaner's – химчистка
a post-office – почтовое отделение
a bank – банк
a cash machine/a cash dispenser - банкомат
a library – библиотека
a sight/a place of interest - достопримечательность
a museum – музей
a picture gallery – картинная галерея
a park – парк
a fountain – фонтан
a square – площадь
a monument/a statue – памятник/статуя
a river bank – набережная реки
a beach – пляж
a bay - залив
a café – кафе
a restaurant – ресторан
a nightclub – ночной клуб
a zoo - зоопарк
a cinema/a movie theatre - кинотеатр
a theatre – театр
a circus - цирк
a castle - замок
a church – церковь
a cathedral – собор
a mosque - мечеть
a hotel – отель, гостиница
a newsagent's – газетный киоск
a railway station – железнодорожный вокзал
a bus station - автовокзал
a bus stop – автобусная остановка
an underground (metro, subway, tube) station – станция метро
a stadium – стадион
a swimming-pool – плавательный бассейн
a health club/a fitness club/a gym – тренажерный зал, фитнесс клуб
a playground – игровая детская площадка
a plant/a factory – завод/фабрика
a police station – полицейский участок
a gas station/a petrol station – заправочная автостанция, бензоколонка
a car park/a parking lot - автостоянка
an airport - аэропорт
a block of flats – многоквартирный дом
an office block – офисное здание
a skyscraper - небоскреб
a bridge – мост
an arch – арка
a litter bin/a trash can – урна

a public toilet – общественный туалет
a bench - скамья

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My speciality

The Earth's Crust and Useful Minerals

cause - v заставлять; вызывать; влиять; причинять; *n* причина, основание; дело; общее дело; *syn* **reason**

clay - *n* глина; глинозем

consolidate - v твердеть, затвердевать, уплотнять(ся); укреплять; *syn* **solidify**

crust - *n* кора; *геол.* земная кора

decay - v гнить, разлагаться; *n* выветривание *(пород);* распад, разложение

derive - v (from) происходить, вести свое происхождение *(от);* наследовать

destroy - v разрушать; уничтожать; **destructive** *a* разрушительный

dissolve v растворять

expose - v выходить *(на поверхность);* обнажаться; **exposure** - *n* обнажение

external - *a* внешний

extrusive - *a* эффузивный, излившийся *(о горной породе)*

force - v заставлять, принуждать; ускорять движение; *n* сила; усилие

glacier - *n* ледник, глетчер

grain - *n* зерно; **angular grains** - угловатые зерна *(минералов);* **grained** - *a* зернистый

gravel - *n* гравий, крупный песок

internal - *a* внутренний

intrusive - *a* интрузивный, плутонический

iron - *n* железо

layer - *n* пласт

like - *a* похожий, подобный; *syn* **similar;** *ant* **unlike;** *adv* подобно

lime - *n* известь; **limestone** - *n* известняк

loose - *a* несвязанный, свободный; рыхлый

make up - v составлять; *n* состав *(вещества)*

particle - *n* частица; включение

peat - *n* торф; торфяник

represent - v представлять собою; означать; быть представителем; **representative** - представитель; **representative** - *a* характерный, типичный

rock – *n* горная порода; **igneous** - изверженная порода; **sedimentary** - осадочная порода

sand - *n* песок

sandstone - *n* песчаник; **fine-grained (medium-grained, coarse-grained)** - мелкозернистый (среднезернистый, грубозернистый) песчаник

sediment - *n* отложение; осадочная порода; **sedimentary** - *a* осадочный; **sedimentation** - *n* образование осадочных пород

schist - *n (кристаллический)* сланец; **schistose** - *a* сланцеватый, слоистый

shale - *n* сланец, сланцевая глина, глинистый сланец; **clay** - глинистый сланец; **combustible …, oil …** - горючий сланец

siltstone - *n* алеврит

stratification - *n* напластование, залегание

stratify - v напластовываться; отлагаться пластами; **stratified** *a* пластовый; *syn* **layered, bedded**

substance - *n* вещество, материал; сущность

thickness - *n* толщина, мощность

value - *n* ценность; важность; величина; значение; **valuable** - *a* ценный *(о руде)*

vary - v изменять(ся); отличать(ся); *syn* **differ, change (from); variable** - *a* переменный; непостоянный; **various** *a* различный; *syn* **different**

contain - v содержать *(в себе),* вмещать

crack - *n* трещина; щель; v давать трещину; трескаться, раскалываться

contract - v сжиматься; сокращаться

dust - *n* пыль

expand - v расширяться); увеличивать(ся) в объеме; **expansion** *n* расширение; *ant* **contract**

fissure - *n* трещина *(в породе, угле);* расщелина; щель

fracture - *n* трещина; излом; разрыв; v ломать(ся); раздроблять *(породу)*

freeze - *v* замерзать; замораживать; застывать

gradual - *a* постепенный; **gradually** *adv* постепенно

hard - *a* твердый, жесткий; *ant* **soft;** тяжелый (о *работе); adv* сильно, упорно; **hardly** *adv* едва, с трудом

hole - *n* отверстие; скважина; шпур; шурф

influence - *n* влияние; v **(on, upon)** влиять (не *что-л.)*

lateral - *a* боковой

occur - *v* залегать; случаться; происходить; *syn* **take place, happen; occurrence** - *n* залегание; **mode of occurrence** - условия залегания

penetrate - *v* проникать *(внутрь),* проходить через *(что-л.)*

phenomenon - *n* явление; *pi* **phenomena**

pressure - *n* давление; **lateral pressure** боковое *(горизонтальное)* давление; **rock pressure** горное давление, давление породы

rate - *n* степень, темп; скорость, норма; производительность; сорт; *syn* **speed, velocity**

refer - v (to) ссылаться *(на что-л.);* относиться *(к периоду, классу)*

resist - *v* сопротивляться; противостоять; противодействовать; **resistance** - *n* сопротивление; **resistant** - *a* стойкий; прочный; сопротивляющийся

size - *n* размер; величина; класс *(угля)*

solution – *n* раствор; **soluble** - *a* растворимый; **solvent** - растворитель; *a* растворяющий

succession – *n* последовательность, непрерывный ряд; **in succession** последовательно

undergo (underwent, undergone) - *v* испытывать *(что-л.),* подвергаться *(чему-л.)*

uniform – *a* однородный; одинаковый

weathering - *n* выветривание; эрозия *(воздействию, влиянию и т.д.)*

to be subjected to подвергаться

Rocks of Earth's Crust

abyssal - *a* абиссальный, глубинный; **hypabissal** - *a* гипабиссальный

adjacent - *a* смежный, примыкающий

ash - *n* зола

belt - *n* пояс; лента; ремень

body - *n* тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты

common - *a* обычный; общий; *syn* **general;** *ant* **uncommon**

cool - v охлаждать(ся); остывать; прохладный; *ant* **heat** нагревать(ся)

dimension - *n* измерение; *pl* размеры; величина; *syn* **measurement, size**

dust - *n* пыль

dyke – *n* дайка

extrusion - *n* вытеснение; выталкивание; *ant* **intrusion** вторжение; *геол.* интрузия *(внедрение в породу изверженной массы)*

fine - *a* тонкий, мелкий; мелкозернистый; высококачественный; тонкий; прекрасный, ясный (о *погоде);* изящный; **fine-graded (fine-grained)** мелкозернистый, тонкозернистый; **fines** - *n pl* мелочь; мелкий уголь

flow - v течь; литься; *n* течение; поток; **flow of lava** поток лавы

fragmentary - *a* обломочный, пластический

glass - *n* стекло; **glassy** - *a* гладкий, зеркальный; стеклянный
gold - *n* золото
inclined - *a* наклонный
mica - *n* слюда
permit - *v* позволять, разрешать; *syn* **allow, let; make possible**
probably - *adv* вероятно; *syn* **perhaps, maybe**
shallow - *a* мелкий; поверхностный; *ant* **deep** глубокий
sill - *n* силь, пластовая интрузия
stock - *n* шток, небольшой батолит
vein - *n* жила, прожилок, пропласток
band - *n* слой; полоса; прослоек *(породы); syn* **layer**
cleave - *v* расщепляться; трескаться, отделяться по кливажу; **cleavage** *n* кливаж
constituent - *n* составная часть, компонент
define - *v* определять, давать определение
distribute - v **(among)** распределять (между); раздавать;
disturb - *v* нарушать; смещать
excess - *n* избыток, излишек; *ant* **deficiency**
flaky - *a* слоистый; похожий на хлопья
fluid - *n* жидкость; жидкая или газообразная среда
foliate - *v* расщепляться на тонкие слои; **foliated** - *a* листоватый, тонкослоистый; *syn* **flaky**
marble - *n* мрамор
mention - *v* упоминать, ссылаться; *n* упоминание
plate - *n* пластина; полоса *(металла)*
pressure - *n* давление; **rock pressure (underground pressure)** горное давление, давление горных пород
relate - *v* относиться; иметь отношение; **related** *a* родственный; **relation** - *n* отношение; **relationship** - *n* родство; свойство; **relative** - *a* относительный; соответственный
run (ran, run) - *v* бегать, двигаться; течь; работать (о *машине);* тянуться, простираться; управлять *(машиной);* вести *(дело, предприятие)*
schistose - *a* сланцеватый; слоистый
sheet - *n* полоса
slate - *n* сланец; *syn* **shale**
split (split) - *v* раскалываться, расщепляться, трескаться; *syn* **cleave**
trace - *n* след; **tracing –** *n* прослеживание
at least по крайней мере
to give an opportunity (of) давать возможность *(кому-л., чему-л.)*
in such a way таким образом

Fossil Fuels

accumulate - v накапливать; скопляться
ancient - *a* древний, старинный; *ant* **modern**
associate - v связывать, соединять, ассоциироваться; *syn* **connect, link**
burn (burnt) - v сжигать; гореть; жечь
charcoal - *n* древесный уголь
convenient - *a* удобный, подходящий
crude - *a* сырой, неочищенный
dig (dug) - v добывать; копать; **digger** - n угольный экскаватор; землеройная машина
divide - v делить; (from) отделять; разделять
evidence - *n* доказательство; очевидность; признак(и)
fossil - *a* окаменелый, ископаемый; *n* ископаемое *(органического происхождения);* окаменелость
heat - v нагревать; *n* теплота
liquid - *a* жидкий; n жидкость; *ant* **solid**

manufacture - *v* изготовлять, производить; *syn* **produce**

mudstone - *n* аргиллит

purpose - *n* цель; намерение; *syn* **aim, goal**

shale - *n* глинистый сланец

the former … the latter - первый *(из вышеупомянутых)* последний *(из двух названных)*

bench - *n* слой, пачка *(пласта)*

blend - v смешивать(ся); вклинивать(ся)

combustion - *n* горение, сгорание; **spontaneous combustion** самовоспламенение, самовозгорание

continuity - *n* непрерывность, неразрывность

domestic - *a* внутренний; отечественный

estimate - v оценивать; *n* оценка; смета

fault - *n* разлом, сдвиг *(породы);* сброс; **faulting** *n* образование разрывов или сбросов

fold - *n* изгиб, складка, флексура; **foulding** - *n* складчатость, смешение *(пласта)* без разрыва

inflame - v воспламеняться; загорать(ся); **inflammable** - *a* воспламеняющийся, горючий, огнеопасный; **flame** - *n* пламя

intermediate - *a* промежуточный; вспомогательный

liable - *a* (to) подверженный; подлежащий *(чему-л.)*

luster - *n* блеск *(угля, металла);* **lustrous** - *a* блестящий

matter - *n* вещество; материя

moisture - *n* влажность, сырость; влага

parting - *n* прослоек

plane - *n* плоскость; **bedding plane** плоскость напластования

rank - *n* класс, тип; **coal rank** группа угля, тип угля

regular - *a* правильный; непрерывный; *ant* **irregular** неправильный; неравномерный; **regularity** *n* непрерывность; правильность

similar - *a* похожий, сходный; подобный; *syn* **alike, the same as**

smelt - v плавить *(руду);* выплавлять *(металл)*

store - v запасать, хранить на складе; вмещать

strata - *n pl от* **stratum** пласты породы; свита *(пластов);* формация, напластования породы; *syn* **measures**

thickness - *n* мощность *(пласта, жилы)*

uniform - *a* однородный; равномерный; **uniformity** *n* однородность; единообразие

utilize - v использовать; *syn* **use, apply, employ**

volatile - *a* летучий, быстро испаряющийся

Prospecting and Exploration

aerial - *a* воздушный; надземный

certain - *a* определенный; некоторый; **certainly** *adv* конечно

cost - (cost) v стоить; *n* цена; стоимость

crop - v (out) обнажать(ся), выходить на поверхность *(о пласте, породе); syn* **expose;** засевать, собирать урожай

dredging - *n* выемка грунта; драгирование

drill - v бурить, сверлить; *n* бурение, сверление; бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение, сверление; **core-drilling** колонковое (керновое) бурение

drive (drore, **driven**) - v проходить *(горизонтальную выработку);* приводить в движение; управлять *(машиной); n* горизонтальная выработка; привод; передача

evidence – *n* основание; признак(и); свидетельства

expect - v ожидать; рассчитывать; думать; предлагать

explore - v разведывать месторождение полезного ископаемого с попутной добычей; **exploratory** - *a* разведочный; **exploration** - *n* детальная разведка; разведочные горные работы по месторождению

galena - *n* галенит, свинцовый блеск

indicate - v указывать, показывать; служить признаком; означать

lead - *n* свинец

look for - v искать

open up - v вскрывать *(месторождение);* нарезать *(новую лаву, забой);* **opening** - *n* горная выработка; подготовительная выработка; вскрытие месторождения

panning - *n* промывка *(золотоносного песка в лотке)*

processing - *n* обработка; - **industry** обрабатывающая промышленность

prove - v разведывать *(характер месторождения или залегания);* доказывать; испытывать, пробовать; **proved** - *a* разведанный, достоверный; **proving** - *n* опробование, предварительная разведка

search - v исследовать; (for) искать *(месторождение); n* поиск; *syn* **prospecting**

sign - *n* знак, символ; признак, примета

store - v хранить, накапливать *(о запасах)*

work - v работать; вынимать, извлекать *(уголь, руду);* вырабатывать; **workable** - *a* подходящий для работы, пригодный для разработки, рабочий *(о пласте);* рентабельный; **working** - *n* разработка, горная выработка

adit - *n* горизонтальная подземная выработка, штольня

angle - *n* угол

approximate - *a* приблизительный

bit - *n* режущий инструмент; буровая коронка, коронка для алмазного бурения; головка бура, сверло; **carbide bit** армированная коронка, армированный бур; **diamond bit** - алмазная буровая коронка

borehole - *n* скважина, буровая скважина

crosscut - *n* квершлаг

dip - *n* падение *(залежи);* уклон, откос; v падать

enable - v давать возможность или право *(что-л. сделать)*

exploit - v разрабатывать *(месторождение);* эксплуатировать; **exploitation** - *n* разработка; эксплуатация

measure - *n* мера; мерка; критерий; степень; *pl* свита, пласты; v измерять

overburden - *n* покрывающие породы, перекрывающие породы; верхние отложения, наносы; вскрыша

pit - *n* шахта; карьер, разрез; шурф

reliable - *a* надежный; достоверный

rig - *n* буровой станок, буровая вышка; буровая каретка; буровое оборудование

sample - *n* образец; проба; v отбирать образцы; опробовать, испытывать

section - *n* участок, секция, отделение, отрезок, разрез, профиль, поперечное сечение; **geological** ~ геологический разрез *(пород)*

sequence - *n* последовательность; порядок следования; ряд

sink (sank, sunk) - v проходить *(шахтный ствол, вертикальную выработку);* углублять; погружать; опускать; **sinking** - *n* проходка *(вертикальных или наклонных выработок);* **shaft sinking** - проходка ствола

slope - *n* наклон; склон; бремсберг; уклон; v клониться, иметь наклон; **sloping** - *a* наклонный; **gently sloping** - с небольшим наклоном

steep - *a* крутой, крутопадающий, наклонный

strike - *n зд.* простирание; v простираться; **across the strike** - вкрест простирания; **along (on) the strike** по простиранию

trench - *n* траншея, канава; котлован; v копать, рыть, шурфовать

to make use (of) использовать, применять

to take into consideration принимать во внимание; *syn* **take into account**

General Information on Mining

access - *n* доступ

affect - v воздействовать *(на что-л.);* влиять; *syn* **influence**

barren - *a* непродуктивный; пустой *(о породе)*

chute - *n* скат, спуск; углеспускная выработка; жёлоб

compare - v (with) сравнивать, проводить параллель

contribute - v способствовать, содействовать; делать вклад *(в науку);* **make a (one's) ~ to smth.** сделать вклад во что-л.

cross-section - *n* поперечное сечение, поперечный разрез, профиль

develop - v разрабатывать *(месторождение);* развивать *(добычу);* производить подготовительные работы; **development** - *n* подготовительные работы; развитие добычи; развитие

drift - *n* штрек, горизонтальная выработка

ensure - v обеспечивать, гарантировать; *syn* **guarantee**

face - *n* забой; лава

floor - л почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

govern - v править, управлять; руководить; определять, обусловливать

inclination - *n* уклон, скат, наклон *(пластов);* наклонение; **seam** ~ падение *(пласта);* наклон *(пласта)*

incline - *n* уклон, бремсберг, скат; наклонный ствол; **gravity** ~ бремсберг

inclined - *a* наклонный; **flatly** ~ слабо наклонный; **gently ~** наклонного падения; **medium** ~ умеренно наклонный *(о пластах);* **steeply** ~ крутопадающий

level - *n* этаж, горизонт, горизонтальная горная выработка; штольня; уровень *(инструмент);* нивелир; ватерпас; горизонтальная поверхность

recover - v извлекать *(целики);* выбирать, очищать; добывать *(уголь и т.п.);* восстанавливать

remove - v удалять; убирать; устранять; перемещать; **removal** - *n* вскрыша; выемка; уборка *(породы);* извлечение *(крепи);* перемещение; **overburden** - удаление вскрыши

rib - *n* ребро; выступ; узкий целик, предохранительный целик; грудь забоя

roof - *n* крыша; кровля выработки; кровля пласта *(или* жилы); перекрытие; ~ **support** - крепление кровли

shaft - *n* шахтный ствол; **auxiliary** ~ вспомогательный ствол; **hoisting** ~ подъемный ствол; главный шахтный ствол

tabular - *a* пластовый (о *месторождении);* пластообразный; плоский; линзообразный; *syn* **bedded, layered**

waste - *n* пустая порода; отходы; *syn* **barren rock**

well - *n* буровая скважина; колодец, источник; водоем; зумф

capital investment - капитальные вложения

gate road - промежуточный штрек

in bulk - навалом, в виде крупных кусков

metal-bearing - содержащий металл

production face/working - очистной забой

productive mining - эксплуатационные работы

in view of - ввиду чего-л., принимая во внимание что-л.

with a view to - с целью

advantage - *n* преимущество; превосходство; выгода; польза; **advantageous** - *a* выгодный; благоприятный, полезный; **to take advantage of smth** воспользоваться чём-л.

caving - *n* обрушение *(кровли);* разработка с обрушением

deliver - v доставлять, подавать; питать; нагнетать; произносить *(речь);* читать *(лекцию)*

entry - *n* штрек; выработка горизонтальная; *pl* подготовительные выработки; нарезные выработки; штреки

giant - *n* гидромонитор

gravity - *n* сила тяжести; вес, тяжесть; **by ~** самотеком, под действием собственного веса

haul - v доставлять; откатывать; подкатывать; перевозить; **haulage** - *n* откатка; доставка; транспортировка *(по горизонтали)*

longwall - *n* лава; выемка лавами; сплошной забой, сплошная или столбовая система разработки; *syn* **continuous mining; ~ advancing on the strike** выемка лавами прямым ходом по простиранию; сплошная система разработки по простиранию; **~ advancing to the rise** сплошная система разработки с выемкой по восстанию; ~ to **the dip** сплошная система разработки с выемкой по падению; ~ **retreating** выемка лавами обратным ходом; столбовая система разработки лавами

lose (lost) - v терять; **loss** - *n* потеря, убыток

pillar - *n* целик; столб; **shaft** ~ околоствольный целик; ~ **method** столбовая система разработки; ~ **mining** выемка целиков

predominate - v преобладать, превалировать; превосходить; господствовать, доминировать

protect - v охранять, защищать

reach - v простираться, доходить до; добиваться, достигать

satisfy - v удовлетворятъ(ся)

shield - *n* щит; ~ **method** щитовой метод проходки, щитовой способ

room - *n* камера; очистная камера; **room-and-pillar method** камерно-столбовая система разработки

stowing - *n* закладка *(выработанного пространства)*

method of working система разработки

the sequence of working the seams - последовательность отработки пластов

goaf — завал; обрушенное пространство

double-ended drum bearer — комбайн с двойным барабаном

to identify — опознавать

appraisal — оценка

susceptibility — чувствительность

concealed — скрытый, не выходящий на поверхность

crusher — дробилка

concentration — обогащение

blending — смешивание; составление шихты

screen — сортировать (обыден. уголь); просеивать

froth floatation — пенная флотация

core drilling — колонковое бурение

to delineate — обрисовывать, описывать

lender — заимодавец

feasibility — возможность

in situ mining — повторная разработка месторождения в массиве

screening — просеивание; грохочение

processing — обработка, разделение минералов

Mining and Environment

break v **(broke**, **broken**) отбивать *(уголь или породу),* обрушивать кровлю; разбивать; ломать; л отбойка, обрушение; **break out** отбивать, производить выемку

(руды .или породы); расширять забой; **breakage** л разрыхление, дробление

drill - *n* бур; .перфоратор; бурильный молоток; сверло; v бурить; car ~ буровая тележка; **mounted** ~ перфоратор на колонке; колонковый бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение

dump -*n* отвал *(породы);* склад угля; опрокид; **external** ~ внешний отвал; **internal** ~ внутренний отвал; v сваливать (в *отвал);* разгружать; отваливать; опрокидывать *(вагонетку);*

dumper опрокид; самосвал; отвалообразователь; **dumping** л опрокидывание; опорожнение; опрокид; *syn* **tip**

environment - *n* окружение; окружающая обстановка/среда

explode - v взрывать, подрывать; **explosion** - *n* взрыв; **explosive** - *n* взрывчатое вещество; *a* взрывчатый

friable - *a* рыхлый; хрупкий; рассыпчатый; слабый (о *кровле)*

handle - v перегружать; доставлять; транспортировать; управлять машиной; *n* ручка; рукоять; скоба; **handling** - *n* подача; погрузка; перекидка, доставка; транспортировка; обращение с машиной

heap - v наваливать; нагребать; *n* породный отвал, терриконик; *syn* **spoil ~, waste ~**

hydraulicklng - *n* гидродобыча; гидромеханизированная разработка

load - v нагружать, грузить, наваливать; *n* груз; нагрузка; **loader** - *n* погрузочная машина, навалочная машина, перегружатель; грузчик; **cutter-loader** - комбайн, комбинированная горная машина

lorry - *n* грузовик; платформа; *syn* **truck**

mention - v упоминать

overcasting - *n* перелопачивание *(породы)*

pump - *n* насос; **gravel** ~ песковый насос; **sludge** ~ шламовый насос; v качать; накачивать; откачивать

reclamation - *n* восстановление; осушение; извлечение крепи; ~ **of land** восстановление участка *(после открытых работ)*

sidecastiag - *n* внешнее отвалообразование

site - *n* участок, место; **building** ~ строительная площадка

slice - *n* слой; **slicing** - *n* выемка слоями, разработка слоями

strip - v производить вскрышные работы; разрабатывать; очищать *(лаву);* вынимать породу или руду; *n* полоса; **stripper** - *n* забойщик; вскрышной экскаватор; **stripping** - *n* открытая разработка, открытые горные работы; вскрыша; вскрытие наносов

unit - *n* агрегат; установка; устройство; прибор; узел; секция; деталь; машина; механизм; единица измерения; участок

washery - *n* углемойка; рудомойка; моечный цех

to attract smb's attention привлекать чье-л. внимание

backhoe - *n* обратная лопата

blast - *n* взрыв; v взрывать; дуть; продувать; **blasting** - *n* взрывание; взрывные работы; взрывная отбойка

block out - v нарезать залежь на блоки; нарезать столбы

clearing - *n* выравнивание почвы; планировка грунта

crash - v дробить; разрушать; обрушать(ся)

earth-mover - *n* землеройное оборудование; *syn* **excavator**

excavator - *n* экскаватор; **bucket-wheel** - роторный экскаватор; **multi-bucket ~** многочерпаковый экскаватор; **single-bucket** - одночерпаковый экскаватор

grab - *n* грейфер, ковш, черпак; экскаватор; v захватывать;

grabbing - погрузка грейфером; захватывание

hoist - *n* подъемное установка (машина); подъемник; лебедка; v поднимать; **hoisting** шахтный подъем

plough - *n* струг

power shovel - *n* механическая лопата; экскаватор типа механической лопаты

range - *n* колебание в определенных пределах

rate - *n* норма; скорость, темп; коэффициент; степень; разрез; сорт; мощность; расход *(воды)*

remote - *a* отдаленный; ~ **control** дистанционное управление

result - v (in) приводить (к); иметь своим результатом; (from) следовать (из), происходить в результате

safety - *n* безопасность; техника безопасности

slope - *n* забой, сплошной забой, очистной забой; v очищать забой, вынимать породу, уголь; *syn* **face; sloping** очистные работы; очистная выемка; **open sloping** выемка с открытым забоем; **shrinkage sloping** выемка системой с магазинированием *(руды)*

support - v крепить; поддерживать; подпирать; *n* стойка; опора; поддержание; крепление; *syn* **timbering; powered roof** - механизированная крепь; **self-advancing powered roof** - передвижная механизированная крепь

1.4 Самостоятельное изучение тем курса (для заочной формы обучения)

Самостоятельное изучение тем курса предполагает изучение тем практических занятий, представленных в разделе 1, 2, 3 данных методических указаний студентами заочной формы обучения в межсессионный период.

1.5 Подготовка к контрольной работе и 1.6 Написание контрольной работы

Для выполнения контрольной работы студентами кафедрой подготовлены *Методические рекомендации и задания к контрольной работе для студентов данной специальности.*

II. Другие виды самостоятельной работы

2.1 Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания (Подготовка к ролевой игре, к практико-ориентированным заданиям, опросу)

2.1.1 Подготовка к ролевой игре

Студенты получают ролевые карточки. Им необходимо обдумать свою роль, стратегию своей роли, вопросы и ответы.

Role card 1

Sasha

The worst thing about your house is lack of privacy. You share your room with a younger sister. You think she goes through all your stuff. She asks you ambarrassing questions about boys, makes little nasty comments about you.

Your parents treat you like a baby. Your father is too much interested in your studying and homework. Your mother makes you do the work about the house alone. You are going to leave home as soon as you are old enough.

- Collect all the arguments to explain your attitude to your family.
- Listen to what the members of your family are saying.
- Don't interrupt them.
- Don't forget that both parents and children are to blame in conflict situations.
- Be polite and friendly

Role card 2

Mother

Your daughter has written a letter of complaint to the youth magazine. She is not satisfied with your attitude to her. You have read this letter. You are worried about the situation in the family and have decided to discuss the problems with a family therapist.

- Say why you have invited the therapist
- Try to explain Sasha's attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don't criticize Sasha

- Follow the therapist's advice
- Be polite and friendly

Role card 3

Father

Your daughter is complaining that you treat her like a baby. You don't let her out at night during the week. You always ask her about the boys. You don't believe her when she says she doesn't have any homework to do. Your wife has invited a family therapist to discuss the problems of your family.

- Say what your attitude to the problem is
- Try to explain Sasha's attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don't criticize Sasha
- Follow the therapist's advice
- Be polite and friendly

Role card 4

Sister

Sasha is complaining that you don't help her with the work about the house. She also says that she can't keep anything secret in her room, you go through all her stuff. She is irritated by your behaviour. She is going to leave your home as soon as she is old enough.

- Say what your attitude to the problem is
- Try to explain Sasha's attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don't criticize Sasha
- Follow the therapist's advice
- Be polite and friendly

Role card 5

Family therapist

- Encourage all the members of the family to speak
- Take notes
- Ask questions
- Summarize what you have heard from all the members of the family
- Try to analyse the situation in a short report

2.1.2 Подготовка к практико-ориентированному заданию

Подготовьте устные высказывания по темам:

1. From the history of the Ural State Mining University.
2. Faculties and specialities of the University.
3. The layout of the Ural State Mining University.
4. Student's academic work.

Подготовьте письменные ответы на вопросы:

1. Where do you study?
2. What faculty do you study at?
3. How many faculties are there at the Ural State Mining University?
4. What year are you in?
5. What is your future speciality?
6. What specialities are there at your faculty?
7. When did you enter the University?

8. When was the Sverdlovsk Mining Institute founded?
9. When was it reorganized into the University?
10. In how many buildings is the Ural State Mining University housed?
11. In what building is your faculty housed?
12. Who is the dean of your faculty?
13. What books do you take from the library?
14. Where do you live?
15. Where do you usually have your meals?
16. How long does the course of studies for a bachelor's degree last?
17. How long do the students study for a Diplomate Engineer's course and a Magister's degree?
18. What subjects do you study this term?
19. What lectures and practical classes do you like to attend?
20. Where do the students have their practical work?
21. When do the students present their graduation papers for approval?
22. What graduates can enter the post-graduate courses?
23. What kind of sport do yon like?
24. Where do you go in for sports?

2.1.3 Подготовка к опросу

Ответьте на вопросы на иностранном языке:

1. What specialities does the geological faculty train geologic engineers in?
2. What problems does Geology study?
3. What branches is Geology divided into?
4. What does Economic Geology deal with?
5. What does mineralogy investigate?
6. What does paleontology deal with?
7. What is the practical importance of Geology?
8. Where do graduates of the geological faculty of the Mining University work?
9. What is your future speciality?
10. What kind of work do geologists-prospectors conduct?
11. What do geologists explore during the early stages of geological exploration?
12. What work do geologists conduct while working in. the field?
13. When do geologists start exploratory work?
14. What is the purpose of the exploratory work?
15. How is exploratory work conducted?
16. What contribution do geologists make to the development of the National Economy of our country?
17. What does hydrogeology deal with?
18. Where are ground waters used?
19. Where is thermal (hot) water used?
20. What must hydrogeologists do with ground waters which complicate construction work or mineral extraction?

2.2 Дополнительное чтение профессионально ориентированных текстов и выполнение заданий на проверку понимания прочитанного (по 2 текста на тему)

Text 1: A.M. Terpigorev (1873-1959)

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

to defend graduation paper (thesis) - защищать дипломную работу (диссертацию)

to pass an entrance examination - сдать вступительный экзамен

to get a higher education - получить высшее образование

to do one's best (one's utmost, all one can, everything in one's power) - сделать все возможное, не жалеть сил

to make contribution (to) - вносить вклад в *(науку, технику* и т.д.)

choose (chose, **chosen**) - v выбирать; **choice -** *n* выбор

collect - v собирать, коллекционировать

dangerous - *a* опасный

deposit - *n* месторождение, залежь; **bedded deposits -** пластовые месторождения

describe - v описывать, изображать; **description** - *n* описание; **descriptive** - *a* описательный

facility - *n (pl* **facilities)** средства; возможности; оборудование; устройства

fire damp - *n* рудничный газ, метан

harm - *n* вред; *v* вредить; **harmful -** *a* вредный

relate - v относиться, иметь отношение

safety - *n* безопасность; **mine safety** безопасность труда при горных работах; техника безопасности; **safety measures** меры безопасности; **safe -** *a* безопасный; надежный

seam - *n* пласт *(угля); syn* **bed, layer; flat seam** горизонтальный, пологопадающий пласт; **inclined seam** наклонный пласт; **steep seam** крутопадающий пласт; **thick seam** мощный пласт; **thin seam** тонкий пласт

state - *n* состояние; государство; штат; *a* государственный; v заявлять; констатировать; излагать

success - *v* успех; удача; **be a success** иметь успех; **successful** *a* успешный

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

Academician A.M. Terpigorev is a well-known mining engineer who successfully combined his practical experience with scientific research. He was bom in 1873 in Tambov. In 1892 he finished school with honours1 and decided to get a higher education. He chose the Mining Institute in St. Petersburg, passed all the entrance examinations successfully and became a student of the Mining Institute.

At the Institute he studied the full range of subjects2 relating to metallurgy, mining and mining mechanics.

At that time students' specialization was based on descriptive courses and elementary practical training. One of the best lecturers was A. P. Karpinsky. His lectures on historical geology were very popular.

During his practical training Terpigorev visited mines and saw that the miners' work was very difficult. While he was working in the Donbas he collected material for his graduation paper which he soon defended. The Mining of flat seams in the Donbas was carefully studied and described in it.

In 1897 Terpigorev graduated from the Institute with a first-class diploma of a mining engineer.

His first job as a mining engineer was at the Sulin mines where he worked for more than three years first as Assistant Manager and later as Manager.

From 1900 till 1922 Terpigorev worked at the Yekaterinoslav Mining Institute (now the Mining Institute in Dnepropetrovsk).

In 1922 he accepted an offer to take charge of the mining chair at the Moscow Mining Academy and moved to Moscow. From 1930 he headed the chairs5 of Mining Transport and Mining of Bedded Deposits at the Moscow Mining Institute.

Academician Terpigorev took a particular interest in mine safety. As a result of his investigations a series of safety measures in gassy collieries was worked out. For some time he was working on the problem of fire damp, the most harmful and dangerous of all the gases in mines.

His two-volume work Coal Mining and Mine Transport Facilities is a full description of the state of mechanization and the economy of the Donbas. His other works are about mining transport facilities, mechanization of coal mining and mining machinery. He is one of the pioneers in scientific methods of coal gasification.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. After school Terpigorev decided to work in a mine.
2. Terpigorev collected material for his graduation paper which dealt with mining thick seams in the Donbas.
3. For more than three years Terpigorev worked at the Sulin mines.
4. In 1922 Terpigorev accepted an offer to take charge of the mining chair at the Moscow Mining Institute.
5. He investigated the problems of mine safety.
6. He was one of the first to work on the problem of gasification of coal.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. When and where was Terpigorev born?
2. What institute did he graduate from?
3. What material did he collect while he was working in the Donbas?
4. Where did Terpigorev work from 1900 till 1922?
5. At what institute did Terpigorev head the chair of Mining Bedded Deposits?
6. What did Terpigorev take a particular interest in?
7. What works by Terpigorev do you know?
8. What problems do Terpigorev's works deal with?
9. What was the result of his investigations on mine safety?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) охрана труда в шахтах
б) подтверждать
в) добыча угля
г) эксплуатация месторождений
д) метан
е) принять предложение
ж) выполнить задачу, задание
з) горизонтальный пласт
и) собирать материал

1. поступить в институт
2. решать важные проблемы
3. выдающиеся исследователи
4. успешно провести эксперименты
5. выбрать профессию
6. описательный курс
7. происхождение железной руды
8. начальник шахты
9. мероприятия по охране труда

Text 2: A.P. Karpinsky (1847-1936)

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

abroad - *adv* за рубежом
confirm - v подтверждать; утверждать
consider - v считать, полагать, рассматривать
contribute - v вносить вклад; **contribution** вклад
crust - *n* земная кора
detailed - a подробный, детальный
elect - v избирать, выбирать *(голосованием);* назначать *(на должность)*
embrace - v охватывать; обнимать
entire - *a* весь, целый; полный; *syn* **whole**
exist – *v* существовать, быть, жить
foreign - *a* иностранный
former - *a* прежний

investigate - v исследовать; изучать

prominent - *a* знаменитый, выдающийся, известный; *syn* **remarkable, outstanding**

regularity - *n* закономерность

significant - *a* значительный; **significance -** *n* значение, важность; **exhaust the significance** исчерпывать значение

society – *n* общество

staff - *n* персонал; личный состав; штат

various - *a* различный, разный, разнообразный

to advance the view - высказывать мнение *(точку зрения)*

to be interested in - быть заинтересованным *(чём-л.),* интересоваться

to take (an) interest in - заинтересоваться *(чём-л.)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

V.A. Obruchev, I.M. Gubkin, A.Y. Fersman, V.I. Vernadsky and A. P. Karpinsky were the prominent Russian scientists who laid the foundation1 of the Russian school of geology and mining.

An entire epoch in the history of Russian geology is connected with Karpinsky's name. One of the greatest Russian geologists, he was a member and for some time President of the Academy of Sciences of the former USSR and a member of several Academies abroad. The Geological Society of London elected him a foreign member in 1901. His greatest contribution to geology was a new detailed geological map of the European part of Russia and the Urals.

For many years he headed the Russian Geological Committee the staff of which was made up of his pupils. He was one of those geologists who embraced the whole of geological science. He created the new stratigraphy of Russia. He studied the geological systems in various regions of the country and was the first to establish3 the regularity of the Earth's crust movement. His paleontological studies are of no less importance, especially those on palaeozoic ammonoids. He also took an interest in deposits of useful minerals and gave a classification of volcanic rocks. He advanced the view that petroleum deposits existed in Russian, which was confirmed later. He studied some ore and platinum deposits and may be justly considered5 the founder of practical geology of the Urals. He was the first Russian scientist who introduced microscope in the study of petrographic slides.

Karpinsky was a prominent scientist, an excellent man and citizen. He was one of the best lecturers at the Mining Institute in his time. He was also one of the greatest Russian scientists who later became the first elected President of the Academy of Sciences of the USSR. Students were attracted to him not only because he was a great scientist but also because of his charming personality and gentle manner.

Every geologist and every geology student knows very well Karpinsky's most significant work An Outline of the Physical and Geographical Conditions in European Russia in Past Geological Periods.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Karpinsky was the first President of the Academy of Sciences.
2. He worked at the Mining Institute in St.Petersburg.
3. Karpinsky was a member of many Academies abroad.
4. Karpinsky made up a detailed map of the Asian part of our country.
5. He headed the Russian Geological Committee.
6. Karpinsky created a new branch of geology, namely stratigraphy.
7. He only tried to establish the regularity of the Earth's crust movement.
8. Karpinsky may be justly considered the founder of the practical geology of the Urals.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What society elected Karpinsky a foreign member and when?
2. Did he head the Russian Geological Committee or was he a member of that Committee?

3. Did Karpinsky investigate various regions of the Russian territory?
4. Which of his works are the most remarkable?
5. What can you say about Karpinsky's investigations in petrology?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) земная кора
б) составить подробную карту
в) замечательные работы
г) выдающийся ученый
д) залежи полезных ископаемых
е) научное общество
ж) избирать председателя (президента)
з) заложить основы школы
и) интересоваться геологией
к) высказать точку зрения
л) возглавлять комитет

Text 3: Sedimentary Rocks

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

cause - v заставлять; вызывать; влиять; причинять; *n* причина, основание; дело; общее дело; *syn* **reason**
clay - *n* глина; глинозем
consolidate - v твердеть, затвердевать, уплотнять(ся); укреплять; *syn* **solidify**
crust - *n* кора; *геол.* земная кора
decay - v гнить, разлагаться; *n* выветривание *(пород);* распад, разложение
derive - v (from) происходить, вести свое происхождение *(от);* наследовать
destroy - v разрушать; уничтожать; **destructive** *a* разрушительный
dissolve v растворять
expose - v выходить *(на поверхность);* обнажаться; **exposure** - *n* обнажение
external - *a* внешний
extrusive - *a* эффузивный, излившийся *(о горной породе)*
force - v заставлять, принуждать; ускорять движение; *n* сила; усилие
glacier - *n* ледник, глетчер
grain - *n* зерно; **angular grains** - угловатые зерна *(минералов);* **grained** - *a* зернистый
gravel - *n* гравий, крупный песок
internal - *a* внутренний
intrusive - *a* интрузивный, плутонический
iron - *n* железо
layer - *n* пласт
like - *a* похожий, подобный; *syn* **similar;** *ant* **unlike;** *adv* подобно
lime - *n* известь; **limestone** - *n* известняк
loose - *a* несвязанный, свободный; рыхлый
make up - v составлять; *n* состав *(вещества)*
particle - *n* частица; включение
peat - *n* торф; торфяник
represent - v представлять собою; означать; быть представителем; **representative** - представитель; **representative** - *a* характерный, типичный
rock – *n* горная порода; **igneous** - изверженная порода; **sedimentary** - осадочная порода
sand - *n* песок
sandstone - *n* песчаник; **fine-grained (medium-grained, coarse-grained)** - мелкозернистый (среднезернистый, грубозернистый) песчаник
sediment - *n* отложение; осадочная порода; **sedimentary** - *a* осадочный; **sedimentation** - *n* образование осадочных пород

schist - *n (кристаллический)* сланец; **schistose** - *a* сланцеватый, слоистый
shale - *n* сланец, сланцевая глина, глинистый сланец; **clay** - глинистый сланец; **combustible …, oil …** - горючий сланец
siltstone - *n* алеврит
stratification - *n* напластование, залегание
stratify - v напластовываться; отлагаться пластами; **stratified** *a* пластовый; *syn* **layered, bedded**
substance - *n* вещество, материал; сущность
thickness - *n* толщина, мощность
value - *n* ценность; важность; величина; значение; **valuable** - *a* ценный *(о руде)*
vary - v изменять(ся); отличать(ся); *syn* **differ, change (from); variable** - *a* переменный; непостоянный; **various** *a* различный; *syn* **different**

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The rocks of the Earth's crust are divided into three main groups: sedimentary rocks, which consist of fragments or particles of pre-existing rocks; igneous rocks which have solidified from magma and metamorphic rocks. Metamorphic rocks have been derived from either igneous or sedimentary rocks.

Sedimentary rocks represent one of the three major groups of rocks that make up the crust of the Earth. Most sedimentary rocks have originated by sedimentation. They are layered or stratified. Thus, stratification is the most important characteristic of sediments and sedimentary rocks. It is necessary to note that the processes which lead to the formation of sedimentary rocks are going on around us.

Sediments are formed at or very near the surface of the Earth by the action of heat, water (rivers, glaciers, seas and lakes) and organisms.

It should be noted that 95 per cent of the Earth's crust is made up of igneous rocks and that only 5 per cent is sedimentary. In contrast, the amount of sedimentary rocks on the Earth's surface is three times that of igneous rocks.

Strictly speaking, sedimentary rocks form a very small proportion by volume of the rocks of the Earth's crust. On the contrary, about three quarters of the Earth's surface is occupied by sedimentary rocks. It means that most of sedimentary rocks are formed by sediments, accumulations of solid material on the Earth's surface.

The thickness of the layers of sedimentary rocks can vary greatly from place to place. They can be formed by the mechanical action of water, wind, frost and organic decay. Such sediments as gravel, sand and clay can be transformed into conglomerates, sandstones and clay schists as a result of the accumulation of materials achieved by the destructive mechanical action of water and wind.

Mechanical sediments can be unconsolidated and consolidated. For example, gravel, sand and clay form the group of unconsolidated mechanical sediments, because they consist of loose uncemented particles (grains).

On the Earth's surface we also find consolidated rocks, which are very similar to the loose sediments whose particles are firmly cemented to one another by some substance. The usual cementing substances are sand, clay, calcium carbonate and others. Thus sandstones are consolidated rocks composed of round or angular sand grains, more or less firmly consolidated. Like sand, sandstones can be divided into fine-grained, medium-grained and coarse-grained.

On the other hand, chemical sediments are the result of deposits or accumulations of substances achieved by the destructive chemical action of water. The minerals such as rock salt, gypsum and others are formed through sedimentation of mineral substances that are dissolved in water.

Sediments can also be formed by the decay of the remains of organisms, by the accumulation of plant relics.1 They are called organic sediments. Limestones, peat, coal, mineral oil and other sediments may serve as an example of organic sediments.

The most principal kinds of sedimentary rocks are conglomerate, sandstone, siltstone, shale, limestone and dolomite. Many other kinds with large practical value include common salt, gypsum, phosphate, iron oxide and coal.

As is known, water, wind and organisms are called external forces, because their action depends on the energy which our planet receives from the Sun.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The rocks of the Earth's crust are divided into two main groups.
2. Igneous rocks are composed of particles of pre-existing rocks.
3. Sedimentary rocks are stratified.
4. Sediments are formed by the action of glaciers.
5. Igneous rocks make up 75 per cent of exposed rocks.
6. Conglomerates are formed as a result of the accumulation of materials caused by the destructive mechanical action of water.
7. Sandstones are consolidated rocks.
8. Clays are unconsolidated mechanical sediments.
9. Chemical sediments are formed by the destructive chemical action of water.
10. Peat and coal are the organic sediments which are of great practical value.
11. Clay schist was formed at the beginning of the sedimentation period and clay was formed later.

2). Ответьте на вопросы:

1. What main groups of rocks do you know?
2. Do sedimentary rocks consist of particles of pre-existing rocks?
3. How were igneous rocks formed?
4. Do you know how sedimentary rocks have originated?
5. What is the most important characteristic feature of sediments?
6. Do sedimentary rocks account for 10 per cent of the Earth's crust?
7. Is gravel consolidated mechanical sediment? And what about sand and clay?
8. What are cementing substances? Can calcium carbonate be used as a cementing substance?
9. Are there only fine-grained sandstones?
10. What can you say about chemical sediments?
11. Can you give an example of organic sediments? How are they formed?

3) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов.

1.	земная кора	а) sandstone
2.	растворяться в воде	б) fine-grained sand
3.	песчаник	в) the Earth's crust
4.	уплотненные осадки	г) exposed rocks
5.	изверженные породы	д) to dissolve in water
6.	мелкозернистый песок	е) like gypsum
7.	затвердевать	ж) consolidated sediments
8.	подобно гипсу	з) igneous rocks
9.	обнаженные породы	и) to solidify, to consolidate

б) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих сочетаний слов.

1.	coarse-grained sand	а) разрушительная сила воды
2.	siltstone and shale	б) пластовые месторождения
3.	the destructive action of water	в) доледниковый период

4.	existing rocks	г) крупнозернистый (грубо- зернистый) песок
5.	chemical decay	д) частицы вещества
6.	sedimentary rocks	е) алеврит и сланец
7.	stratified deposits	ж) существующие породы
8.	pre-glacial period	з) осадочные породы
9.	particles of a substance	и) химический распад

Text 4: Weathering of Rocks

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

contain - v содержать *(в себе),* вмещать
crack - *n* трещина; щель; v давать трещину; трескаться, раскалываться
contract - v сжиматься; сокращаться
dust - *n* пыль
expand - v расширяться); увеличивать(ся) в объеме; **expansion** *n* расширение; *ant* **contract**
fissure - *n* трещина *(в породе, угле);* расщелина; щель
fracture - *n* трещина; излом; разрыв; v ломать(ся); раздроблять *(породу)*
freeze - *v* замерзать; замораживать; застывать
gradual - *a* постепенный; **gradually** *adv* постепенно
hard - *a* твердый, жесткий; *ant* **soft;** тяжелый (о *работе); adv* сильно, упорно; **hardly** *adv* едва, с трудом
hole - *n* отверстие; скважина; шпур; шурф
influence - *n* влияние; v **(on, upon)** влиять (не *что-л.)*
lateral - *a* боковой
occur - *v* залегать; случаться; происходить; *syn* **take place, happen; occurrence** - *n* залегание; **mode of occurrence** - условия залегания
penetrate - *v* проникать *(внутрь),* проходить через *(что-л.)*
phenomenon - *n* явление; *pi* **phenomena**
pressure - *n* давление; **lateral pressure** боковое *(горизонтальное)* давление; **rock pressure** горное давление, давление породы
rate - *n* степень, темп; скорость, норма; производительность; сорт; *syn* **speed, velocity**
refer - v (to) ссылаться *(на что-л.);* относиться *(к периоду, классу)*
resist - *v* сопротивляться; противостоять; противодействовать; **resistance** - *n* сопротивление; **resistant** - *a* стойкий; прочный; сопротивляющийся
size - *n* размер; величина; класс *(угля)*
solution – *n* раствор; **soluble** - *a* растворимый; **solvent** - растворитель; *a* растворяющий
succession – *n* последовательность, непрерывный ряд; **in succession** последовательно
undergo (underwent, undergone) - *v* испытывать *(что-л.),* подвергаться *(чему-л.)*
uniform – *a* однородный; одинаковый
weathering - *n* выветривание; эрозия *(воздействию, влиянию и т.д.)*
to be subjected to подвергаться

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

All rocks which are exposed on the Earth's surface (high mountain peaks, deserts) are decomposed to a certain degree. The process of rock disintegration by the direct influence of local atmospheric conditions on the Earth's surface is called weathering. This phenomenon is often referred to in geology because weathering is an active process. It takes place in the upper layers of the Earth's crust.

The main cause of physical weathering is the change in temperature that takes place with the succession of day and night. This phenomenon can best be observed in the deserts and high mountains where the changes in temperature are common.

During the day under the influence of heat, rocks expand whereas at night they begin to contract. As rocks are generally composed of different minerals, their expansion and contraction do not occur uniformly. As a result of this rocks crack. At the beginning these cracks or fissures are hardly noticeable but gradually they become wider and deeper until the whole surface of rock is finally transformed into gravel, sand or dust.

In the regions of a moderate or cold climate, where the temperature in winter goes down to below 0 (zero), the decomposition of rocks is greatly facilitated by the action of water. When water freezes it increases in volume and develops enormous lateral pressure. Under the action of water, rocks decompose to pieces of varied forms and sizes.

The decomposition of rocks under the direct influence of heat and cold is called physical weathering.

Rocks are subjected not only to physical decomposition but also to chemical weathering, i.e. to the action of chemical agents, such as water, carbon dioxide and oxygen. In a general way, chemical weathering is an acid attack on the rocks of the Earth's crust, in particular an attack on the most abundant minerals — quartz (sand) and aluminosilicates (clays). Only few minerals and rocks are resistant to the action of natural waters. The solvent action of water is stronger when it contains carbon dioxide. Water causes more complex and varied changes. With the participation of oxygen and carbon dioxide up to 90 per cent of rocks is transformed into soluble minerals, which are carried away by the waters.

Organisms and plants also take part in the disintegration of rocks. Certain marine organisms accelerate the destruction of rocks by making holes in them to live in. The action of plants can often be even more destructive. Their roots penetrate into the fissures of rocks and develop the lateral pressure which fractures and destroys rocks.

1. Укажите, какие предложены соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The process of sedimentation is called weathering.
2. The change in temperature causes physical weathering.
3. As a rule during the night rocks expand.
4. When freezing water decreases in volume and develops enormous lateral pressure.
5. The decomposition of rocks is due to the influence of heat and cold.
6. As a rule water contains dissolved mineral substances.
7. The solvent action of water is stronger when it does not contain carbon dioxide.
8. It should be noticed that the action of organisms and plants is destructive.
9. Certain marine organisms accelerate the destruction of rocks.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What process is called weathering?
2. What process is called physical weathering?
3. Where can the phenomenon of physical weathering be best observed?
4. What process is called chemical weathering?
5. What substances can act as solvents?
6. Are all minerals and rocks resistant to the action of natural waters or only few minerals and rocks can resist the action of water?
7. How do organisms act on the destruction of rocks?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. the Earth's surface
2. to be composed of different minerals
3. the expansion of rocks
4. changes in temperature

5. under the influence of heat
6. weathering
7. destructive forces
8. a great number of fractures
9. to penetrate into fissures

а) под влиянием тепла
б) разрушительные силы
в) выветривание
г) большое количество трещин
д) состоять из различных минералов
е) расширение пород
ж) проникать в трещины
з) изменения температуры
и) поверхность земли

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. увеличиваться в объеме
2. развивать боковое давление
3. способствовать разрушению пород
4. подвергаться гниению
5. растворять вещества
6. сопротивляться (чему-л.)
7. некоторые органические вещества
8. ускорять процесс выветривания
9. куски породы различных размеров

а) to facilitate the decomposition of rocks
б) to increase in volume
в) to resist (smth)
г) rock pieces of varied (different) sizes
д) to accelerate the process of weathering
е) to be subjected to decay
ж) to dissolve substances
з) to develop lateral pressure
и) certain organic substances

Text 5: Fossil Fuels

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

accumulate - v накапливать; скопляться
ancient - *a* древний, старинный; *ant* **modern**
associate - v связывать, соединять, ассоциироваться; *syn* **connect, link**
burn (burnt) - v сжигать; гореть; жечь
charcoal - *n* древесный уголь
convenient - *a* удобный, подходящий
crude - *a* сырой, неочищенный
dig (dug) - v добывать; копать; **digger** - n угольный экскаватор; землеройная машина
divide - v делить; (from) отделять; разделять
evidence - *n* доказательство; очевидность; признак(и)
fossil - *a* окаменелый, ископаемый; *n* ископаемое *(органического происхождения);* окаменелость
heat - v нагревать; *n* теплота
liquid - *a* жидкий; n жидкость; *ant* **solid**

manufacture - *v* изготовлять, производить; *syn* **produce**
mudstone - *n* аргиллит
purpose - *n* цель; намерение; *syn* **aim, goal**
shale - *n* глинистый сланец
the former … the latter - первый *(из вышеупомянутых)* последний *(из двух названных)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The chief sources of energy available to man today are oil, natural gas, coal, water power and atomic energy. Coal, gas and oil represent energy that has been concentrated by the decay of organic materials (plants and animals) accumulated in the geologic past. These fuels-are often referred to as fossil fuels.

The word fossil (derived from the Latin fodere "to dig up") originally referred to anything that was dug from the ground, particularly a mineral. Today the term fossil generally means any direct evidence of past life, for example, the footprints of ancient animals. Fossils are usually found in sedimentary rocks, although sometimes they may be found in igneous and metamorphic rocks as well. They are most abundant in mudstone, shale and limestone, but fossils are also found in sandstone, dolomite and conglomerate.

Most fuels are carbon-containing substances that are burned in air. In burning fuels give off heat which is used for different purposes.

Fuels may be solid, liquid and gaseous. Solid fuels may be divided into two main groups, natural and manufactured. The former category includes coal, wood, peat and other plant products. The latter category includes coke and charcoal obtained by heating coal in the absence of air.

Liquid fuels are derived almost from petroleum. In general, natural petroleum, or crude oil, as it is widely known, is the basis of practically all industrial fuels. Petroleum is a mixture of hundreds of different hydrocarbons — compounds composed of hydrogen and carbon — together with the small amount of other elements such as sulphur, oxygen and nitrogen. Petroleum is usually associated with water and natural gas. It is found in porous sedimentary rocks where the geological formation allowed the oil to collect from a wide area. Petroleum is one of the most efficient fuels and raw materials.

Of gaseous fuels the most important are those derived from natural gas, chiefly methane or petroleum. Using gaseous fuels makes it possible to obtain high thermal efficiency, ease of distribution and control. Gas is the most economical and convenient type of fuels. Today gas is widely utilized in the home and as a raw material for producing synthetics.

Scientists consider that a most promising source of natural resources may be the floor of the sea, a subject which now has become an important field of research.

Generally speaking, all types of fossil fuels described in the text are of great economic importance as they represent the sources of energy the man uses today.

1. Укажете, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Coal, water power and atomic energy are the only sources of energy available to man today.
2. Coal, wood and peat represent natural group of solid fuels.
3. As a rule fossil fuels are found in sedimentary rocks.
4. Crude oil is widely used for producing solid fuels.
5. Petroleum can be found in porous sedimentary rocks.
6. Gas is used to produce synthetic materials.
7. Not all types of fossil fuels burn.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What fuels are often referred to as fossil fuels?
2. What does the word fossil mean?
3. What rocks are most abundant hi fossil fuels?

4. What types of fossil fuels do you know?
5. Is coke a natural or manufactured solid fuel? And what can you say about coal and peat?
6. How are coke and charcoal produced?
7. What rocks is petroleum usually associated with?
8. What are the advantages of gaseous fuels?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов сочетаний слов.

1.	fossil fuel	а) дерево и торф
2.	raw material	б) небольшое количество аргиллита
3.	crude oil	в) органическое топливо
4.	the chief sources of energy	г) сланец и известняк
5.	to refer to	д) сырье
6.	any direct or indirect evidence of the deposit	е) материалы, содержащие углерод
7.	shale and limestone	ж) главные источники энергии
8.	carbon-containing materials	з) любые прямые или косвенные признаки месторождения
9.	wood and peat	и) сырая (неочищенная) нефть
10.	the small amount of mudstone	к) относиться к (чему-л.); ссылаться на (что-л.)

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов.

1.	древесный уголь и кокс	а) to collect data
2.	жидкое топливо	б) charcoal and coke
3.	накапливать	в) to be composed of limestones
4.	собирать данные	г) liquid fuel
5.	происходить от	д) to accumulate
6.	получать хорошие результаты	е) to derive from
7.	богатый горючими сланцами	ж) to obtain good results
8.	состоять из известняков	з) abundant in oil shales

Text 6: Coal and Its Classification

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

bench - *n* слой, пачка *(пласта)*
blend - v смешивать(ся); вклинивать(ся)
combustion - *n* горение, сгорание; **spontaneous combustion** самовоспламенение, самовозгорание
continuity - *n* непрерывность, неразрывность
domestic - *a* внутренний; отечественный
estimate - v оценивать; *n* оценка; смета
fault - *n* разлом, сдвиг *(породы);* сброс; **faulting** *n* образование разрывов или сбросов
fold - *n* изгиб, складка, флексура; **foulding** - *n* складчатость, смешение *(пласта)* без разрыва
inflame - v воспламеняться; загорать(ся); **inflammable** - *a* воспламеняющийся, горючий, огнеопасный; **flame** - *n* пламя
intermediate - *a* промежуточный; вспомогательный
liable - *a* (to) подверженный; подлежащий *(чему-л.)*
luster - *n* блеск *(угля, металла);* **lustrous** - *a* блестящий
matter - *n* вещество; материя
moisture - *n* влажность, сырость; влага
parting - *n* прослоек
plane - *n* плоскость; **bedding plane** плоскость напластования
rank - *n* класс, тип; **coal rank** группа угля, тип угля
regular - *a* правильный; непрерывный; *ant* **irregular** неправильный; неравномерный; **regularity** *n* непрерывность; правильность

similar - *a* похожий, сходный; подобный; *syn* **alike, the same as**
smelt - v плавить *(руду);* выплавлять *(металл)*
store - v запасать, хранить на складе; вмещать
strata - *n pl от* **stratum** пласты породы; свита *(пластов);* формация, напластования породы; *syn* **measures**
thickness - *n* мощность *(пласта, жилы)*
uniform - *a* однородный; равномерный; **uniformity** *n* однородность; единообразие
utilize - v использовать; *syn* **use, apply, employ**
volatile - *a* летучий, быстро испаряющийся

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

Coal is the product of vegetable matter that has been formed by the action of decay, weathering, the effects of pressure, temperature and time millions of years ago.

Although coal is not a true mineral, its formation processes are similar to those of sedimentary rocks.

Structurally coal beds are geological strata characterized by the same irregularities in thickness, uniformity and continuity as other strata of sedimentary origin. Coal beds may consist of essentially uniform continuous strata or like other sedimentary deposits may be made up of different bands or benches of varying thickness.

You can see a seam limited by two more or less parallel planes, a shape which is typical of sedimentary rocks. The benches may be separated by thin layers, of clay, shale, pyrite or other mineral matter, commonly called partings. Like other sedimentary rocks coal beds may be structurally disturbed by folding and faulting.

According to the amount of carbon coals are classified into: brown coals, bituminous coals and anthracite. Brown coals are in their turn subdivided into lignite and common brown coal. Although carbon is the most important element in coal, as many as 72 elements have been found in some coal deposits, including lithium, chromium, cobalt, copper, nickel, tungsten and others.

Lignite is intermediate in properties between peat and bituminous coal, containing when dry about 60 to 75 per cent of carbon and a variable proportion of ash. Lignite is a low-rank brown-to-black coal containing 30 to 40 per cent of moisture. Developing heat it gives from 2,500 to 4,500 calories. It is easily inflammable but burns with a smoky flame. Lignite is liable to spontaneous combustion. It has been estimated that about 50 per cent of the world's total coal reserves are lignitic.

Brown coal is harder than lignite, containing from 60 to 65 per cent of carbon and developing greater heat than lignite (4,000-7,000 calories). It is very combustible and gives a brown powder. Bituminous coal is the most abundant variety, varying from medium to high rank. It is a soft, black, usually banded coal. It gives a black powder and contains 75 to 90 per cent of carbon. It weathers only slightly and may be kept in open piles with little danger of spontaneous combustion if properly stored. Medium-to-low volatile bituminous coals may be of coking quality. Coal is used intensively in blast furnaces for smelting iron ore. There are non-coking varieties of coal.

As for the thickness, the beds of this kind of coal are not very thick (1-1.5 meters). The great quantities of bituminous coal are found in the Russian Federation.

Anthracite or "hard" coal has a brilliant lustre containing more than 90 per cent of carbon and low percentage of volatile matter. It is used primarily as a domestic fuel, although it can sometimes be blended with bituminous grades of coal to produce a mixture with improved coking qualities. The largest beds of anthracite are found in Russia, the USA and Great Britain.

Coal is still of great importance for the development of modern industry. It may be used for domestic and industrial purposes. Being the main source of coke, coal is widely used in the iron and steel industry. Lignite, for example either in the raw state or in briquetted form, is a source of industrial carbon and industrial gases.

There is a strong tendency now for increased research into new technologies to utilize coal. No doubt, coal will be used as a raw material for the chemical industry and petrochemical processes. All

these processes involve coal conversion which include gasification designed to produce synthetic gas from coal as the basis for hydrogen manufacture, liquefaction (разжижение) for making liquid fuel from coal and other processes.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Anthracite coals may be divided into lignite and common brown coal.
2. Coals are ranked according to the percentage of carbon they contain.
3. Peat, with the least amount of carbon is the lowest rank, then comes lignite or brown coal.
4. Brown coal is hard and it is not liable to spontaneous combustion.
5. Bituminous coal weathers rapidly and one cannot keep it in open piles.
6. Being intensively used in the iron and steel industry bituminous coal varies from medium to high rank.
7. Anthracite or hard coal, the highest in percentage of carbon, can be blended with bituminous grades of coal.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is the classification of coal based on?
2. Is carbon the only element in coal? (Prove it.)
3. Is lignite intermediate in properties between peat and bituminous coal?
4. What heat value does lignite develop when burnt?
5. What coals are liable to spontaneous combustion?
6. What is the difference between lignite and brown coal?
7. Is bituminous coal high- or low-volatile?
8. Does anthracite contain 90 per cent of carbon?
9. Where are the largest deposits of anthracite found? And what can you say about bituminous coal?
10. What do you know about the utilization of coal?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1.	spontaneous combustion	а) легковоспламеняющийся газ
2.	moisture and ash content	б) высокосортный уголь
3.	the most abundant variety	в) плавить железную руду
4.	in its turn	г) самовозгорание
5.	the amount of volatile matter	д) содержание влаги и золы
6.	easily inflammable gas	е) дымное пламя
7.	brilliant lustre	ж) наиболее широко распространенные угли
8.	to smelt iron ore	з) яркий блеск
9.	high-rank coal	и) в свою очередь
10.	a smoky flame	к) количество летучих веществ

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов н сочетаний слов:

1.	тип угля	а) heat value
2.	некоксующийся уголь	б) amount of carbon
3.	доменная печь	в) coal rank
4.	содержание углерода	г) to store coal
5.	смешиваться с другими углями	д) to weather rapidly
6.	улучшенного качества	е) non-coking coal
7.	складировать уголь	ж) blast furnace
8.	теплотворная способность	з) of improved quality
9.	быстро выветриваться	и) to blend with other coals

Text 7: General Information on Mining

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

access - *n* доступ

affect - v воздействовать *(на что-л.);* влиять; *syn* **influence**

barren - *a* непродуктивный; пустой *(о породе)*

chute - *n* скат, спуск; углеспускная выработка; жёлоб

compare - v (with) сравнивать, проводить параллель

contribute - v способствовать, содействовать; делать вклад *(в науку);* **make a (one's) ~ to smth.** сделать вклад во что-л.

cross-section - *n* поперечное сечение, поперечный разрез, профиль

develop - v разрабатывать *(месторождение);* развивать *(добычу);* производить подготовительные работы; **development** - *n* подготовительные работы; развитие добычи; развитие

drift - *n* штрек, горизонтальная выработка

ensure - v обеспечивать, гарантировать; *syn* **guarantee**

face - *n* забой; лава

floor - л почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

govern - v править, управлять; руководить; определять, обусловливать

inclination - *n* уклон, скат, наклон *(пластов);* наклонение; **seam** ~ падение *(пласта);* наклон *(пласта)*

incline - *n* уклон, бремсберг, скат; наклонный ствол; **gravity** ~ бремсберг

inclined - *a* наклонный; **flatly** ~ слабо наклонный; **gently ~** наклонного падения; **medium** ~ умеренно наклонный *(о пластах);* **steeply** ~ крутопадающий

level - *n* этаж, горизонт, горизонтальная горная выработка; штольня; уровень *(инструмент);* нивелир; ватерпас; горизонтальная поверхность

recover - v извлекать *(целики);* выбирать, очищать; добывать *(уголь и т.п.);* восстанавливать

remove - v удалять; убирать; устранять; перемещать; **removal** - *n* вскрыша; выемка; уборка *(породы);* извлечение *(крепи);* перемещение; **overburden** - удаление вскрыши

rib - *n* ребро; выступ; узкий целик, предохранительный целик; грудь забоя

roof - *n* крыша; кровля выработки; кровля пласта *(или* жилы); перекрытие; ~ **support** - крепление кровли

shaft - *n* шахтный ствол; **auxiliary** ~ вспомогательный ствол; **hoisting** ~ подъемный ствол; главный шахтный ствол

tabular - *a* пластовый (о *месторождении);* пластообразный; плоский; линзообразный; *syn* **bedded, layered**

waste - *n* пустая порода; отходы; *syn* **barren rock**

well - *n* буровая скважина; колодец, источник; водоем; зумф

capital investment - капитальные вложения

gate road - промежуточный штрек

in bulk - навалом, в виде крупных кусков

metal-bearing - содержащий металл

production face/working - очистной забой

productive mining - эксплуатационные работы

in view of - ввиду чего-л., принимая во внимание что-л.

with a view to - с целью

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

As has been said, mining refers to actual ore extraction. Broadly speaking, mining is the industrial process of removing a mineral-bearing substance from the place of its natural occurrence in the Earth's crust. The term "mining" includes the recovery of oil and gas from wells; metal, non-metallic minerals, coal, peat, oil shale and other hydrocarbons from the earth. In other words, the work done to extract mineral, or to prepare for its extraction is called mining.

The tendency in mining has been towards the increased use of mining machinery so that modern mines are characterized by tremendous capacities. This has contributed to: 1) improving working conditions and raising labour productivity; 2) the exploitation of lower-grade metal-bearing substances and 3) the building of mines of great dimensions.

Mining can be done either as a surface operation (quarries, opencasts or open pits) or by an underground method. The mode of occurrence of the sought-for metallic substance governs to a large degree the type of mining that is practised. The problem of depth also affects the mining method. If the rock containing the metallic substance is at a shallow site and is massive, it may be economically excavated by a pit or quarry-like opening on the surface. If the metal-bearing mass is tabular, as a bed or vein, and goes to a great distance beneath the surface, then it will be worked by some method of underground mining.

Working or exploiting the deposit means the extraction of mineral. With this point in view a number of underground workings is driven in barren (waste) rock and in mineral. Mine workings vary in shape, dimensions, location and function.

Depending on their function mine workings are described as exploratory, if they are driven with a view to finding or proving mineral, and as productive if they are used for the immediate extraction of useful mineral. Productive mining can be divided into capital investment work, development work, and face or production work. Investment work aims at ensuring access to the deposit from the surface. Development work prepares for the face work, and mineral is extracted (or produced) in bulk.

The rock surfaces at the sides of workings are called the sides, or hi coal, the ribs. The surface above the workings is the roof in coal mining while in metal mining it is called the back. The surface below is called the floor.

The factors such as function, direct access to the surface, driving in mineral or in barren rock can be used for classifying mine workings:

I. Underground workings:

a) Long or deep by comparison with their cross-section may be: 1) vertical (shaft, blind pit); 2) sloping (slopes, sloping drifts, inclines); 3) horizontal (drifts, levels, drives, gate roads, adits, crosscuts).

b) Large openings having cross dimensions comparable with their length.

c) Production faces, whose dimensions depend on the thick ness of the deposit being worked, and on the method of mining it.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. As a rule, the term "mining" includes the recovery of oil and gas from wells as well as coal, iron ores and other useful minerals from the earth.
2. The increased use of mining machinery has greatly contributed to raising labour productivity and improving working conditions.
3. It is quite obvious that the problem of depth is not always taken into consideration in choosing the mining method.
4. Productive workings are usually used for the immediate extraction of useful mineral.
5. Underground workings are driven in barren rock or in mineral.
6. A shaft is a vertical underground working which is long and deep in comparison with its cross-section.
7. The surface above the mine working is usually called the floor.
8. The rock surfaces at the sides of mine workings arc called the ribs.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is mining?
2. What has contributed to the better working conditions of the miners?
3. What factors influence the choice of the mining method?
4. In what case is useful mineral worked by open pits?
5. Are exploratory workings driven with a view to finding and proving mineral or are they driven for immediate extraction of mineral?
6. What is the difference between development and production work?
7. What main factors are used for classifying mine workings?
8. What do the dimensions of production faces depend on?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. direct access to the surface
2. open-cast mining
3. tabular (or bedded) deposits
4. oil well
5. underground workings
6. cross-section of a working
7. production face
8. the roof of the mine working
9. to drive mine workings in barren rock
10. to affect the mining method

а) нефтяная скважина
б) проходить горные выработки по пустой породе
в) влиять на метод разработки
г) прямой доступ к поверхности
д) пластовые месторождения
е) открытая разработка
ж) поперечное сечение выработки
з) подземные выработки
и) очистной забой
к) кровля горной выработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов сочетаний слов:

1. способствовать чему-л.
2. размер ствола
3. извлекать, добывать (уголь)
4. штреки и квершлаги
5. пустая порода
6. вообще говоря
7. удалять, перемещать (крепь, вскрышу и др.)
8. с целью ...
9. подготовительные работы
10. мощность пласта

а) thickness of a seam
б) shaft dimension
в) with a view to
г) to contribute to smth.
д) development work
е) to remove (timber, overburden, etc.)
ж) drifts (gate roads) and crosscuts
з) generally speaking

и) to recover (coal)
к) waste (barren) rock

Text 8: Methods of Working Bedded Deposits Underground

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

advantage - *n* преимущество; превосходство; выгода; польза; **advantageous** - *a* выгодный; благоприятный, полезный; **to take advantage of smth** воспользоваться чём-л.

caving - *n* обрушение *(кровли);* разработка с обрушением

deliver - v доставлять, подавать; питать; нагнетать; произносить *(речь);* читать *(лекцию)*

entry - *n* штрек; выработка горизонтальная; *pl* подготовительные выработки; нарезные выработки; штреки

giant - *n* гидромонитор

gravity - *n* сила тяжести; вес, тяжесть; **by ~** самотеком, под действием собственного веса

haul - v доставлять; откатывать; подкатывать; перевозить; **haulage** - *n* откатка; доставка; транспортировка *(по горизонтали)*

longwall - *n* лава; выемка лавами; сплошной забой, сплошная или столбовая система разработки; *syn* **continuous mining; ~ advancing on the strike** выемка лавами прямым ходом по простиранию; сплошная система разработки по простиранию; **~ advancing to the rise** сплошная система разработки с выемкой по восстанию; ~ to **the dip** сплошная система разработки с выемкой по падению; ~ **retreating** выемка лавами обратным ходом; столбовая система разработки лавами

lose (lost) - v терять; **loss -** *n* потеря, убыток

pillar - *n* целик; столб; **shaft** ~ околоствольный целик; ~ **method** столбовая система разработки; ~ **mining** выемка целиков

predominate - v преобладать, превалировать; превосходить; господствовать, доминировать

protect - v охранять, защищать

reach - v простираться, доходить до; добиваться, достигать

satisfy - v удовлетворятъ(ся)

shield - *n* щит; ~ **method** щитовой метод проходки, щитовой способ

room - *n* камера; очистная камера; **room-and-pillar method** камерно-столбовая система разработки

stowing - *n* закладка *(выработанного пространства)*

method of working система разработки

the sequence of working the seams - последовательность отработки пластов

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The method of working (or method of mining) includes a definite sequence and organization of development work of a deposit, its openings and its face work in certain geological conditions. It depends on the mining plan and machines and develops with their improvements. A rational method of working should satisfy the following requirements in any particular conditions: 1) safety of the man; 2) maximum output of mineral; 3) minimum development work (per 1,000 tons output); 4) minimum production cost and 5) minimum losses of mineral.

Notwithstanding the considerable number of mining methods in existence, they can be reduced to the following main types: 1. Methods of working with long faces (continuous mining); 2. Methods of working with short faces (room-and-pillar). The characteristic feature of the continuous mining is the absence of any development openings made in advance of production faces. The main advantage of long continuous faces is that they yield more mineral. Besides, they allow the maximum use of combines (shearers), cutting machines, powered supports and conveyers. The longwall method permits an almost 100 per cent recovery of mineral instead of 50 to 80 per cent obtainable in room-and-pillar methods.

The basic principle of room-and-pillar method is that rooms from 4 to 12 meters wide (usually 6-7) are driven from the entries, each room is separated from each other by a rib pillar. Rib pillars are recovered or robbed after the rooms are excavated. The main disadvantage of shortwall work is a considerable loss of mineral and the difficulty of ventilation. In working bedded deposits methods of mining mentioned above may be used either with stowing or with caving.

In Russia, Germany (the Ruhr coal-field), France and Belgium nearly all the faces are now long ones. In Britain longwall faces predominate.

The USA, Canada, Australia and to some extent India are developing shortwall faces and creating the machines for them. In these countries shortwall faces are widely used.

In Russia the thick seams are taken out to full thickness up to 4.5 m thick if they are steep, and up to 3.5 m thick if they are gently sloping or inclined. In the Kuznetsk coal-field long faces are worked to the dip with ashield protection, using a method proposed by N.Chinakal. In shield mining coal is delivered to the lower working by gravity so that additional haulage is not required.

It should also be noted that in Russia hydraulic mining is widely used as it is one of the most economic and advantageous methods of coal getting. New hydraulic mines are coming into use in a number of coal-fields. Hydraulic mining is developing in other countries as well.

The aim of hydraulic mining is to remove coal by the monitors (or giants) which win coal and transport it hydraulically from the place of work right to the surface. It is quite obvious that the choice of the method of mining will primarily depend on the depth and the shape and the general type of the deposit.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. A definite sequence and organization of development work is called mining.
2. Mining methods in existence can be reduced to the two main types.
3. The depth and the shape of the deposit influence the choice of the method of working.
4. As is known, in Belgium all the faces are short now, in Great Britain they amount to 84 per cent.
5. In Australian collieries shortwall faces are widely used.
6. The room-and-pillar method is characterized by the absence of any development openings.
7. High-capacity monitors win coal and transport it hydraulically right to the surface.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What factors does mining depend on?
2. What is mining?
3. What are the most important factors which affect the choice of the method of working?
4. Do short faces or long faces predominate in Russia? What can you say about the Ruhr coal-field?
5. Is Canada developing shortwall faces or longwall faces?
6. What are the main disadvantages of shortwall faces?
7. What are the two main methods of working?
8. What is the main advantage of long continuous faces?
9. What methods of mining long faces do you know?
10. What method of mining is characterized by the absence of development openings?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов в сочетаний слов:

1.	development face	а) сплошная система разработки
2.	great losses	б) выемка целиков
3.	shield method of mining	в) подготовительный забой
4.	continuous mining	г) большие потери
5.	longwall advancing to the dip	д) удовлетворять требованиям
6.	the room-and-pillar method of mining	е) зависеть от геологических условий
7.	to open up a deposit	ж) выемка лавами прямым ходом по падению

8. pillar mining з) щитовая система разработки
9. to satisfy the requirements и) вскрывать месторождение
10. to depend upon the geological conditions к) камерно-столбовая система разработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. включать (в себя) а) safety
2. выемка лавами обратным ходом б) annual output
3. достигать 50% в) to involve
4. превышать 60% г) to propose a new method of mining
5. безопасность д) long wall retreating
6. годовая добыча е) in connection with difficulties
7. основной недостаток системы разработки ж) to exceed 60 per cent
8. под-этаж з) notwithstanding (in spite of)
9. крутопадающий пласт и) to reach 50 per cent
10. щитовая система разработки к) the main disadvantage of the method of mining
11. предложить новый способ разработки л) sublevel
12. в связи с трудностями м) the shield method of mining
13. несмотря на н) open up a deposit
14. вскрывать месторождение о) steep seam

2.3 Подготовка доклада

Подготовьте доклад по одной из предложенных тем.

1. Inigo Jones (1573-1652)
2. Christopher Wren (1632-1723)
3. Geoffrey Chaucer (1340-1400)
4. Samuel Johnson (1709-1784)
5. Alfred Tennyson (1809-1892)
6. Thomas Hardy (1840-1928)
7. John Milton (1608-1674)
8. William Makepeace Thackeray (1811-1863)
9. Henry Wadsworth Longfellow (1807 – 1882)
10. Joshua Reynolds (1723-1792)
11. Thomas More (1478 – 1535)
12. J.M.W. Turner (1775-1851)
13. Thomas Gainsborough (1727 – 1788)
14. Henry Moor (1898-1986)
15. Henry Irving (1838-1905)
16. William Gilbert (1836-1911)
17. Arthur Sullivan (1842-1900)
18. James Watt (1736 - 1819)
19. Thomas Telford (1757 - 1834)
20. Isambard Kingdom Brunel (1806 – 1859)
21. George Stephenson (1781 – 1848)
22. David Livingstone (1813 – 1873)
23. Tony Blair (1953)
24. Winston Churchill (1874 - 1965)
25. Margaret Hilda Thatcher (1925)
26. Sir Isaac Newton (1642 – 1727
27. Alexander Graham Bell (1847 - 1922)

28. Robert Burns (1759 – 1796)

Правила предоставления информации в докладе

Размер	**А4**
Шрифт	Текстовый редактор Microsoft Word, шрифт Times New Roman 12
Поля	слева – 2 см., сверху и справа – 1 см., снизу – 1
Абзацный отступ	1 см устанавливается автоматически
Стиль	Примеры выделяются курсивом
Интервал	межстрочный интервал – 1
Объем	1 -2 страницы (до 7 минут устного выступления)
Шапка доклада	***Иванова Мария Ивановна*** Екатеринбург, Россия ФГБОУ ВПО УГГУ, МД-13 НАЗВАНИЕ ДОКЛАДА
	Список использованной литературы

Краткое содержание статьи должно быть представлено на 7-10 слайдах, выполненных в PowerPoint.

2.4 Подготовка к тесту

Тест направлен на проверку страноведческих знаний и знаний межкультурной коммуникации. Для этого студентам необходимо повторить материал, представленный в *Социально-культурной сфере общения* по теме «Страны изучаемого языка» (Я и мир). Для успешного написания теста изучите следующий материал:

THE GEOGRAPHICAL POSITION OF GREAT BRITAIN

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland covers an area of some 244 thousand square miles. It is situated on the British Isles. The British Isles are separated from Europe by the Strait of Dover and the English Channel. The British Isles are washed by the North Sea in the east and the Atlantic Ocean in the west.

England is in the southern and central part of Great Britain. Scotland is in the north of the island. Wales is in the west. Northern Ireland is situated in the north-eastern part of Ireland.

England is the richest, the most fertile and most populated part in the country. There are mountains in the north and in the west of England, but all the rest of the territory is a vast plain. In the northwestern part of England there are many beautiful lakes. This part of the country is called Lake District.

Scotland is a land of mountains. The Highlands of Scotland are among the oldest mountains in the world. The highest mountain of Great Britain is in Scotland too. The chain of mountains in Scotland is called the Grampians. Its highest peak is Ben Nevis. It is the highest peak not only in Scotland but in the whole Great Britain as well. In England there is the Pennine Chain. In Wales there are the Cumbrian Mountains.

There are no great forests on the British Isles today. Historically, the most famous forest is Sherwood Forest in the east of England, to the north of London. It was the home of Robin Hood, the famous hero of a number of legends.

The British Isles have many rivers but they are not very long. The longest of the English rivers is the Severn. It flows into the Irish Sea. The most important river of Scotland is the Clyde. Glasgow stands on it. Many of the English and Scottish rivers are joined by canals, so that it is possible to travel by water from one end of Great Britain to the other.

The Thames is over 200 miles long. It flows through the rich agricultural and industrial districts of the country. London, the capital of Great Britain, stands on it. The Thames has a wide mouth, that's

why the big ocean liners can go up to the London port. Geographical position of Great Britain is rather good as the country lies on the crossways of the see routes from Europe to other parts of the world. The sea connects Britain with most European countries such as Belgium, Holland, Denmark, Norway and some other countries. The main sea route from Europe to America also passes through the English Channel.

United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland occupies the territory of the British Isles. They lie to the north-west of Europe.

Once upon a time the British Isles were an integral part of the mainland. As a result of sinking of the land surface they became segregated. Great Britain is separated from the continent by the English Channel. The country is washed by the waters of the Atlantic Ocean. Great Britain is separated from Belgium and Holland by the North Sea, and from Ireland — by the Irish Sea.

There are several islands along the coasts. The total area of the British Isles is 325 000 km2. The main islands are Great Britain and Ireland.

The surface of the country is much varied. Great Britain is the country of valleys and plains.

The insular geographical position of Great Britain promoted the development of shipbuilding, different trading contacts with other countries. It has also allowed the country to stay independent for quite a long period of time.

THE BRITISH PARLIAMENT

The British Parliament is the oldest in the world. It originated in the 12th century as Witenagemot, the body of wise councillors whom the King needed to consult pursuing his policy. The British Parliament consists of the House of Lords and the House of Commons and the Queen as its head.

The House of Commons plays the major role in law-making. It consists of Members of Parliament (called MPs for short). Each of them represents an area in England, Scotland, Wales and Ireland.

MPs are elected either at a general election or at a by-election following the death or retirement. Parliamentary elections are held every 5 years and it is the Prime Minister who decides on the exact day of the election. The minimum voting age is 18. And the voting is taken by secret ballot.

The election campaign lasts about 3 weeks, The British parliamentary system depends on political parties.

The party which wins the majority of seats forms the government and its leader usually becomes Prime Minister. The Prime Minister chooses about 20 MPs from his party to become the cabinet of ministers. Each minister is responsible for a particular area in the government. The second largest party becomes the official opposition with its own leader and «shadow cabinet». The leader of the opposition is a recognized post in the House of Commons.

The parliament and the monarch have different roles in the government and they only meet together on symbolic occasions, such as coronation of a new monarch or the opening of the parliament. In reality, the House of Commons is the one of three which has true power.

The House of Commons is made up of six hundred and fifty elected members, it is presided over by the speaker, a member acceptable to the whole house. MPs sit on two sides of the hall, one side for the governing party and the other for the opposition. The first 2 rows of seats are occupied by the leading members of both parties (called «front benches»). The back benches belong to the rank-and-life MPs.

Each session of the House of Commons lasts for 160-175 days. Parliament has intervals during his work. MPs are paid for their parliamentary work and have to attend the sittings.

As mention above, the House of Commons plays the major role in law making. The procedure is the following: a proposed law («a bill») has to go through three stages in order to become an act of Parliament; these are called «readings».

The first reading is a formality and is simply the publication of the proposal. The second reading involves debate on the principles of the bill; it is examination by parliamentary committee.

And the third reading is a report stage, when the work of the committee is reported on to the house. This is usually the most important stage in the process.

When the bill passes through the House of Commons, it is sent to the House of Lords for discussion, when the Lords agree it, the bill is taken to the Queen for royal assent, when the Queen sings the bill, it becomes act of the Parliament and the Law of the Land.

The House of Lords has more than 1000 members, although only about 250 take an active part in the work in the house. Members of this Upper House are not elected; they sit there because of their rank. The chairman of the House of Lords is the Lord Chancellor. And he sits on a special seat, called «Woolsack».

The members of the House of Lords debate the bill after it has been passed by the House of Commons. Some changes may be recommended and the agreement between the two houses is reached by negotiations.

BRITISH TRADITIONS AND CUSTOMS

British nation is considered to be the most conservative in Europe. It is not a secret that every nation and every country has its own customs and traditions. In Great Britain people attach greater importance to traditions and customs than in other European countries. Englishmen are proud of their traditions and carefully keep them up. The best examples are their queen, money system, their weights and measures.

There are many customs and some of them are very old. There is, for example, the Marble Championship, where the British Champion is crowned; he wins a silver cup known among folk dancers as Morris Dancing. Morris Dancing is an event where people, worn in beautiful clothes with ribbons and bells, dance with handkerchiefs or big sticks in their hands, while traditional music-sounds.

Another example is the Boat Race, which takes place on the river Thames, often on Easter Sunday. A boat with a team from Oxford University and one with a team from Cambridge University hold a race.

British people think that the Grand National horse race is the most exciting horse race in the world. It takes place near Liverpool every year. Sometimes it happens the same day as the Boat Race takes place, sometimes a week later. Amateur riders as well as professional jockeys can participate. It is a very famous event.

There are many celebrations in May, especially in the countryside.

Halloween is a day on which many children dress up in unusual costumes. In fact, this holiday has a Celtic origin. The day was originally called All Halloween's Eve, because it happens on October 31, the eve of all Saint's Day. The name was later shortened to Halloween. The Celts celebrated the coming of New Year on that day.

Another tradition is the holiday called Bonfire Night. On November 5, 1605, a man called Guy Fawkes planned to blow up the Houses of Parliament where the king James 1st was to open Parliament on that day. But Guy Fawkes was unable to realize his plan and was caught and later, hanged. The British still remember that Guy Fawkes' Night. It is another name for this holiday. This day one can see children with figures, made of sacks and straw and dressed in old clothes. On November 5th, children put their figures on the bonfire, burn them, and light their fireworks.

In the end of the year, there is the most famous New Year celebration. In London, many people go to Trafalgar Square on New Year's Eve. There is singing and dancing at 12 o'clock on December 31st.

A popular Scottish event is the Edinburgh Festival of music and drama, which takes place every year. A truly Welsh event is the Eisteddfod, a national festival of traditional poetry and music, with a competition for the best new poem in Welsh. If we look at English weights and measures, we can be convinced that the British are very conservative people. They do not use the internationally accepted measurements. They have conserved their old measures. There are nine essential measures. For general use, the smallest weight is one ounce, then 16 ounce is equal to a pound. Fourteen pounds is one stone.

The English always give people's weight in pounds and stones. Liquids they measure in pints, quarts and gallons. There are two pints in a quart and four quarts or eight pints are in one gallon. For length, they have inches: foot, yards and miles.

LONDON

As well as being the capital of England, London is the capital of the United Kingdom. London was founded by the Romans in 43 A.D. and was called Londinium. In 61 A.D. the town was burnt down and when it was rebuilt by the Romans it was surrounded by a wall. That area within the wall is now called the City of London. It is London's commercial and business centre. It contains the Bank of England, the Stock Exchange and the head offices of numerous companies and corporations. Here is situated the Tower of London.

The Tower was built by William the Conqueror who conquered England in 1066. He was crowned at Westminster Abbey. Now most of the Government buildings are located there.

During the Tudor period (16th century) London became an important economic and financial centre. The Londoners of the Elizabethan period built the first theatres. Nowadays the theatre land is stretched around Piccadilly Circus. Not far from it one can see the British Museum and the «Covent Garden» Opera House.

During the Victorian period (19th century) London was one of the most important centers of the Industrial Revolution and the centre of the British Empire. Today London is a great political centre, a great commercial centre, a paradise for theatre-goers and tourists, but it is also a very quiet place with its parks and its ancient buildings, museums and libraries.

LONDON

London is the capital of Great Britain, its political, economic and commercial center. It`s one of the largest cities in the world and the largest city in Europe. Its population is about 9 million. London is one of the oldest and most interesting cities in the world. Traditionally it`s divided into several parts: the City, Westminster, the West End and the East End.

They are very different from each other and seem to belong to different towns and epochs. The heart of London is the City, its financial and business center. Numerous banks, offices and firms are situated there, including the Bank of England, the Stock Exchange and the Old Bailey. Few people live here, but over a million people come to the City to work. There are some famous ancient buildings within the City. Perhaps the most striking of them in St. Paul`s Cathedral, the greatest of British churches. St. Paul`s Cathedral has always dominated the center of London. It stands on the site of former Saxon and Norman churches. They latter were destroyed in the Great Fire and the present building, completed in 1710, is the work of the eminent architect Sir Christopher Wren. It is an architectural masterpiece.

Londoners have a particular affection for St. Paul`s, which is the largest Protestant Church in England. Its high dome, containing the remarkable Whispering Gallery, is a prominent landmark towering above the multistoried buildings which line the river-bank.

The Tower of London was one of the first and most impressive castles built after the Norman invasion of England in 1066. Since the times of William I various kings have built and extended the Tower of London and used it for many purposes. The Tower has been used as a royal palace, an observatory, an arsenal, a state prison, and many famous and infamous people have been executed within its walls. It is now a museum. For many visitors the principal attraction is the Crown Jewels, the finest precious stones of the nation. A fine collection of armour is exhibited in the keep. The security of the Tower is ensured by a military garnison and by the Yeoman Warders or Beefeaters, who still wear their picturesque Tudor uniform.

Westminster is the historic, the governmental part of London. Westminster Abbey is a national shrine where the kings and queens are crowned and famous people are buried. Founded by Edward the Confessor in 1050, the Abbey was a monastery for along time. The present building dates largely from the times of Henry 3, who began to rebuild the church, a task which lasted nearly 300 years. The West towers were added in the eighteenth century. Since William I almost every English monarch has been

crowned in this great church, which contains the tombs and memorials of many of Britain`s most eminent citizens: Newton, Darwin, Chaucer, Dickens, Tennyson, Kipling and etc. One of the greatest treasures of the Abbey is the oaken Coronation Chair made in 1300. The Abbey is also known for its Poet`s Corner. Graves and memorials to many English poets and writers are clustered round about.

Across the road from Westminster Abbey is Westminster Palace, or the Houses of Parliament, the seat of the British Parliament. The Parliament of Great Britain and Northern Ireland consists of the House of Lords and the House of Commons. The House of Lords consists of just over 1,000 members of the different grades of nobility — dukes, marquises, earls, viscounts and barons.

The House of Commons consists of 650 members. They are elected by secret ballot by men and women aged 18 and over. Every Parliament is divided into Sessions. Each of these may last a year and usually begins early in November. The Clock Tower, which contains the hour-bell called Big Ben, is known over the world. The bell is named after Sir Benjamin Hall.

Buckingham Palace is the official residence of the Queen. The West End is the richest and most beautiful part of London. It is the symbol of wealth and luxury. The best hotels, shops, restaurants, clubs, and theatres are situated there. There are splendid houses and lovely gardens belonging to wealthy people.

Trafalgar Square is the geographical center of London. It was named in memory of Admiral Nelson`s victory in the battle of Trafalgar in 1805. The tall Nelson`s Column stands in the middle of the square. On the north side of Trafalgar Square is the National Gallery and the National Portrait Gallery.

Not far away is the British Museum — the biggest museum in London. It contains a priceless collection of ancient manuscripts, coins, sculptures, est., and is famous for its library.

The East End is the poorest district of London. There are a lot of factories, workshops and docks here. The streets are narrow, the buildings are unimpressive. The East End is densely populated by working class families.

PLACES OF INTERESTS IN GREAT BRITAIN

Britain is rich in its historic places which link the present with the past. The oldest part of London is Lud Hill, where the city is originated. About a mile west of it there is Westminster Palace, where the king lived and the Parliament met, and there is also Westminster Abby, the coronation church. Liverpool, the «city of ships», is England’s second greatest port, ranking after London. The most interesting sight in the Liverpool is the docks. They occupy a river frontage of seven miles.

The University of Liverpool, established in 1903, is noted for its School of Tropical Medicine. And in the music world Liverpool is a well-known name, for it’s the home town of «The Beatles».

Stratford-on-Avon lies 93 miles north-west of London. Shakespeare was born here in 1564, and here he died in 1616.

Cambridge and Oxford Universities are famous centers of learning. Stonehenge is a prehistoric monument, presumably built by Druids, members of an order of priests in ancient Britain. Tintagel Castle is King Arthur’s reputed birthplace. Canterbury Cathedral is the seat of the Archbishop of Canterbury, head of the Church of England.

The British Museum is the largest and richest museum in the world. It was founded in 1753 and contains one of the world’s richest collections of antiquities. The Egyptian Galleries contain human and animal mummies. Some parts of Athens’ Parthenon are in the Greek section.

Madam Tussaud’s Museum is an exhibition of hundreds of life-size wax models of famous people of yesterday and today. The collection was started by Madam Tussaud, a French modeller in wax, in the 18th century. Here you can meet Marilyn Monroe, Elton John, Picasso, the Royal Family, the Beatles and many others: writers, movie stars, singers, politicians, sportsmen, etc.

5. Подготовка к экзамену

Подготовка к экзамену включает в себя повторение всех изученных тем курса.

Билет на экзамен включает в себя тест и практико-ориентированное задание.

Наименование оценочного средства	*Характеристика оценочного средства*	*Методика применения оценочного средства*	*Наполнение оценочного средства в КОС*	*Составляющая компетенции, подлежащая оцениванию*
Экзамен:				
Тест	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.	Тест состоит из 20 вопросов.	КОС - тестовые задания	Оценивание уровня знаний, умений, владений
Практико-ориентированное задание	Задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию	Количество заданий в билете – 1. Предлагаются задания по изученным темам в виде практических ситуаций.	КОС- Комплект заданий	Оценивание уровня знаний, умений и навыков

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому
комплексу _____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Авторы: Гребенкин С.М., Кузнецов А.М., Тетерев Н.А.

Одобрена на заседании кафедры

Геологии и защиты в ЧС
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)

Стороженко Л.А.
(Фамилия И.О.)

Екатеринбург
2020

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО ВОЗДУХООБМЕНА

Цель практического занятия — закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Человек и среда обитания: воздействия негативных факторов окружающей среды на человека», и формирование практических навыков расчета воздухообмена в производственных помещениях необходимого для очистки воздуха от вредностей: для удаления вредных веществ (выделяющихся вредных газов, паров и пыли); для удаления излишних водяных паров; для удаления избыточного тепла.

Общие сведения. Среда обитания — это окружающая человека среда, осуществляющая через совокупность факторов (физических, биологических, химических и социальных) прямое или косвенное воздействие на жизнедеятельность человека, его здоровье, трудоспособность и потомство. В жизненном цикле человек и окружающая среда обитания непрерывно взаимодействуют и образуют постоянно действующую систему «человек — среда обитания», в которой человек реализует свои физиологические и социальные потребности. В составе окружающей среды выделяют природную, техногенную, производственную и бытовую среду. Каждая среда может представлять опасность для человека. В данной работе рассматривается расчет потребного воздухообмена (L м^3/ч), для очистки воздуха от вредных газов и паров и для удаления избыточного тепла с помощью механической общеобменной вентиляции.

Задание. В помещении объемом V работают n человек со средней производительностью a каждый. Они производят покраску и шпаклевку изделий нитро- (на основе ацетона) красками, эмалями и шпаклевками, для чего используется ручное и механизированное оборудование. В этом же помещении производится пайка N контактов припоем ПОС-60. Источники тепловыделения

– оборудование мощностью Рном и осветительная сеть мощностью Роев из люминесцентных ламп. Расчеты вести для холодного периода года. Помещение имеет *К* окон направленных на север размерами 2,5х1,75 м с двойным остеклением и деревянными рамами. Категория работ – III (тяжелая).

Рассчитать потребный воздухообмен и определить кратность воздухообмена для: 1) испарений растворителей и лаков; 2) при пайке припоем ПОС-60; 3) удаления выделяемой людьми углекислоты; 4) удаления избыточного тепла.

Методика и порядок расчета воздухообмена для очистки воздуха.

Потребный воздухообмен определяется по формуле

$$L = \frac{G \times 1000}{x_н - x_в}, \text{ м}^3/\text{ч}, \qquad (1.1)$$

где *L*, м^3/ч – потребный воздухообмен; *G*, г/ч – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения; $x_в$, мг/м^3 – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88 [1]; $x_н$, мг/м^3 – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338- 03) □4□.

Применяется также понятие кратности воздухообмена (n), которая показывает сколько раз в течение одного часа воздух полностью сменяется в помещении. Значение n □ □ может быть достигнуто естественным воздухообменом без устройства механической вентиляции.

Кратность воздухообмена определяется по формуле

$$n = \frac{L}{V_n}, \text{ ч}^{-1}, \qquad (1.2)$$

где n, раз/ч – кратность воздухообмена; *L*, м^3/ч – потребный воздухообмен; V_n – внутренний объем помещения, м^3.

Согласно СП 2.2.1.1312-03, кратность воздухообмена n > 10 недопустима.

Так как $x_н$ определяется по табл. 1.1 прил.1, а $x_в$ по табл. 1.2 прил.1, то для расчета потребного воздухообмена необходимо в каждом случае определять

количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения.

Таблица 1.0

Исходные данные для расчёта потребного воздухообмена

№ вар.	*a*, м^2/ч	Материал	*n* чел.	*V* м^3	*N* шт/час	Местность	$P_{ном.}$ кВт	$P_{осв.}$ кВт	*m* окон
1	2	Бесцветный аэролак, окраска кистью	1	100	40	Сельские населенные пункты	10	0,5	2
2	1,5		2	200	35		20	0,5	3
3	1		3	300	400		30	1	4
4	2		4	400	45	Малые города	40	1	5
5	3	Цветной аэролак, окраска механизир.	1	500	305		200	1	6
6	4		1	600	48		150	1,5	6
7	3,5		1	700	450	Большие города	200	1	6
8	5		1	800	480		100	2	8
9	0,2	Шпаклевка кистью	3	80	325		10	0,5	2
10	0,3		4	200	420	Сельские населенные пункты	20	1	4
11	1,5	Шпаклевка механизир,	1	200	250		30	1	3
12	1		2	300	450		40	1,5	4
13	0,8	Бесцветный аэролак, окраска кистью	1	150	300	Малые города	50	0,6	2
14	1		2	150	48		60	0,8	3
15	1,2		1	120	335		70	1	2
16	0,7		2	200	400	Большие города	80	1,2	4
17	2	Цветной аэролак, окраска механизир.	1	200	280		90	0,6	4
18	2,5		2	400	480		100	0,8	6
19	2,2		1	400	290	Сельские населенные пункты	150	1,2	8
20	1,8		2	600	300		200	1,5	8
21	0,3	Шпаклевка кистью	1	80	200		250	0,5	I
22	0,4		2	100	250	Малые города	300	0,6	2
23	1	Шпаклевка механизир.	1	150	242		60	1	2
24	1		2	400	440	Большие города	80	1	3
25	1,5	Шпаклевка кистью	1	100	270		100	1,2	4
26	2		3	200	180		150	0,5	6

Рассмотрим отдельные характерные случаи выделения вредных веществ в воздух помещения и определения потребного воздухообмена.

1.1. Определение воздухообмена при испарении растворителей и лаков

Испарение растворителей и лаков обычно происходит при покраске различных изделий. Количество летучих растворителей, выделяющихся в воздухе помещений можно определить по следующей формуле

$$G = \frac{a \times A \times m \times n}{100}, \text{ г/ч}, \qquad (1.3)$$

где a, м^2/ч – средняя производительность по покраске одного рабочего (при ручной покраске кистью – 12 м^2/ч, пульверизатором – 50 м^2/ч); A, г/м^2 – расход лакокрасочных материалов; m, % – процент летучих растворителей, содержащихся в лакокрасочных материалах; n – число рабочих, одновременно занятых на покраске.

Численные значения величин A и m определяются по табл. 1.3 прил. 1.

Пример. Определить количество выделяющихся в воздух помещения летучих растворителей.

Решение:

По табл. 3 прил. 1 для цветного аэролака при окраске распылением находим, что A = 180 г/м^2, m = 75 %, тогда G = 50·180·75·2/100 = 13500 г/ч. Далее определяем потребный воздухообмен в помещении по формуле (1.3). Находим для ацетона из табл. 1.1 и 1.2 прил. 1, что $x_в$ = 200 мг/м^3, $x_н$ = 0,35 мг/м^3, тогда L = 13500·1000/(200 - 0,35) = 67500 м^3/ч.

Ответ: L = 67500 м^3/ч.

1.2. Определение потребного воздухообмена при пайке электронных схем

Пайка осуществляется свинцово-оловянным припоем ПОС-60, который

содержит C = 0,4 доли объема свинца и 60 % олова. Наиболее ядовиты аэрозоли (пары) свинца.

В процессе пайки из припоя испаряется до B = 0,1 % свинца, а на 1 пайку расходуется 10 мг припоя. При числе паек – N, количество выделяемых паров свинца определяется по формуле

$$G = C \times B \times N, \text{ мг/ч}, \qquad (1.4)$$

где G, г/ч – количество выделяемых паров свинца; C – содержание свинца; B – % свинца; N – число паек.

Пример. В помещении объемом $V_п$ = 1050 м^3 три человека осуществляют пайку припоем ПОС-40 с производительностью по 100 контактов в час. Найти требуемую кратность воздухообмена.

Решение:

По формуле (1.4) определяем количество аэрозолей свинца, выделяемых в воздух: G = 0,6·0,001·10·100·3 = 1,8 мг/ч. Далее определяем потребный воздухообмен по формуле (1.1). Находим из табл. 1.1 и 1.2 прил. 1 для свинца и его соединений $x_в$ = 0,01 мг/м^3; $x_н$ = 0,001 мг/м^3. Тогда L = 1,8 / (0,01- 0,001) = 200,0 м^3/ч.

Ответ: L = 185,5 м^3/ч.

1.3. Определение воздухообмена в жилых и общественных помещениях

В жилых и общественных помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемая людьми углекислота (CO_2). Определение потребного воздухообмена производится по количеству углекислоты, выделяемой человеком и по допустимой концентрации её.

Количество углекислоты в зависимости от возраста человека и выполняемой работы, а также допустимые концентрации углекислоты для различных помещений приведены в табл. 1.4 и 1.5 прил. 1.

Содержание углекислоты в атмосферном воздухе можно определить по химическому составу воздуха. Однако, учитывая повышенное содержание углекислоты в атмосфере населенных пунктов, следует принимать при расчете содержания CO_2 следующие значения: для сельских населенных пунктов – 0,33 л/м^3, для малых городов (до 300 тыс. жителей) – 0,4 л/м^3, для больших городов (свыше 300 тыс. жителей) – 0,5 л/м^3.

Пример. Определить потребную кратность воздухообмена в помещении, где работают 3 человека.

Решение:

По табл. 1.4 прил.1 определяем количество CO_2, выделяемой одним человеком g = 23 л/ч. По табл. 1.5 прил. 1 определяем допустимую концентрацию CO_2. Тогда $x_в$ = 1 л/м3 и содержание CO_2 в наружном воздухе для больших городов $x_н$ = 0,5 л/м^3 .Определяем потребный воздухообмен по формуле (1.1) $L = 23 \cdot 3/(1- 0,5) = 138$ м$^{3/}$ч. Ответ: L = 138 м^3/ч.

1.4. Определение потребного воздухообмена при выделении газов (паров) через неплотности аппаратуры, находящейся под давлением

Производственная аппаратура, работающая под давлением, как правило, не является вполне герметичной. Степень герметичности аппаратуры уменьшается по мере ее износа. Считая, что просачивание газов через неплотности подчиняется тем же законам, что и истечение через небольшие отверстия, и, предполагая, что истечение происходит адиабатически, количество газов, просочившихся через неплотности, можно определить по формуле

$$G = k \times c \times \sqrt[v]{\frac{M}{T}}, \text{ кг/ч,} \qquad (1.5)$$

где k – коэффициент, учитывающий повышение утечки от износа оборудования

(k = 1–2); c – коэффициент, учитывающий влияние давление газа в аппарате; v – внутренний объем аппаратуры и трубопроводов, находящихся под давлением, м^3; M – молекулярный вес газов, находящихся в аппаратуре; T – абсолютная температура газов в аппаратуре, К.

Таблица 1.2

Коэффициент, учитывающий влияние давление газа в аппарате

Давление p, атм	до 2	2	7	17	41	161
c	0,121	0,166	0,182	0,189	0,25	0,29

Пример. Система, состоящая из аппаратов и трубопроводов, заполнена сероводородом. Рабочее давление в аппаратуре p_a = 3 атм, а в проводящих трубопроводах p_a=4 атм. Внутренний объем аппаратуры v_a = 5 м^3, объём трубопроводов, $v_{тр}$ = 1,2 м^3. Температура газа в аппаратуре – t_a = 120 ^{o}C, в трубопроводе – $t_{тр}$ = 25 ^{o}C. Определить потребный воздухообмен в помещении.

Решение:

Определяем величины утечек сероводорода (H_2S) из аппаратуры и трубопроводов. Принимаем k = 1,5; c = 0,169 (по табл. 1.2); M = 34, для H_2S; Утечка газа из аппаратуры составляет:

$$G_a = 1{,}5 \times 0{,}169 \times \sqrt[5]{\frac{34}{393}} = 0{,}372$$

Утечка газа из трубопроводов составляет:

$$G_{ТР} = 1{,}5 \times 0{,}172 \times 1{,}2 = 0{,}104$$

$$G = G_a + G_{ТР} = 0{,}372 + 0{,}104 = 0{,}476, кг/ч$$

Используя данные табл. 1.1 прил. 1, находим, что для сероводорода $x_в$ =10 мг/м^3; $x_н$ = 0,008 мг/м^3. Потребный воздухообмен равен

$$L = \frac{4761000}{(10 - 0{,}008)} = 47638{,}1\ м^3/ч$$

Ответ: L = 47638,1 м^3/ч

Вывод: В воздух помещения одновременно могут выделяться несколько вредных веществ. По действию на организм человека они могут быть однонаправленными и разнонаправленными. Для однонаправленных веществ расчетные значения потребного воздухообмена суммируются, а для разнонаправленных веществ выбирается наибольшее значение потребного воздухообмена.

Пример. Для первой вредности в воздухе рабочей зоны – вредных (токсичны) веществ в рассмотренных примерах все относятся к веществам разнонаправленного действия, поэтому принимаем к дальнейшему расчету максимальное из полученных значений, т. е. L = 67500 м^3/ч (потребный воздухообмен для паров растворителей при окраске).

Для проверки соответствия требованиям устройства вентиляции определим кратность воздухообмена n = 67500/4800 = 14,1 ч$^{-1}$. Данное значение превышает установленную величину – 10 ч$^{-1}$, поэтому необходимо принять дополнительное решение по устройству вентиляции в помещении. Например, таким решением может быть исключение распространения от двух мест окраски растворителей по всему помещению за счет применения местной вытяжной вентиляции.

Расчет объёма воздуха удаляемого местной вентиляцией определяется по формуле

$$L_{МВ} = F \times v \times 3600, {}^{м^3}/_{ч}\,, \qquad (1.6)$$

где F – площадь сечения всасывающих отверстий, м^2; v – скорость воздуха в сечении вытяжной вентиляции, м/с. Рекомендуется принимать значение скорости в интервале 0,8-1,5 м/с.

Таким образом, потребный воздухообмен для оставшихся вредных веществ принимаем для выделений сероводорода: L = 47638,1 м^3/ч.

Проверка:

n = 47638, 1/4800 = 9, 9 $ч^{-1}$.

1.5. Расчёт потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла

Расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла производится по формуле

$$L = \frac{Q_{изб}}{\gamma_в \times c \Delta t}, м^3/ч, \quad (1.7)$$

где L, $м^3$/ч – потребный воздухообмен; $Q_{изб}$, ккал/ч – избыточное тепло; $\gamma_в$ = 1,206 кг/$м^3$ – удельная масса приточного воздуха; $c_в$ = 0,24 ккал/кг□град – теплоемкость воздуха;

$$\Delta t = t_{вых} - t_{пр}, ^oC \quad (1.8)$$

где $t_{вых}$, ^{o}C – температура удаляемого воздуха; $t_{пр}$, ^{o}C – температура приточного воздуха.

Величина Δt при расчетах выбирается в зависимости от теплонапряженности воздуха – $Q_н$: при $Q_н \leq 20$ ккал/$м^3$·ч Δt = 6 ^{o}C; при $Q_н > 20$ ккал/$м^3$·ч Δt = 8 ^{o}C;

$$Q_н = \frac{Q_{изб}}{V_п}, ккал/ м^3 \cdot ч, \quad (1.9)$$

где $V_п$, $м^3$ – внутренний объем помещения.

Таким образом, для определения потребного воздухообмена необходимо определить количество избыточного тепла по формуле

$$Q_{изб} = Q_{об} + Q_{осв} + Q_л + Q_р - Q_{отд}, ккал/ч, \quad (1.10)$$

где $Q_{об}$, ккал/ч – тепло, выделяемое оборудованием; $Q_{осв}$, ккал/ч – тепло, выделяемое системой освещения; $Q_л$, ккал/ч – тепло, выделяемое людьми в помещении; $Q_р$, ккал/ч – тепло, вносимое за счет солнечной радиации; $Q_{отд}$, ккал/ч – теплоотдача естественным путем.

Определяем количество тепла, выделяемого оборудованием

$$Q_{об} = 860 \times P_{об} \times y_1, \text{ ккал/ч} \quad (1.11)$$

где Y_1 – коэффициент перехода тепла в помещение, зависящий от вида оборудования; $P_{об}$, кВт – мощность, потребляемая оборудованием;

$$P_{об} = P_{ном} \times y_2 \times y_3 \times y_4, \text{ кВт}, \quad (1.12)$$

где $P_{ном}$, кВт – номинальная (установленная) мощность электрооборудования помещения; Y_2 – коэффициент использования установленной мощности, учитывающий превышение номинальной мощности над фактически необходимой; Y_3 – коэффициент загрузки, т.е. отношение величины среднего потребления мощности (во времени) к максимально необходимой; Y_4 – коэффициент одновременности работы оборудования.

При ориентировочных расчетах произведение всех четырех коэффициентов можно принимать равным:

$$y_1 \times y_2 \times y_3 \times y_4 = 0{,}25 \quad (1.13)$$

Определяем количество тепла, выделяемого системой освещения

$$Q_{осв} = 860 \times P_{осв} \times \alpha\beta \times \cos(\varphi), \quad (1.14)$$

где α – коэф. перевода электрической энергии в тепловую для лампы накаливания α = 0,92 – 0,97, люминесцентной лампы α = 0,46 – 0,48; b – коэффициент одновременности работы (при работе всех светильников b = 1); cos (φ) = 0,7 – 0,8 – коэффициент мощности; $P_{осв}$, кВт – мощность осветительной установки.

Определяем количество тепла, выделяемого находящимися в помещении людьми

$$Q_л = N \times q_л, \quad (1.15)$$

где N – количество людей в помещении; $q_л$, ккал/ч – тепловыделения одного человека табл. 1.6 прил. 1.

Определяем количество тепла, вносимого за счет солнечной радиации

$$Q_p = K \times S \times q_{ост}, \quad (1.16)$$

где K – количество окон; S, м^2 – площадь одного окна; $q_{ост}$, ккал/ч – солнечная

радиация через остекленную поверхность табл. 1.7 прил. 1.

Определяем теплоотдачу, происходящую естественным путем. Если нет дополнительных условий, то можно считать ориентировочно, что $Q_{отд} = Q_р$ для холодного и переходного периодов года (среднесуточная температура наружного воздуха ниже +10 ^{o}C). Для теплого периода года (среднесуточная температура воздуха выше +10 ^{o}C) принимаем $Q_{отд} = 0$.

Общий вывод: Среди полученных расчетных значений потребного воздухообмена для вредных веществ и удаления избыточного тепла выбирается наибольшее значение потребного воздухообмена.

Приложение 1

Таблица 1.1

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338-03)

Наименование вредных веществ	ПДКм.р., мг/м^3	ПДКс.с., мг/м^3	Агрегатн состояние
Азота диоксид	0,085	0,04	п
Азота оксид	0,6	0,06	п
Акролеин	0,03	0,03	п
Амилацетат	0,10	0,10	п
Аммиак	0,2	0,04	п
Ацетон	0,35	0,35	п
Бензин (углеводороды)	5,0	1,5	п
Бензол	1,5	0,1	п
Бутан	200	-	п
Бутилацетат	0,1	0,1	п
Винилацетат	0,15	0,15	п
Дихлорэтан	3,0	1,0	п
Ксилол	0,2	0,2	п
Марганец и его соединения	0,01	0,001	а
Метилацетат	0,07	0,07	п
Мышьяк и его неорг. соединения	-	0,003	а
Озон	0,16	0,03	п
Пыль (кремнесодержащая – более 70 %)	0,15	0,05	а
Пыль нетоксичная (фиброгенного действия)	0,5	0,15	а
Ртути хлорид (сулема)	-	0,0003	а
Сажа	0,15	0,05	а
Свинец и его соединения	0,001	0,0003	а
Сернистый ангидрид	0,5	0,15	п
Серная кислота	0,3	0,1	а

Продолжение табл. 1.1

Наименование вредных веществ	ПДКм.р., мг/м^3	ПДКс.с., мг/м^3	Агрегатн состояние
Сероводород	0,008	-	п
Сероуглерод	0,03	0,005	п
Спирт бутиловый	0,16	-	п
Спирт изобутиловый	0,1	0,1	п
Спирт метиловый	1,0	0,5	п
Спирт этиловый	5	5	п
Стирол	0,04	0,002	п
Толуол	0,6	0,6	п
Углерода оксид	5,0	3,0	п
Фенол	0,01	0,003	п
Фтористые соединения (газообразные)	0,02	0,005	п
Хлор	0,1	0,03	п
Хлористый водород	0,2	0,2	п
Этилацетат	0,1	0,1	п

Примечание: п – пары и/или газы; а – аэрозоль

Таблица 1.2

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухерабочей зоны (ГОСТ 12.1.005-88)

Наименование вредных веществ	ПДК., мг/м^3	Класс опасности	Агрегатн. состояние
Азота диоксид	2,0	3	п
Азота оксиды	5,0	3	п
Акролеин	0,2	2	п
Амилацетат	100	4	п
Аммиак	20	4	п
Ацетон	200	4	п
Бензин (углеводороды)	100	4	п
Бензол	15/5	2	п
Бутан	300	4	п
Бутилацетат	200	4	п
Винилацетат	10,0	4	п
Дихлорэтан	10,0	2	п
Ксилол	50,0	3	п
Марганец и его соединения (от 2-30 %)	0,1	2	а
Метилацетат	100	4	п
Мышьяк и его неорг. соединения	0,04/0,01	2	а
Озон	0,1	1	п
Пыль (кремнесодержащая – более 70 %)	1,5	4	а
Пыль нетоксичная (фиброгенного действия)	4,0	4	а
Ртути хлорид (сулема)	0,2/0,05	1	а
Сажа	4,0	3	а
Свинец и его соединения	0,01/0,005	1	а
Серная кислота	1,0	2	а
Сернистый ангидрид	10	3	п
Сероводород	10,0	3	п

Продолжение табл. 1.2

Наименование вредных веществ	ПДК., мг/м^3	Класс опасности	Агрегатн. состояние
Сероуглерод	1,0	3	п
Спирт бутиловый	10,0	3	п
Спирт изобутиловый	10,0	3	п
Спирт метиловый	5,0	3	п
Спирт этиловый	1000	4	п
Стирол	30/10	3	п
Толуол	50	3	п
Углерода оксид	20	4	п
Фенол	0,3	2	п
Фтористые соединения (газообразные)	0,5/0,1	2	п
Хлор	1,0	2	п
Хлористый водород	5,0	1	п
Этилацетат	200	4	п

Примечание: значение в числителе – максимально разовые; в знаменателе – среднесменные

Таблица 1.3

Расходы лакокрасочных материалов на один слой покрытия изделий и содержание в них летучих растворителей

Наименование лакокрасочных материалов/способ нанесения краски	Расход лакокрасочных материалов, *A*, г/м^2	Содержание летучей час- ти, *m*, %
Нитролаки и краски		
Бесцветный аэролак /кистью	200	92
Цветные аэролаки/распыление пульверизатором	180	75
Нитрошпаклевка /кистью	100-180	10-35
Нитроклей /кистью	160	80-85
Масляные лаки и эмали		
Окраска распылением	60-90	35

Таблица 1.4

Количество углекислоты, выделяемой человеком при разной работе

Возраст человека и характер работы	Количество CO_2	
	в л/ч	в г/ч
Взрослые:		
при физической работе	45	68
при легкой работе (в учреждениях)	23	35
в состоянии покоя	23	35
Дети до 12 лет	12	18

Таблица 1.5

Предельно-допустимые концентрации углекислоты

Наименование помещений	Количество CO_2	
	в л/ч	в г/кг
Для постоянного пребывания людей (жилые ком.)	1	1,5
Для пребывания детей и больных	0,7	1
Для учреждений	1,25	1,75
Для кратковременного пребывания людей	2	3

Таблица 1.6

Количество тепловыделений одним человеком при различной работе

Категория тяжести работы		Количество тепловыделений $q_л$, ккал/ч в зависимости от окружающей температуры воздуха			
		15 °С	20 °С	25 °С	30 °С
Легкая	I	100	70	50	30
Средней тяжести	II-а	100	70	60	30
Средней тяжести	II-б	110	80	70	35
Тяжелая	III	110	80	80	35

Таблица 1.7

Солнечная радиация через остекленную поверхность

	Солнечная радиация, $q_{ост}$, ккал/ч от стороны света и широты, град.														
	ЮГ			ЮГО-ВОСТОК ЮГО-ЗАПАД				ВОСТОК ЗАПАД				СЕВЕР, СЕВЕР. ВОСТОК СЕВЕРО-ЗАПАД			
	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65
Окна с двойным остеклением и деревянными рамами	125	125	145	85	110	125	145	125	125	145	145	65	65	65	60
Окна с двойным остеклением и металлическими рамами	160	160	180	110	140	160	180	160	160	180	180	80	80	80	70
Фо- нарь с двойным остеклением и металлическими переплет.	130	160	170	110	140	170	170	160	160	180	180	85	85	85	70

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоиздат, 1982. – 342 с.

2. Каменев П.Н. Отопление и вентиляция. Часть II. Вентиляция. – М.: Издательство литературы по строительству, 1966. – 289 с.

3. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

4. ГН2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2. ОЦЕНКА РИСКА

Цель практического занятия - закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Основы теории безопасности: системный анализ безопасности», и формирование практических навыков расчета индивидуального и группового (социального) риска в конкретных ситуациях.

Общие сведения. Опасность – одно из центральных понятий безопасности жизнедеятельности (БЖД).

Опасность хранят все системы, имеющие энергию, химически или биологически активные компоненты, а также характеристики (параметры), несоответствующие условиям жизнедеятельности человека. Можно сказать, что опасность – это риск неблагоприятного воздействия.

Практика свидетельствует, что абсолютная безопасность недостижима. Стремление к абсолютной безопасности часто вступает в антагонистические противоречия с законами техносферы.

В сентябре 1990 г. в г. Кельне состоялся первый Всемирный конгресс по безопасности жизнедеятельности человека как научной дисциплине. Девиз конгресса: «Жизнь в безопасности». Участники конгресса постоянно оперировали понятием «риск».

Возможны следующие определения риска:

1. Это количественная оценка опасности, вероятность реализации опасности;

2. При наличии статистических данных, это частота реализации опасностей.

Различают опасности реальные и потенциальные. В качестве аксиомы принимаются, что любая деятельность человека потенциально опасна. Реализация потенциальной опасности происходит через ПРИЧИНЫ и приводит к НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫМ ПОСЛЕДСТВИЯМ.

Сейчас перед специалистами ставится задача – не исключение до нуля безопасности (что в принципе невозможно). А достижение заранее заданной величины риска реализации опасности. При этом сопоставлять затраты и получаемую от снижения риска выгоду. Во многих западных странах для более объективной оценки риска и получаемых при этом затрат и выгод, вводят финансовую меру человеческой жизни. Заметим, что такой подход имеет противников, их довод – человеческая жизнь свята, бесценна и какие-то финансовые оценки недопустимы. Тем не менее, по зарубежным исследованиям, человеческая жизнь оценивается, что позволяет более объективно рассчитывать ставки страховых тарифов при страховании и обосновывать суммы выплат.

Поскольку абсолютная безопасность (нулевой риск) невозможна, современный мир пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска.

Суть концепции заключается в стремлении к такой безопасности, которую принимает общество в данное время. При этом учитывается уровень технического развития, экономические, социальные, политические и др. возможности. Приемлемый риск – это компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения. Это можно рассмотреть в следующей ситуации. После крупной аварии на Чернобыльской АЭС, правительство СССР решило повысить надежность всех ядерных реакторов. Средства были взяты из госбюджета и, следовательно, уменьшилось финансирование социальных программ здравоохранения, образования и культуры, что в свою очередь привело к увеличению социально-экономического риска. Поэтому следует всесторонне оценивать ситуацию и находить компромисс – между затратами и величиной риска.

Переход к «риску» дает дополнительные возможности повышения безопасности техносферы. К техническим, организационным, административным добавляются и экономические методы управления риском (страхование, денежные компенсации ущерба, платежи за риск и

др.). Есть здравый смысл в том, чтобы законодательно ввести квоты за риск. При этом возникает проблема расчета риска: статистический, вероятностный, моделирование, экспертных оценок, социологических опросов и др. Все эти методы дают приблизительную оценку, поэтому целесообразно создавать базы и банки данных по рискам в условиях предприятий, регионов и т.д.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с общими сведениями. Записать определения.
2. Выполнить практические задачи.

Практические задачи

Задача 1. В таблице 2.0 приведен ряд профессий по степени индивидуального риска фатального исхода в год. Используя данные табл.1 методом экспертных оценок охарактеризуйте вашу настоящую деятельность и условия вашей будущей работы.

Таблица 2.0

Классификация профессиональной безопасности

Категория	Условия профессиональной деятельности	Риск смерти (на человека в год)	Профессия
1	Безопасные	$1 \cdot 10^{-4}$	Текстильщики, обувщики, работники лесной промышленности, бумажного производства и др.
2	Относительно безопасные	$1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$	Шахтеры, металлурги, судостроители и др.
3	Опасные	$1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-2}$	Рыбопромысловики, верхолазы, трактористы и др.
4	Особо опасные	больше $1 \cdot 10^{-2}$	Летчики-испытатели, летчики реактивных самолетов.

После обсуждения письменно сформулируйте свою оценку.

Для решения следующих задач используйте формулу определения индивидуального риска

$$P = \frac{h}{H}, \qquad (2.1)$$

где Р – индивидуальный риск (травмы, гибели, болезни и пр.); h – количество реализации опасности с нежелательными последствиями за определенный период времени (день, год и т.д.); Н – общее число участников (людей, приборов и пр.), на которых распространяется опасность.

Пример решения задачи по формуле (2.1).

Пример. Задача 1. Ежегодно неестественной смертью гибнет 250 тыс. человек. Определить индивидуальный риск гибели жителя страны при населении в 150 млн. человек.

Решение.

$Рж = 2{,}5 \cdot 10^{5} / 1{,}5 \cdot 10^{8} = 1{,}7 \cdot 10^{-3}$

Или будет 0,0017. Иначе можно сказать, что ежегодно примерно 17 человек 10000 погибает неестественной смертью. Если пофантазировать и предположить, что срок биологической жизни человека равен 1000 лет, то по нашим данным оказывается, что уже через 588 лет (1:0,0017) вероятность гибели человека неестественной смертью близка к 1 (или 100%).

Примечание. Здесь и в задачах №2,3 данные приближены к России.

Задача 2. Опасность гибели человека на производстве реализуется в год 7 тыс. раз. Определить индивидуальный риск погибших на производстве при условии, что всего работающих 60 млн. человек. Сравните полученный результат с вашей экспертной оценкой из задачи 1.

Задача 3. Определить риск погибших в дорожно-транспортном происшествии (ДТП), если известно, что ежегодно гибнет в ДТП 40 тыс. человек при населении 150 млн. человек.

Задача 4. Используя данные индивидуального риска фатального

исхода в год для населения США (данных по России нет), определите свой индивидуальный риск фатального исхода на конкретный год. При этом можно субъективно менять коэффициенты и набор опасностей.

Таблица 2.1

Индивидуальный иск гибели в год

Причина	Риск	Причина	Риск
Автомобильный транспорт	$3 \cdot 10^{-4}$	Воздушный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
Падения	$9 \cdot 10^{-5}$	Падающие предметы	$6 \cdot 10^{-6}$
Пожар и ожог	$4 \cdot 10^{-5}$	Электрический ток	$6 \cdot 10^{-6}$
Утопление	$3 \cdot 10^{-5}$	Железная дорога	$4 \cdot 10^{-6}$
Отравление	$2 \cdot 10^{-5}$	Молния	$5 \cdot 10^{-7}$
Огнестрельное оружие	$1 \cdot 10^{-5}$	Все прочие	$4 \cdot 10^{-5}$
Станочное оборудование	$1 \cdot 10^{-5}$	Ядерная энергетика	$2 \cdot 10^{-10}$
Водный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$	(пренебрегаемо мал. риск)	

Риск общий для американца: $P_{общ} = 6 \cdot 10^{-4}$

Сравнить полученный результат с результатом примера решения.

Задачи на риск гибели неестественной смертью в России и с риском гибели в год для американца ($P_{общ}$).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русак О.Н. Труд без опасности. Л. «Лениздат», 1986, 191 с.

2. Береговой Г.Т. и др. Безопасность космических полетов. М., «Машиностроение», 1977, 320 с.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель практического занятия :закрепление теоретических знаний, полученных при изучении раздела “Гелиофизические и метеорологические фактора: микроклимат производственных помещений”, и формирование практических навыков расчета метеорологических условий в производственном помещении и гигиенической оценки параметров микроклимата.

Общие сведения:

Одним из основных условий эффективной производственной деятельности человека является обеспечение нормальных метеорологических условий в помещениях. Параметры микроклимата оказывают существенное влияние на терморегуляцию организма человека и могут привести кпереохлаждение или перегреву тела

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, определяемый действующими на организм человека факторами: сочетанием температуры воздуха, относительной влажности, скорости движения воздуха, интенсивности теплового облучения, температуры поверхности ограждающих конструкций (стены, пол, потолок, технологическое оборудование и т.д

Под рабочей зоной понимается пространство высотой до 2м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания рабочих.

Причиной ряда заболеваний является местное и общее охлаждение. Переохлаждение организма ведет к простудным заболеваниям: ангине, катару верхних дыхательных путей, пневмонии. Установлено, что при

переохлаждении ног и туловища возникает спазм сосудов слизистых оболочек дыхательного тракта.

Перегревание возникает при избыточном накоплении тепла в организме, которое возникает при действии повышенных температур. Основными признаками перегревания являются повышение температуры тела до 38°Си более, обильное потоотделение, слабость, головная боль, учащение дыхания и пульса, изменение артериального давления и состав крови, шум в ушах, искажение цветового восприятия

Тепловой удар – это быстрое повышение температуры тела 40°С и выше. В этом случае падает артериальное давление, потоотделение прекращается, человек теряет сознание.

Организм человека обладает свойством терморегуляции – поддержание температуры тела в определенных границах (36,1…37,2°С) Терморегуляция обеспечивает равновесие между количеством тепла, непрерывно образующегося в организме человека в процессе обмена веществ, теплопродукцией и излишком тепла, непрерывно выделяемого в окружающую среду, - теплоотдачей, т.е сохраняет тепловой баланс организма человека. Количество выделившейся теплоты меняется от 8Вт до 50 Вт.

Теплопродукция. Тепло вырабатывается всем организмом, но в наибольшей степени в мышцах и печени. В процессе работы в организме происходят различные биохимические процессы, связанные с деятельностью мышечного аппарата и нервной системы. Энергозатраты человека, выполняющего различную работу, могут быть классифицированы на категории.

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма: легкие физические работы, средние физические работы, тяжелые физические работы.

К категории 1а относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 139 Вт, выполняемые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

К категории 1б относятся работы с интенсивностью энергозатрат 140…174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (в полиграфической промышленности, на часовом, швейном производствах, в сфере управления)

К категории 2а относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233…232 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой, перемещением мелких изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения.

К категории 2б относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233…290 Вт, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

К категории 3 относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 290 Вт, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий.

Теплоотдача. Количество тепла, отдаваемого организмом человека, зависит от температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Теплоотдача осуществляется путем радиации, конвекции, испарения пота и дыхания. Для человека, находящегося в состояние покоя и одетого в обычную комнатную одежду, соотношение составляющих теплоотдачи имеет следующие распределения, % радиацией – 45, конвекцией – 30, испарением и дыханием – 25.

Основное значение имеет регулирование теплоотдачи, так как она является наиболее изменчивой и управляемой. Комфортные тепло ощущения у человека возникают при наличии теплового баланса организма, а также при условии его некоторого нарушения. Это обеспечивается тем, что в организме человека имеется некоторый резерв тепла, который используется им в случае охлаждения. Этот потенциальный запас тепла составляет в среднем 8360 кДж и находится главным образом во внешних слоях тканей организма на глубине 2-3

см от кожи. При известном уменьшении запаса тепла у человека появляются субъективно ощущения «прохлады», которые, если охлаждение продолжается, сменяются ощущениями «холодно», «очень холодно»

Действующими нормативными документами, регламентирующими метеорологические условия производственной среды, являются ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» Этими документами установлены влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений с учетом избытков явного тепла, тяжести выполняемой работы и сезонов года.

В соответствии с вышеуказанным стандартом теплым периодом года считается сезон, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха +10 °С.

Допустимыми считаются такие параметры микроклимата, которые при длительном воздействии могут вызывать напряжения реакции терморегуляции человека, но к нарушению состояния здоровья не приводят.

Оптимальными являются такие микроклиматические параметры, которые не вызывают напряжения реакций терморегуляции и обеспечивают высокую работоспособность человека.

Расчет показателей микроклимата базируются на опытных данных о давлении, температуре и скорости движения воздуха на рабочем месте полученных при замерах на нем с помощью соответствующих приборов

Показатели микроклимата вычисляются в следующей последовательности:

1. Атмосферное давление В, Па, на рабочем месте, измеренное с помощью барометра-анероида БАММ-1

$$B = B_п + B_ш + B_т + B_д\,, \qquad (3.1)$$

где В– исправленное значение замеренного давления, Па; Вп – отсчет по прибору, Па; Вш – шкаловая поправка;Вт – температурная поправка, равная произведению температуры прибора на удельную температуру поправки прибора; Вд – добавочная поправка, Па.



Рис. 3.1 Барометр-анероид «БААМ-1»

Барометр-анероид «БААМ-1» измеряет атмосферное давление в наземных условиях в диапазоне температур от 0 до +40 С° и при относительной влажности воздуха более 80%

2. Температура воздушной среды измеряется с помощью ртутных или спиртовых термометров, а также с помощью термографов, обеспечивающих непрерывную запись температуры на ленте за определенный период времени. Температуру воздушной среды можно измерить также с помощью психрометров и термометров

3. Влажность воздуха – абсолютная и относительная определяется с помощью психрометров. Психрометр состоит из сухого и влажного термометров. Резервуар влажного термометра покрыт тканью, которая опущена в мензурку с водой. Испаряясь, вода охлаждает влажный термометр, поэтому его показания всегда ниже показания сухого.

Психрометры бывают типа Августа (Рис 3.2) и переносными, типа Ассмана (Рис 3.3). Психрометр Ассмана является более совершенным и точным прибором по сравнению с психрометром Августа. Принцип его устройства тот же, но термометры заключены в металлическую оправу, шарики термометра находятся в двойных металлических гильзах, а в головке прибора помещается вентилятор с постоянно скоростью 4 м/с.

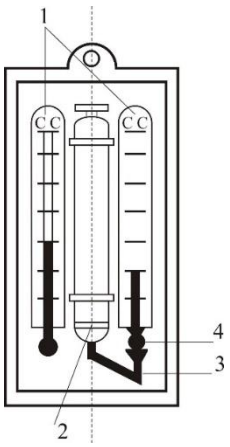


Рис. 3.2 Психрометры Августа

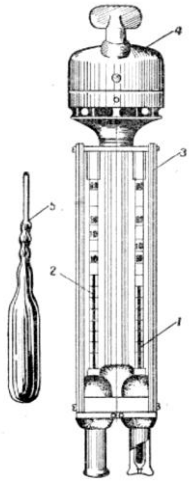


Рис. 3.3 Психрометр Ассмана

Влажность воздуха может быть рассчитана: 1) по давлению водяного пара, находящегося в воздухе или 2) по плотности водяного пара

При первом способе сначала определяется давление водяного параЮ находящегося в воздухе при данной температуре

$$P_{в.п} = P_{н.в} - c(T_c - T_B)B \qquad (3.2)$$

где Рн.в– давление насыщенного водяного пара при температуре tв, зафиксированной влажным термометром, Па;с–коэффициент психрометра, зависящий от скорости движения воздуха около шарика мокрого термометра (при скорости движения воздуха до 4 м/с принимают с = 0.00074, свыше 4 м/с – 0,00066) tc и tв – температура сухого и влажного термометра,В–

барометрическое давление воздуха в момент измерения температур психрометром, Па

Определив порациональнее давление водяного пара, находят относительную влажность воздуха

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

где $P_{н.с}$– давление насыщенного водяного пара при температуре t_c, зафиксированной влажным термометром,

При расчете влажности воздуха по плотности водяного пара определяются:

а) абсолютная влажность воздуха (масса водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре)

$$F = \frac{(1000 * P_{в.п})}{(461{,}5(273 + t_c))}, \quad (3.4)$$

где 461,5 – удельная газовая постоянная водяного пара Дж/(кг *К);

б) максимальная абсолютная влажность воздуха

$$A_{max} = \frac{1000 * P_{н.с}}{461{,}5 * (273 + t_c)}, \quad (3.5)$$

в) относительная влажность воздуха φ

$$\varphi = \frac{A}{A_{max}} * 100, \quad (3.6)$$

Таблица 3.0

Давление насыщенного водяного пара Р, Па при температуре воздуха

t, С	Р, Па	t, С	Р, Па	t, С	Р, Па	t, С	Р, Па
0	611	10	1228	20	2328	30	4242
1	657	11	1312	21	2486	31	4493
2	705	12	1403	22	2644	32	4754
3	759	13	1497	23	2809	33	5030
4	813	14	1599	24	2894	34	5320
5	872	15	1705	25	3168	35	5624
6	935	16	1817	26	3361	36	5941

7	1001	17	1937	27	3565	37	6275
8	1073	18	2064	28	3780	38	6625
9	1148	19	2197	29	4005	39	6991

Значение относительной влажности φ, найденного описанными способами, может быть проверено по данным психометрической таблицы

4. Скорость движения воздуха измеряется с помощью крыльчатых или чашечных анемометров (Рис 3.4). Крыльчатый анемометр принимается для измерения скорости воздуха до 10 м/с, а чашечный – до 30м/с. Принцип действия анемометров обоих типов основан на том, что частоты вращения крыльчатки тем больше, чем больше скорость движения воздуха. Вращение крыльчатки передается на счетный механизм. Разница в показаниях до и после измерения, деленная на время наблюдения, показывает число делений в 1 с. Специальный тарировочный паспорт, предлагаемый к каждому прибору позволяет по вычисленной величине делений определить скорость движения воздуха.



Рис 3.4 Чашечный анемометр

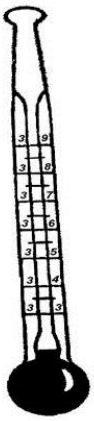


Рис. 3.5 Кататермометр

Скорость движения воздуха в интервале величин от 0.1 до 0.5 м/с можно определить с помощью кататермометра (Рис.3.5). Шаровой кататермометр представляет собой стартовый термометр с двумя резервуарами: шаровым внизу и цилиндрическим вверху. Шкала кататермометра имеет давление от 31 до 41 градуса. Для работы с этим прибором его предварительно нагревают на водяной бане, затем вытирают насухо и помещают в исследуемое место. По величине падения столба спирта в единицу времени на кататермометре при его охлаждении судят о скорости движения воздуха. Для измерения малых скоростей (от 0.03 до 5 м/с) при температуре в производственных помещениях не ниже 10С применяется термоанемометр. Это электрический прибор на полупроводниках, принцип его действия основан на измерении величины сопротивления датчика при изменении температуры и скорости движения воздуха.

Таблица 3.1

Значения относительной влажности

t_c °C	Разность показаний сухого и влажного термометров t_c - t_b °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Относительная влажность φ, %									
0	100	81	63	45	28	11				

1	100	83	65	48	32	16				
2	100	84	68	51	35	20				
3	100	84	69	54	39	24	10			
4	100	85	70	56	42	28	14			
5	100	86	72	58	45	32	19	6		
6	100	86	73	60	47	35	23	10		
7	100	87	74	61	49	37	26	14		
8	100	87	75	63	51	40	29	18	7	
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11	
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5

Продолжение табл. 3.1

11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41

28	100	93	85	78	71	65	59	52	48	42
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44

Скорость движения воздуха V, м/с , при замере ее анемометром АСО-3 подсчитывается по формуле

$$V = an + b, \quad (3.7)$$

где n число делений в 1 с; $n = \frac{n_к - n_н}{t_{зам}}$; $n_н$ и $n_к$ – начальный и конечный отсчеты по анемометру; t зам – продолжительность замера по прибору.

При выполнении настоящего практического занятия рекомендуется использовать формулу:

$$V = 0{,}45n + 0{,}01$$

5. Гигиеническая оценка результатов расчета параметров микроклимата: производится по санитарным нормам, приведенным в ГОСТ 12.1.005-88.

Таблица 3.2

Оптимальные нормы температуры, относительно влажности и скорости движения воздуха по рабочей зоне производственных помещений

Период Года	Категория Работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха м/с не более
Холодный (температура наружного воздуха ниже +10°С)	Легкая – 1	22-24	40-60	0,1
	Легкая – 1б	21-23	40-60	0,1
	Средней тяжести – Па	18-20	40-60	0,2
		17-19	40-60	0,2
	Средней тяжести – Пб	16-18	40-60	0,3
	Тяжелая – III			

Теплый (температура наружного воздуха +10°С и выше)	Легкая – 1а	23-25	40-60	0,1
	Легкая – 1б	22-24	40-60	0,2
	Средней тяжести – Па	21-23	40-60	0,3
	Средней тяжести – Пб	20-22	40-60	0,3
	Тяжелая - III	18-20	40-60	0,4

Пример расчета:

Исходный данные: B_n= 87937 Па,$B_ш$ = -50 Па, t_c = 22 °С, t_c = 16 °С, $\Delta t = -\frac{10Па}{°С}$, $B_д$= +100 Па, $n_н$=6000, t зам= 200с, период года – теплый.

Решение:

1. Атмосферное давление на рабочем месте (при температурной поправке)

$$B_т = t_c * \Delta t = 22(-10) = -220\ Па$$

$$B = B_n + B_ш + B_т + B_д = 87837 - 50 - 220 + 110 = 87667\ Па.$$

2. Скорость движения воздуха по исходным данным, полученным при помощи анемометра АСО-3. При числе давлений в 1с

$$n = \frac{n_к - n_н}{t_{зам}} = 6040 - \frac{6000}{200} = 0{,}2\ дел/с$$

Скорость движения воздуха составляет;

$$V=0{,}45n + 0{,}01 = 0{,}45 * 0{,}2 + 0{,}01 = 0{,}10\ м/с$$

3. Относительная влажность воздуха по давлению водяного пара. При давлении насыщенного водяного пара при температуре сухого термометра Рн.с = 2644 Па и температуре влажного термометра Р н.в = 1817 Па и парциальном давлении водяного пара в воздухе:

$$P_{в.п} = P_{н.в} - C(t_c - t_в) * B = 1817 - 0{,}00074 * (22 - 16) * 87837 = 1427\ Па$$

относительная влажность воздуха:

$$\varphi = \frac{P_{в.п}}{P_{н.с}} 100 = \frac{1427}{2644} 100 = 54\%$$

3б. Относительная влажность воздуха по плотности (массе) водяного пара. При абсолютной влажности воздуха:

$$A = \frac{1000 * P_{в.п}}{461{,}5(273 + t_c)} = \frac{1000 * 1527}{461{,}5(273 + 22)} = 10{,}48 \text{ г/м}^3$$

И максимальной влажности воздуха:

$A_{max} = \frac{1000 * P_{н.с}}{461{,}5(273+t_c)} = \frac{1000*2644}{461{,}5(273+22)} = 19{,}42 \text{ г/м}^3$относительная влажность воздуха равна:

$$\varphi = \frac{A}{A_{max}} 100 = \frac{10{,}48}{19{,}42} 100 = 54\%$$

3в. Правильность произведенных подсчетов φ подтверждают данные таблицы. При разности показаний сухого и влажного термометров Тс – Тв = 22 – 16 = 6 ℃ относительная влажность воздуха φравна 54%

Варианты заданий

Для выполнения задания даются следующие показатели: отсчет по барометру Вп Температура воздуха по сухому (Тс) и влажному (Тв) термометрам психрометра, начальный (Nн) и конечный (Nк) отсчеты по анемометру, продолжительность замера скорости движения воздуха Тзам, период года (холодный, теплый) Для отсчета скорости движения воздуха использовать формулу

$$V = 0{,}45n + 0{,}01$$

Интенсивность теплового излучения на рабочем месте полагать равной 50 Вт/м^2. Числовые значения исходных данных приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Числовые значения поправок к барометру

вариант	Вв, Па	Вш, Па	$\Delta t, Па/°C$	Ва, Па	Тс, °С	Тв,°С	Nн	Nк	Т зам, °С	Период года
1	110146	-100	-10	+100	23	18	6000	6246	140	Холодный
2	105752	-100	-10	+100	22	16	6107	6138	155	То же
3	97989	+75	-10	+100	18	13	6357	6407	160	То же
4	90498	+25	-10	+100	17	11	6841	6909	170	То же
5	94232	+150	-10	+100	16	11	6944	7051	200	То же
6	103379	-50	-10	+100	24	17	6107	6387	150	Теплый
7	107509	-100	-10	+100	23	17	6305	6696	187	То же
8	89371	0	-10	+100	22	15	6421	6501	190	То же
9	94263	+150	-10	+100	20	15	6725	6830	175	То же
10	96946	+100	-10	+100	19	12	6100	6176	11	То же

Порядок выполнения работы

1. Расчет и оформление практической работы провести в соответствии с примером расчета. Варианты заданий определяются пр-ем.

2. Результаты расчетов микроклимата на рабочем месте в производственном помещении занести в таблицу.

Таблица 3.4

Пример заполнения таблицы

Температура воздуха		Относительная влажность %		Скорость движения воздуха	
Фактически данная	Оптимальная по нормам	Фактически рассчитанная	Оптимальная по нормам	Фактически рассчитанная	Оптимальная по нормам

3. На основании полученных результатов определить категорию работ, в соответствии с периодом года.

4. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под микроклиматом производственных помещений?
2. Опишите характер действия климатических факторов на организм человека.
3. В чем состоит нормирование воздействий климатических факторов на человека?
4. Как определяют давление, температуру, относительную влажность и скорость движения воздуха?
5. Назовите способы и средства нормализации микроклимата на рабочих местах.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ И БОРЬБА С ИЗБЫТОЧНЫМ ТЕПЛОМ В ШАХТАХ

Цель практического занятия - закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Комфортные условия жизнедеятельности», и овладение методикой расчета тепловыделений в выработки глубоких шахт и выбора технических решений по борьбе с избыточным теплом.

Общие сведения. Климатические условия в подземных выработках, особенно в глубоких шахтах, как правило, отличаются от климатических условий на земной поверхности. Микроклимат горных выработок (т. е. действующее в них на организм человека сочетание температуры, влажности, скорости движения воздуха, его давления и температуры окружающих поверхностей) в значительной степени зависит от теплообменных процессов, происходящих на пути движения воздуха. Под воздействием этих процессов температура шахтного воздуха в выработках существенно повышается с увеличением глубины ведения горных работ.

Нагревание воздуха, движущегося по горным выработкам, происходит в результате:

- теплообмена между потоком шахтного воздуха и окружающим выработки массивом горных пород, т. е. охлаждения пород;
- естественного адиабатического сжатия воздуха при движении его вниз по вертикальным и наклонным выработкам;
- изменения содержания влаги в воздухе;
- теплообмена между воздухом и подземной водой, текущей по выработкам;
- окисления угля, угольной пыли, сульфидных руд, крепежного леса и некоторых других веществ;
- охлаждения отбитых и транспортируемых масс угля и породы;
- работы горных машин и механизмов;
- выделения тепла осветительными установками, электрическими кабелями, трубопроводами сжатого воздуха, телом человека, а также действия других второстепенных факторов.
- Вызванное перечисленными факторами приращение температуры шахтного воздуха (оС = К), может быть определено из выражения

$$\Delta t = \frac{\Sigma Q_i}{C_p \rho V}, \qquad (4.1)$$

где $\sum Q_i$ - суммарное количество теплоты, идущее на нагревание воздуха, кДж/ч; C_p - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·К); ρ - плотность воздуха, кг/м^3; V - объемный расход воздуха, м^3/ч.

Шахтный воздух уже при температуре свыше 25 °С оказывает отрицательное тепловое воздействие на физиологию и гигиену труда подземных рабочих. При задержке отдачи телом человека накопившегося в нем тепла возникает перегрев организма, осложняющий протекание жизненных процессов. Чрезмерный перегрев организма вызывает ухудшение самочувствия человека, приводит к серьезным заболеваниям (в наиболее тяжелых случаях - к

тепловому удару, или стрессу, или даже к смерти), увеличивает вероятность травматизма, снижает производительность труда.

Изменение температуры воздуха (и других параметров микроклимата) в подземных выработках оказывает влияние также на физико-механические свойства горных пород и на безопасное состояние сооружений и выработок.

Расчет выделения теплоты в выработки глубоких шахт ведется по следующим зависимостям.

1. Тепловыделение при охлаждении горных пород. Количество теплоты $Q_{охл}$, кДж/ч, выделяющееся вследствие охлаждения окружающих выработку горных пород, описывается уравнением Ньютона для конвективного теплообмена

$$Q_{охл} = K_{\tau} P l (t_{п} - t_{в}), \qquad (4.2)$$

где K_{τ} - коэффициент нестационарного теплообмена между массивом горных пород и воздухом, кДж/(м^2·ч·К) (рассчитывается по формуле, приводимой ниже); P и l - периметр и длина выработки, м; $t_{п}$ - естественная температура неохлажденных пород на данной глубине, (^{o}C = K, расчет приводится ниже); $t_{в}$= $t_{пб}$ - допустимая температура воздуха в выработке, ^{o}C (принимается согласно Правилам безопасности).

Коэффициент K_{τ}, кДж/(м^2·ч·К) определяется по формуле

$$K_{\tau} = \frac{\lambda}{1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 R_э}} \cdot \left[\frac{1}{2R_э} + \frac{1}{\sqrt{\pi a \tau (1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 R_э})}} \right], \qquad (4.5)$$

где λ - коэффициент теплопроводности породы, кДж/(м·ч·К) (принимается по табл. 3.1); α_0 - суммарный коэффициент теплоотдачи от стен шахтной выработки к воздуху, кДж/(м^2·ч·К) (расчет ниже); $R_э$ - эквивалентный радиус выработки, м: $R_э = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 0.564\sqrt{S}$, a - коэффициент температуропроводности

породы, м^2/ч: $\alpha = \frac{\lambda}{c_п \cdot \rho_п}$ (принимается по табл. 3.1); $c_п$ - удельная теплоемкость породы, кДж/(кг·К) (принимается по табл. 3.1); $\rho_п$ - плотность породы, кг/м^3 (принимается по табл. 3.1); τ - расчетное время процесса теполообмена, ч (например, при длительности процесса теплообмена 4 года значение τ = 4·365·24 = = 35040 ч).

Таблица 4.0

Тепловая характеристика пород

Порода	ρ, кг/м^3	$c_п$, кДж/(кг·К)	λ, кДж/(м·ч·К)	a, м^2/ч
Песчаник (Центральный Донбасс)	2475	0,854	9,211	0,00436
Глинистые и песчанистые сланцы (там же)	2450	0,904	6,363	0,00287
Уголь (там же)	1225	1,184	1,051	0,00073
Бурый уголь (Челябинский бассейн)	1210	1,130	0,913	0,00067
Каменный уголь (Карагандинский бассейн)	1275	1,055	0,963	0,00072
Углистый сланец	1765	1,021	3,006	0,00167
Глинистый сланец	2433	0,992	3,354	0.00139
Змеевик	2690	0,950	5,694	0,00223
Гранит	2722	0,917	7,972	0.00319
Серный колчедан (Дегтярское месторождение)	4620	0,908	15,010	0,00358
Медный колчедан (там же)	4716	0,862	15,165	0,00373

Суммарный коэффициент теплоотдачи с поверхности горной выработки α_0, кДж/(м^2·ч·К), находится их выражения

$$\alpha_0 = \alpha_к + \alpha_и,$$

где $\alpha_к$ - конвективный коэффициент теплоотдачи от стен выработки к воздуху, кДж/(м^2·ч·К)

$$\alpha_к = 2{,}9 \cdot 4{,}1868 \frac{V^{0.8}}{Д_э^{0,2}} = 12{,}14 \frac{V^{0.8}}{Д_э^{0,2}}$$

где v - скорость движения воздуха в выработке, м/с; $Д_э$ - эквивалентный диаметр выработки, м: $Д_э = \frac{4S}{P}$; $\alpha_и$ - коэффициент, учитывающий испарения влаги с мокрых стен выработки, кДж/(м^2·ч·К)

$\alpha_и = 1{,}3\beta \cdot r$,

где β - коэффициент массоотдачи (коэффициент испарения), кг/(м^2·ч·К), принимается равным 0,01 - для стволов, 0,15 - для капитальных выработок, 0,03 - для лав; r - теплота парообразования воды, принимается r = 2256 кДж/кг.

Температура горных пород в массиве $t_п$, °С, на заданной глубине H, м, от земной поверхности определяется по формулам:

$$t_п = h \cdot t_н + \frac{H - H_0}{Г_{ст}} \text{ или } t_п = h \cdot t_н + (H - H_0)\delta, \qquad (4.6)$$

где $t_п$ - температура пород нейтрального слоя (зоны с постоянной температурой пород) в данной местности; принимается примерно равной среднегодовой температуре воздуха на земной поверхности в данном районе, °С; $t_н$ = 8,5; 2,5; 2,5; 3,0 °С для условий соответственно Донбасса, Кузбасса, Караганды и Мосбасса; H_0 - глубина (толщина) нейтрального слоя, м: H_0 = 20-40 м; $Г_{ст}$ - геотермическая ступень данного района, м/°С: в среднем $Г_{ст}$ составляет для угольных месторождений 30–40 м/ °С, рудных 50-140 м/ °С, нефтяных 15-20 м/ °С; δ - геотермический градиент, °С/м.

2. Тепловыделение при сжатии воздуха. Количество теплоты $Q_{сж}$, кДж/ч, выделяющееся при движении воздуха вниз по вертикальным и наклонным выработкам, определяется выражением

$$Q_{сж} = 9{,}81 \cdot \rho \frac{V_в \cdot H}{1000} = 0{,}00981 \cdot \rho \cdot V_в \cdot H, \qquad (4.7)$$

где ρ - плотность воздуха, кг/м^3; $V_в$ - количество воздуха, проходящего по выработке (объемный часовой расход воздуха), м^3/ч: $V_в = 3600 \cdot v \cdot S$;

v - скорость движения воздуха в выработке, м/с; S - площадь поперечного сечения выработки, м^2; H - глубина расположения выработки, м; для наклонной выработки

$$H = l_н \cdot sin\,\psi, \tag{4.8}$$

где $l_н$ - длина наклонной выработки; ψ - угол наклона выработки, град.

3. Тепловыделение при окислительных процессах. Количество теплоты $Q_{ок}$, кДж/ч, образующееся при окислении угля, угленосных сланцев, сульфидных руд и древесины, подсчитывается по формуле А. Ф. Воропаева

$$Q_{ок} = q_{ок} \cdot V^{0,8} \cdot P \cdot l, \tag{4.9}$$

где $q_{ок}$ - тепловыделение в результате окислительных процессов, приведенное к скорости движения воздуха в выработке, V = 1 м/с, кДж/(м^2·ч); $q_{ок}$ можно принимать равным 12-21 кДж/(м^2·ч).

4. Тепловыделение от местных источников. К местным источникам теплоты относят электродвигатели, трансформаторы, светильники, электрические кабели, трубопроводы сжатого воздуха, пневматические двигатели, другие тепловыделяющие машины, механизмы и устройства, а также работы, производимые с применением бетона на участке выработки или в призабойной зоне, когда тепло выделяется при его отвердении.

Расчетные формулы для определения количества теплоты от местных источников имеют следующий вид:

4.1. Тепловыделение при работе ***электродвигателей*** горных машин и освещения $Q_{эд}$, кДж/ч

$$Q_{эд} = \frac{3600 \cdot N_{потр} \cdot k_з}{\eta_э}, \tag{4.10}$$

где $N_{потр}$ - потребляемая мощность электродвигателей и осветительных установок, кВт; $k_з$ - коэффициент загрузки оборудования во времени: $k_з$ = 0,8; $\eta_э$ - к. п. д. электродвигателя: $\eta_э$ = 0,95.

4.2. Тепловыделение в выработку (ствол, уклон, бремсберг и др.) при эксплуатации ***лебедок*** $Q_л$, кДж/ч:

- при подъеме груза лебедкой $Q_{лп} = 3600 \cdot N_л \cdot k_з(1 - \eta_м)$;

- при спуске груза лебедкой $Q_{лс} = 3600 \cdot N_л \cdot k_з$.

где $N_л$ - установленная мощность электродвигателя лебедки, кВт; $\eta_м$ - механический к. п. д.: $\eta_м = 0,8$.

4.3. Тепловыделение при работе ***трансформатора*** $Q_{тр}$, кДж/ч

$$Q_{тр} = 3600 \cdot N_{тр} \cdot p_{тр}, \quad (4.11)$$

где $N_{тр}$ - мощность трансформатора, кВт; $p_{тр}$ - тепловые потери трансформатора: $p_{тр} = 0,04 \div 0,05$.

4.4. Тепловыделение при затвердевании монолитной ***бетонной крепи*** $Q_б$, кДж/ч

$$Q_б = q_б \cdot P \cdot l_ц, \quad (4.12)$$

где $q_б$ - удельное выделение теплоты при отвердевании бетона, кДж/(м^2·ч); принимается $q_б = 200 \div 400$ кДж/(м^2/ч); P - периметр выработки, м; $l_ц$ - длина участка бетонирования, контактирующего с вентиляционной струей за один цикл проходки, м.

4.5. Тепловыделение при ***взрыве ВВ***. В выработке большого сечения при использовании более 100 кт ВВ тепловыделение при взрыве $Q_{взр}$, кДж/ч, рассчитывается по формуле

$$Q_{взр} = 0,8 \cdot q_{взр} \cdot m_з, \quad (4.13)$$

где $q_{взр}$ - удельное тепловыделение при взрыве 1 кг ВВ, кДж/кт; $m_з$ - масса заряда, кг.

Таблица 4.1

Рекомендуемые значения $q_{взр}$ для применяемых ВВ

Аммонит ПЖВ-20	3360		Аммонит АП-5ЖВ	3780

Угленит Э-6	2570		Аммонит скальный №1	5400
Победит ВП-4	3810		Аммонит № 6 ЖВ	4290
Аммонит АП-4ЖВ	3560		Игданит	3790

4.6. Тепловыделение при работе шахтных ***вентиляторов*** происходит в результате работы электродвигателя, внутренних потерь энергии в вентиляторе и аэродинамического сжатия воздуха. Количество теплоты $Q_{вен}$, кДж/ч, поступающее в выработку при работе вентилятора, выражается формулой

$$Q_{вен} = 3600 \cdot V_{вс} \frac{h_в}{1000\eta_{ву}} = 3{,}6 \cdot V_{вс} \frac{h_в}{\eta_{ву}}, \quad (4.14)$$

где $V_{вс}$ - количество воздуха, проходящего по выработке (секундный расход), м^3/с; $h_в$ - депрессия выработки, Па;

$$h_в = \alpha_в \cdot P \cdot l \frac{v^2}{S}, \quad (4.15)$$

где $\alpha_в$ - коэффициент аэродинамического сопротивления трения выработки, Н·с^2/м^4 = Па· с^2/м^2; P, l, S - периметр, длина и площадь поперечного сечения выработки, м, м, м^2; v - средняя скорость движения воздуха по выработке, м/с;

$$\eta_{ву} = \eta_в \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_п, \quad (4.16)$$

$\eta_в$ = 0,6÷0,8; $\eta_{дв}$ = 0,85÷0,95 и $\eta_п$ - к. п. д. соответственно вентиляторной установки, вентилятора, двигателя и редукторной ($\eta_п$ = 1) или ременной ($\eta_п$ = = 0,9÷0,95) передач.

Подставляя (4.15) в (4.16) и учитывая, что

$$V_{вс} = v \cdot S \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.17)$$

получим (кДж/ч)

$$Q_{вен} = 3{,}6 \cdot \alpha_в \cdot P \cdot l \frac{v^3}{\eta_{ву}}. \quad (4.18)$$

4.7. Тепловыделение при работе ***людей*** $Q_л$, кДж/ч

$$Q_л = q_л \cdot n_л, \quad (4.19)$$

где $q_л$ - количество теплоты, выделяемое работающим человеком, кДж/ч·чел $q_л$ = 1050÷2500 кДж/ч·чел.; $n_л$ - число одновременно работающих людей в выработке.

5. Общее тепловыделение в выработку $Q_{общ}$, кДж/ч, находится суммированием всех частных выделений теплоты

$$Q_{общ} = \sum_{i=1}^{n} Q_i \quad (4.20)$$

Способы искусственного охлаждения шахтного воздуха

Целью искусственного охлаждения шахтного воздуха является отвод определенного («излишнего») количества теплоты от него при помощи охлаждающего вещества. Тепло от воздуха можно отвести путем соприкосновения последнего с какой-либо холодной поверхностью или путем смешения его с газообразной струей, имеющей температуру ниже температуры воздуха.

Борьба с избыточным выделением теплоты в горные выработки ведется по нескольким направлениям:

- предохранение воздуха от нагревания при его движении к местам потребления;
- охлаждение воздуха без применения специальных холодильных машин;
- охлаждение воздуха с применением холодильных машин (кондиционирование).

Способы предупреждения нагревания шахтного воздуха включают в себя следующее:

- увеличение количества подаваемого в выработки воздуха путем повышения мощности вентиляторных установок, увеличения скорости движения воздуха, расширения сечений воздухоподающих выработок;

- замена машин с электроприводам машинами с пневматическим приводом;
- тепло- и гидроизоляция стен выработок;
- теплоизоляция и тщательное уплотнение воздухоподающих трубопроводов;
- предупреждение возникновения интенсивных окислительных процессов;
- сокращение пути движения воздуха к местам потребления путем выбора соответствующей схемы проветривания, проведения дополнительных выработок и скважин;
- подача воздуха к местам потребления по специально пройденным выработкам, где скорость движения воздуха может быть существенно увеличена;
- замена восходящего проветривания очистных выработок нисходящим проветриванием (при соблюдении соответствующих требований ПБ).

Для предотвращения нагревания воздуха без применения холодильных машин используются следующие способы:

- осушение воздуха сорбентами, т. е. веществами, способными поглощать влагу из воздуха (например, хлористым кальцием);
- охлаждение воздуха льдом;
- охлаждение воздуха жидким воздухам, при испарении которого поглощается значительное количество теплоты;
- охлаждение воздуха сжатым воздухам (например, от пневмо-кондиционеров);
- охлаждение воздуха водой: путем непосредственного соприкосновения охлаждающей воды с воздухом либо через поверхность труб, где воздух охлаждается в специальных теплообменниках;

- пропускание воздуха через тепловыравнивающие каналы путем подвода воздуха к стволу по горизонтальным выработкам, пройденным на глубине среднегодовой температуры.

Наиболее эффективным является искусственное охлаждение воздуха в системах кондиционирования: в компрессорных и абсорбционных холодильных установках. Холодильные установки бывают передвижные и стационарные. Передвижные установки предназначены для охлаждения воздуха в тупиковых выработках или в отдаленных очистных забоях. Стационарные установки располагаются как на земной поверхности, так и в подземных условиях.

Хладопроизводительность (холодильная мощность) **отечественных шахтных холодильных агрегатов и кондиционеров составляет:**

- передвижных кондиционеров ВК-230 - 230 кВт, КПШ-3 – 105 кВт, КПШ-40 - 47 кВт, КПШ-40П с пневмоприводом - 52 кВт;
- турбокомпрессионных холодильных машин ШХТМ-1300 - 1500 кВт, ХТМФ-235М-2000 - 2325 кВт, ХТМФ-248-4000 - 4650 кВт;
- поршневой холодильной машины МФ-220-1РШ - 255 кВт;
- абсорбционной холодильной машины АБХА-2500-2В – 2800 кВт.

Для стационарной работы на поверхности используются машины ХТМФ-235-2000, ХТМФ-248-4000, АБХА-2500-2В, а машины ШХТМ-1300 и МФ-220-1РШ устанавливаются на глубоких горизонтах.

Охлаждение шахтного воздуха с применением холодильных машин становится необходимым, когда общее тепловыделение в выработку $Q_{общ}$ превышает тепловыделение в нее, допускаемое Правилами безопасности, $Q_{пб}$, т. е. при условии

$$Q_{общ} > Q_{пб}.$$

Поскольку эти количества теплоты описываются формулами:

$Q_{общ} = c_р \cdot \rho \cdot V_{теп} \cdot (t_{пб} - t_н)$ и $Q_{пб} = c_р \cdot \rho \cdot V_в \cdot (t_{пб} - t_н)$,

то критерий необходимости кондиционирования воздуха в выработке может быть записан в виде соотношения

$$V_{теп} > V_в,$$

где $V_{теп}$ - количество воздуха, которое необходимо подать в выработку по тепловому фактору без охлаждения воздуха, м^3/ч;

$$V_{теп} = \frac{Q_{общ}}{c_р \cdot \rho \cdot \Delta t'} \quad (4.21)$$

где $c_р$ - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·К) $c_р$ = 0,241 ккал/(кг·К)·4,1868 кДж/ккал = 1,009 кДж/(кг·К); ρ - плотность воздуха, кг/м^3; Δt - перепад температур между выходящим (отработанным) и входящим (свежим) воздухам, проходящим по выработке, К (^{o}С):

для стволов $\Delta t = t_в - t_н$, для подземных выработок $\Delta t = t_п - t_в$.

При необходимости кондиционирования воздуха следует выбрать тип кондиционера, рассчитать потребное количество кондиционеров и проверить правильность их установки.

Требуемая хладопроизводительность кондиционера $N_к'$, кВт, находится по формуле

$$N_к^/ = \frac{c_h \cdot \rho \cdot V_d (t_н - t_{пб})}{3600} \quad (4.22)$$

К установке принимают кондиционер хладопроизводительностью

$N_К \geq N_К^/$

При установке кондиционера в выработке (обычно одного) температура смеси за кондиционером $t_{см}$, ^{o}С (=К), определяется соотношением

$$t_{см} = t_п - 3600\frac{N_К}{C_р \cdot \rho \cdot V_в} \quad (4.23)$$

Достаточность установки кондиционера проверяется по условию

$t_{см} < t_в$

Если $t_{см} > t_в$, то необходимо установить более мощный кондиционер.

Пример расчета. Исходные данные:

выработка - ствол шахты,

$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 38{,}5$ м^2,

$r_э = 3{,}5$ м,

$d = d_э = 7$ м,

$P = \pi \cdot d = 22$ м,

$l = H = 1200$ м,

$\alpha = 0^o$,

$H_0 = 20$ м,

$\delta = \frac{1}{\Gamma_{ст}} = 0{,}035$ м/^{o}C,

порода - песчаник,

$\rho_п = 2400$ кг/м^3,

$c_п = 0{,}858$ кДж/(кг·К),

$\lambda = 9{,}21$ кДж/(м·ч·К),

$a = \frac{\lambda}{c_п \cdot \rho_п} = 0{,}00477$ м^2/ч,

v = 2 м/с,

$\tau = 7$ лет $= 7 \cdot 365 \cdot 24 = 61320$ ч,

$t_н = 8{,}5$ ^{o}C,

$t_в = t_{пб} = 24$ ^{o}C,

$N_{потр} = 100$ кВт,

$N_п = 90$ кВт,

$\alpha_б = 0{,}0040$ кгс·с^2/м^4 =

$= 0{,}0392$ Па· с^2/м^2,

$N_{тр} = 100$ кВт,

$n = 7$ человек.

Для обеспечения возможности выполнения расчета тепловыделений по приведенным выше формулам принимаем дополнительно следующие данные (параметры):

$\beta = 0{,}01$ кг/(м^2·ч·К),

$r = 2256$ кДж/кг,

$\rho = 1{,}25$ кг/м^3,

$q_{ок} = 16$ кДж/(м^2·ч),

$\kappa_з = 0{,}8$,

$\eta_{дв} = 0{,}95$,

$P_{тр} = 0{,}05$,

$q_б = 200$ кДж/(м^2·ч),

$l_ц = 5$ м,

$q_п = 2000$ кДж/(ч·чел),

$\eta_{ву} = \eta_у \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_п = 0{,}7 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}95 = 0{,}56$,

$c_р = 1{,}009$ кДж/(кг·К).

Подсчитываем количества теплоты, выделяющиеся в выработку.

1. Тепловыделение при охлаждении горных пород

$$\alpha_k = 12.4 \cdot \frac{V^{0.8}}{d_э{}^{0.2}} = 12.4 \cdot \frac{2^{0.8}}{7^{0.2}} = 14.32, \text{ кДж/(м}^2\text{·ч·К;}$$

$$\alpha_и = 1.3 \cdot \beta \cdot r = 1{,}3 \cdot 0{,}001 \cdot 2256 = 29{,}33, \text{ кДж/(м}^2\text{·ч·К);}$$

$$\alpha_0 = \alpha_k + \alpha_и = 14{,}32 + 29{,}33 = 43{,}65, \text{ кДж/(м}^2\text{·ч·К);}$$

$$K_т = \frac{\frac{\lambda}{1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 \cdot R_э}}}{} \cdot \left[\frac{1}{2R_э} + \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau}\left(1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 \cdot R_э}\right)}\right] =$$

$$\frac{9{,}211}{1+\frac{9{,}211}{2 \cdot 43{,}65 \cdot 3{,}5}} \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot 3{,}5} + \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot 0{,}00447 \cdot 61320}\left(1+\frac{9{,}211}{2 \cdot 43{,}65 \cdot 3{,}5}\right)}\right] = 1{,}57,$$

кДж/(м^2·ч·К);

$$t_п = t_Н + (H - H_0)\delta = 8{,}5 + (1200 - 20)0{,}035 = 50\ °C;$$

$$Q_{охл} = K_т \cdot P \cdot l(t_п - t_в) = 1{,}57 \cdot 22 \cdot 1200(50 - 24) = 107764 \text{ кДж/ч.}$$

2. Тепловыделение при сжатии шахтного воздуха

$$V_и = 3600 \cdot v \cdot S = 3600 \cdot 2 \cdot 38{,}5 = 277200 \text{ м}^3\text{/ч;}$$

$$Q_{сж} = 0{,}00981 \cdot \rho \cdot V_В \cdot H = 0{,}00981 \cdot 1.25 \cdot 277200 \cdot 1200 = 4078998$$

кДж/ч.

3. Тепловыделение при окислительных процессах

$$Q_{ок} = q_{ок} \cdot V^{0,8} \cdot P \cdot l = 16 \cdot 2^{0,8} \cdot 22 \cdot 1200 = 735441 \text{ кДж/ч.}$$

4. Тепловыделение от местных источников:

- при работе электродвигателей горных машин и освещения

$$Q_{ЭД} = \frac{3600 \cdot N_{потр} \cdot K_з}{\eta_{ДВ}} = \frac{3600 \cdot 100 \cdot 0{,}8}{0{,}95} = 303158 \text{ кДж/ч;}$$

- при спуске груза лебедкой

$$Q_{ЛС} = 3600 \cdot N_п \cdot K_з = 3600 \cdot 90 \cdot 0{,}8 = 259200 \text{ кДж/ч;}$$

- при работе трансформатора

$$Q_{ТР} = 3600 \cdot N_{ТР} \cdot P_{ТР} = 3600 \cdot 100 \cdot 0{,}5 = 18000 \text{ кДж/ч;}$$

- при работе шахтных вентиляторов

$$Q_{ВБН} = 3{,}6 \cdot \alpha_В \cdot P \cdot l \frac{V^з}{\eta_{ВУ}} = 3{,}6 \cdot 0{,}0392 \cdot 22 \cdot 1200 \frac{2^з}{0{,}565} = 52751 \text{ кДж/ч;}$$

- при затвердевании монолитной бетонной крепи

$$Q_б = q_б \cdot P \cdot l_ц = 200 \cdot 22 \cdot 5 = 22000 \text{ кДж/ч;}$$

- при работе людей

$$Q_Л = q_л \cdot n_л = 2000 \cdot 7 = 14000 \text{ кДж/ч.}$$

5. Общее тепловыделение в ствол

$$Q_{общ} = \sum_{i-1}^{n} Q_i = Q_{охл} + Q_{сж} + Q_{ок} + Q_{эд} + Q_{лс} + Q_{тр} + Q_{вен} + Q_б + Q_л = 1077648 + 4078998 + 735441 + 303158 + 259200 + 18000 + 52751 + 22000 + 14000 = 6561196$$

кДж/ч.

Находим количество воздуха, необходимое для проветривания выработки по тепловому фактору без охлаждения воздуха

$$V_{теп} = \frac{Q_{общ}}{C_р \cdot \rho (t_{пб} - t_Н)} = \frac{6561196}{1{,}009 \cdot 1{,}25(24-8{,}5)} = 335611 \text{ м}^3\text{/ч.}$$

Проверяем условие достаточности расхода воздуха по тепловому фактору $V_{теп} \langle V_в$.

В рассматриваемом случае это условие не выполняется, так как

$$V_{теп} = 335611 < V_В = 277200$$

Следовательно, требуется искусственное охлаждение воздуха при помощи холодильных машин.

Определяем требуемую хладопроизводительность холодильной машины

$$N_к = \frac{C_р \cdot \rho \cdot V_В (t_П - t_{пб})}{3600} = \frac{1{,}009 \cdot 1{,}25 \cdot 277200 (50-24)}{3600} = 2525 \text{ кВт.}$$

Принимаем $N_к$ = 2550 кВт. Температура смеси теплого и охлажденного воздуха за кондиционером составит

$$t_{см} = t_п - \frac{3600 \cdot N_k}{c_р \cdot \rho \cdot V_В} = 50 - \frac{3600 \cdot 2550}{1{,}009 \cdot 1{,}25 \cdot 277200} = 23{,}7$$

что удовлетворяет требованиям ПБ.

Варианты заданий

Перечень вариантов заданий к расчету тепловыделений в горные выработки приведен в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные для расчетов тепловыделений

	Величины	Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Выработка	Штрек		Уклон		Квершлаг		Бремберг		Ствол	
2	S, м^2	8	10	7	6	12	14	10	12	44,2	33,2
3	P, м	11,8	13,2	11,0	10,2	14,4	15,6	13,2	14,4	23,6	20,4
4	L, м	900	1000	300	500	700	600	1000	900	1100	1200
5	α, °	6	8	40	50	10	8	15	20	90	90
6	H, м	800	900	600	700	1000	800	1200	1500	1100	1200

Продолжение табл. 4.2

7	H_0, м	20	21	22	23	24	25	30	35	28	30
8	$\Gamma_{ст}$, м/°С	30	25	26	27	31	29	32	28	34	27
9	Порода	Бурый уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Песчаник	Песчаник	Каменный уголь	Каменный уголь	Глинистый и песчанистый сланец	Песчаник
10	V, м/с	0,5	0,75	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5	2,0	1,0	0,5
11	τ, м/с	3	2	6	8	5	9	10	7	6	4
12	$t_н$, °С	8,5	2,5	3,0	2,5	7,5	8,3	7,9	4,2	8,0	7,5
13	$t_в = t_{пб}$, °С	24	23	20	25	23	25	24	26	24	23
14	$N_{потр}$, кВт	70	60	50	40	100	90	50	50	100	100
15	$N_л$, кВт	-	-	50	50	-	-	-	-	-	100

16	$N_{тр}$, кВт	5	10	-	-	5	5	5	5	10	10
17	$\alpha_в$, Па·с^2/м^2	0,017	0,019	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013	0,020	0,049	0,049
18	$n_л$, чел.	7	6	3	3	6	5	6	6	5	8

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте климатические условия в горных выработках глубоких шахт.

2. Как осуществляется теплоотдача тела человека в окружающую среду?

3. Какой микроклимат в выработках глубоких шахт считается допустимым?

4. Перечислите виды (формы) нагревания воздуха, движущегося по горным выработкам.

5. Как выполняется тепловое кондиционирование воздуха в горных выработках?

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4. ЦВЕТА СИГНАЛЬНЫЕ И ЗНАКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Цель работы – ривить практические навыки в применении сигнальных цветов и знаков безопасности; изучить назначение, характеристики и порядок применения сигнальных цветов и знаков безопасности.

Теоретические положения.

Для предупреждения многих несчастных случаев на производстве и в быту эффективным средством является цветовое оформление машин, приборов, помещений и рациональное применение сигнальных цветов и знаков безопасности, которые устанавливает ГОСТ Р 12.4.026–01 [1].

Различают прямое психологическое воздействие цвета на челове- ка, вызывающее, например, чувство радости или печали, создающее впе- чатление легкости или тяжести какого-либо предмета, удаленности или близости его, и вторичное воздействие, связанное с ассоциациями. Напри- мер, красный, оранжевый и желтый цвета ассоциируются с огнем, солн- цем, т. е. теплом. Такие цвета создают впечатление тепла и называются те- плыми цветами. Белый, голубой, зеленый и некоторые другие цвета ассо- циируются с холодом и называются холодными цветами.

Сигнальные цвета применяются для окраски поверхностей конст- рукций, приспособлений и элементов производственного оборудования, которые могут служить источником опасности для работающих.

ГОСТом установлены красный, желтый, зеленый и синий сигналь- ные цвета. Для усиления контраста сигнальных цветов они применяются на фоне контрастных цветов. Контрастные цвета применяются также для выполнения символов и поясняющих надписей.

Красный сигнальный цвет применяется: для запрещающих знаков; надписей и символов на знаках пожарной безопасности, обозначений от-

ключающих устройств механизмов и машин, в том числе аварийных; внутренних поверхностей открывающихся кожухов и корпусов, ограждающих движущиеся элементы механизмов и машин и их крышек; рукояток кранов аварийного сброса давления; корпусов масляных выключателей, находя- щихся в рабочем состоянии под напряжением, и обозначения пожарной техники.

Желтый сигнальный цвет используется: для предупреждающих знаков элементов строительных конструкций, которые могут явиться причиной получения травм (низкие балки, выступы и перепады в полости пола, малозаметные ступени, пандусы), мест, в которых существует опасность падения, сужений проездов, колонн, стоянок и опор производствен- ного оборудования (открытые движущиеся части оборудования); кромок штампов, прессов, ограждающих конструкций площадок для работ, проводимых на высоте, и т. п. элементов внутрицехового и межцехового транспорта, подъемно-транспортного оборудования и строительно-дорожных машин, кабин и ограждений кранов, боковых поверхностей электрокаров, погрузчиков, тележек и постоянных и временных ограждений или элементов ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, у проемов, ям, котлованов, выносных площадок, постоянных и временных ограждений лестниц, перекрытий строящихся зданий; балконов и других мест, где возможно падение с высоты, емкостей, содержащих вещества с опасными и вредными свойствами, на которые предупреждающую окраску наносят в виде полосы шириной 50–100 мм в зависимости от размещения емкости; границ подходов к эвакуационным или запасным выходам.

Зеленый сигнальный цвет применяется для предписывающих знаков дверей и светового табло эвакуационных или запасных выходов, сигнальных ламп.

Синий сигнальный цвет используется для указательных знаков. Символ на знаках безопасности – это простое, всем понятное изображение характера опасности, мер предосторожности, инструктивных указаний или информации

по безопасности. Знаки должны быть установлены в местах, пребывание в которых связано с возможной опасностью для работающих, а также на производственном оборудовании, являющемся источником такой опасности. Знаки безопасности, устанавливаемые на воротах и входных дверях помещений, обозначают, что зона их действия – все помещение. При необходимости ограничения зоны действия знака приводятся соответствующие указания с вышеуказанным ГОСТом. Они контрастно выделются на окружающем их фоне и находятся в поле зрения людей, для которых предназначены. На местах и участках, являющихся временно опасными, устанавливаются переносные знаки и временные ограждения, окрашенные в сигнальный цвет. Всего предусмотрено четыре группы знаков безопасности:

1 запрещающий (в виде круга);

2 предупреждающий (в виде треугольника);

3 предписывающий (в виде квадрата);

4 указательный (в виде вертикального прямоугольника).

Для более полного усвоения формы символов на знаках и мест их установки следует дополнительно изучить раздел 3 ГОСТ Р 12.4.026-01 [1]. Для этого ниже дается необходимая выдержка из данного ГОСТа.

Стандарт не распространяется:

- на цвета, применяемые для световой сигнализации всех видов транспорта, транспортных средств и дорожного движения;
- цвета, знаки и маркировочные щитки баллонов, трубопроводов, емкостей для хранения и транспортирования газов и жидкостей;
- дорожные знаки и разметку, путевые и сигнальные знаки железных дорог, знаки для обеспечения безопасности движения всех видов транспорта (кроме знаков безопасности для подъемно-транспортных меха- низмов, внутризаводского, пассажирского и общественного транспорта);
- знаки и маркировку опасных грузов, грузовых единиц, требующих специальных условий транспортирования и хранения;

- знаки для электротехники.

Назначение сигнальных цветов, знаков безопасности и сигнальной разметки состоит в обеспечении однозначного понимания определенных требований, касающихся безопасности, сохранения жизни и здоровья людей, снижения материального ущерба без применения слов или с их минимальным количеством.

Сигнальные цвета, знаки безопасности и сигнальную разметку следует применять для привлечения внимания людей, находящихся на производственных, общественных объектах и в иных местах, к опасности, опасной ситуации, предостережения в целях избегания опасности, сообщения о возможном исходе в случае пренебрежения опасностью, предписания или требования определенных действий, а также для сообщения необходимой информации.

Применение сигнальных цветов, знаков безопасности и сигнальной разметки на производственных, общественных объектах и в иных местах не заменяет необходимости проведения организационных и технических мероприятий по обеспечению условий безопасности, использования средств индивидуальной и коллективной защиты, обучения и инструктажа по технике безопасности.

Размещение (установку) знаков безопасности на оборудовании, машинах, механизмах должна проводить организация-изготовитель. При необходимости дополнительное размещение (установку) знаков безопасности на оборудовании, машинах, механизмах, находящихся в эксплуатации, проводит эксплуатирующая их организация.

Графические символы и поясняющие надписи на знаках безопасности отраслевого назначения, не предусмотренные настоящим стандартом, необходимо устанавливать в отраслевых стандартах, нормах, правилах с соблюдением требований настоящего стандарта.

Назначение и правила применения сигнальных цветов.

Стандарт устанавливает следующие сигнальные цвета: красный, желтый, зеленый, синий. Для усиления зрительного восприятия цветографических изображений знаков безопасности и сигнальной разметки сигнальные цвета следует применять в сочетании с контрастными цветами – белым или черным. Контрастные цвета необходимо использовать для выполнения графических символов и поясняющих надписей.

Сигнальные цвета необходимо применять:

- для обозначения поверхностей, конструкций (или элементов конструкций), приспособлений, узлов и элементов оборудования, машин, механизмов и т. п., которые могут служить источниками опасности для лю- дей, поверхности ограждений и других защитных устройств, систем бло- кировок и т. п.;
- обозначения пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов;
- знаков безопасности, сигнальной разметки, планов эвакуации и других визуальных средств обеспечения безопасности;
- светящихся (световых) средств безопасности (сигнальные лампы, табло и др.);
- обозначения пути эвакуации.

Смысловое значение, область применения сигнальных цветов и соответствующие им контрастные цвета установлены в табл. 5.0.

Красный сигнальный цвет следует применять:

- для обозначения отключающих устройств механизмов и машин, в том числе аварийных;
- внутренних поверхностей крышек (дверец) шкафов с открытыми токоведущими элементами оборудования, машин, механизмов и т. п. (если оборудование, машины, механизмы имеют красный цвет, то внутренние поверхности крышек (дверец) должны быть окрашены лакокрасочными

материалами желтого сигнального цвета);

- рукояток кранов аварийного сброса давления;

- корпусов масляных выключателей, находящихся в рабочем состоянии под напряжением;

- обозначения различных видов пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов, требующих оперативного опознания (пожарные машины, наземные части гидрант-колонок, огнетушители, баллоны, устройства ручного пуска систем (установок) пожарной автоматики, средств оповещения, телефоны прямой связи с пожарной охраной, насосы, пожарные стенды, бочки для воды, ящики для песка, а также ведра, лопа- ты, топоры и т. п.);

- окантовки пожарных щитов белого цвета для крепления пожарного инструмента и огнетушителей. Ширина окантовки – 30–100 мм (допускается выполнять окантовку пожарных щитов в виде чередующихся наклонных под углом 45–60° полос красного сигнального и белого контра- стного цветов);

- орнаментовки элементов строительных конструкций (стены, колонны) в виде отрезка горизонтально расположенной полосы для обозначения мест нахождения огнетушителя, установки пожаротушения с ручным пуском, кнопки пожарной сигнализации и т. п. Ширина полос – 150–300 мм. Полосы должны располагаться в верхней части стен и колонн на высоте, удобной для зрительного восприятия с рабочих мест, проходов и т. п. В состав орнаментовки, как правило, следует включать знак пожарной безопасности с соответствующим графическим символом средства противопожарной защиты;

- сигнальных ламп и табло с информацией, извещающей о нару- шении технологического процесса или нарушении условий безопасности:

«Тревога», «Неисправность» и др.;

- обозначения захватных устройств промышленных установок и промышленных роботов;

Таблица 5.0

Смысловое значение, область применения сигнальных цветов и соответствующие им контрастные цвета

Сигнальный цвет	Смысловое значение	Область применения	Контрастный цвет
Красный	Непосредственная опасность Аварийная или опасная ситуация Пожарная техника, средства противо-пож. защиты, их элементы	Запрещение опасного поведения или действия.Обозначение непо-средственной опасности Сообщение об аварийном отключении или аварийном состоянии оборудования (техноло- гического процесса) Обозначение и определение мест нахождения пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов	Белый
Желтый	Возможная опас-ность	Обозначение возможной опасно- сти, опасной ситуации. Преду- преждение о возможной опасно-сти	Черный
Зеленый	Безопасность, безопасные усло-вия	Сообщение о нормальной работе оборудования, нормальном со- стоянии технологического про-цесса	Белый
	Помощь, спасение	Обозначение пути эвакуации, аптечек, кабинетов, средств по оказанию первой медицинской помощи	
Синий	Предписание во избежание опасно-сти	Требование обязательных дейст- вий в целях обеспечения безо-пасности	Белый
	Указание	Разрешение определенных дей-ствий	

- обозначения временных ограждений или элементов временных ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, участков, территорий, ям, котлованов, временных ограждений мест химического, бактериологического и радиационного загрязнения, а также ограждений других мест, зон, участков, вход на которые временно запрещен.

Поверхность временных ограждений должна быть целиком окра- шена красным сигнальным цветом или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы красного сигнального и белого контрастного цветов. Ширина полос – 20–300 мм при соотношении ширины полос крас- ного и белого цветов от 1:1 до 1,5:1,0;

- запрещающих знаков безопасности и знаков пожарной безопасности.

Не допускается использовать красный сигнальный цвет:

- для обозначения стационарно устанавливаемых средств противопожарной защиты (их элементов), не требующих оперативного опознания (пожарные извещатели, пожарные трубопроводы, оросители установок пожаротушения и т. п.);

- на пути эвакуации во избежание путаницы и замешательства (кроме запрещающих знаков безопасности и знаков пожарной безопасности).

Желтый сигнальный цвет следует применять:

а) для обозначения элементов строительных и иных конструкций, которые могут явиться причиной получения травм работающими: низких балок, выступов и перепадов в плоскости пола, малозаметных ступеней, пандусов, мест, в которых существует опасность падения (кромки погрузочных платформ, грузовых поддонов, неогражденных площадок, люков, проемов и т. д.), сужений проездов, малозаметных распорок, узлов, колонн, стоек и опор в местах интенсивного движения внутризаводского транспорта и т. д.;

б) обозначения узлов и элементов оборудования, машин и механизмов, неосторожное обращение с которыми представляет опасность для людей:

открытых движущихся узлов, кромок оградительных устройств, не полностью закрывающих движущиеся элементы (шлифовальные круги, фрезы, зубчатые колеса, приводные ремни, цепи и т. п.), ограждающих конструкций площадок для работ, проводимых на высоте, а также постоянно подвешенных к потолку или стенам технологической арматуры и механизмов, выступающих в рабочее пространство;

в) обозначения опасных при эксплуатации элементов транспортных средств, подъемно-транспортного оборудования и строительно-дорожных машин, площадок грузоподъемников, бамперов и боковых поверхностей электрокаров, погрузчиков, тележек, поворотных платформ и боковых поверхностей стрел экскаваторов, захватов и площадок автопогрузчиков, рабочих органов сельскохозяйственных машин, элементов грузоподъемных кранов, обойм грузовых крюков и др.;

г) подвижных монтажных устройств, их элементов и элементов грузозахватных приспособлений, подвижных частей кантователей, траверс, подъемников, подвижных частей монтажных вышек и лестниц;

д) внутренних поверхностей крышек, дверец, кожухов и других ограждений, закрывающих места расположения движущихся узлов и элементов оборудования, машин, механизмов, требующих периодического доступа для контроля, ремонта, регулировки и т. п.

Если указанные узлы и элементы закрыты съемными ограждениями, то окрашиванию лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета подлежат сами движущиеся узлы, элементы и (или) поверхности смежных с ними неподвижных деталей, закрываемые ограждениями;

е) постоянных ограждений или элементов ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, участков, территорий: у проемов, ям, котлованов, выносных площадок, постоянных ограждений лестниц, балконов, перекрытий и других мест, в которых возможно падение с высоты.

Поверхность ограждения должна быть целиком окрашена

лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов.

Ширина полос – 20–300 мм при соотношении ширины полос желтого и черного цвета от 1:1 до 1,5:1,0;

ж) обозначения емкостей и технологического оборудования, содержащих опасные или вредные вещества.

Поверхность емкости должна быть целиком окрашена лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов.

Ширина полос – 50–300 мм в зависимости от размера емкости при соотношении ширины полос желтого и черного цвета от 1:1 до 1,5:1,0;

з) обозначения площадей, которые должны быть всегда свободными на случай эвакуации (площадки у эвакуационных выходов и подходы к ним, возле мест подачи пожарной тревоги, возле мест подхода к средствам противопожарной защиты, средствам оповещения, пунктам оказания первой медицинской помощи, пожарным лестницам и др.).

Границы этих площадей должны быть обозначены сплошными линиями желтого сигнального цвета, а сами площади – чередующимися наклонными под углом 45–60° полосами желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина линий и полос – 50 – 100 мм;

и) предупреждающих знаков безопасности.

На поверхность объектов и элементов, перечисленных в а) и в), допускается наносить чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина полос – 50– 300 мм в зависимости от размера объекта и расстояния, с которого должно быть видно предупреждение.

Если оборудование, машины и механизмы окрашены лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета, то перечисления б) и д), их узлы и

элементы должны быть обозначены чередующимися наклонными под углом 45–60° полосами желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина полос – 20–300 мм в зависимости от размера узла (элемента) оборудования при соотношении ширины полос желтого и черного цветов от 1:1 до 1,5:1,0.

Для строительно-дорожных машин и подъемно-транспортного оборудования, которые могут находиться на проезжей части, допускается применять предупреждающую окраску в виде чередующихся красных и белых полос.

Синий сигнальный цвет следует применять:

- для окрашивания светящихся (световых) сигнальных индикаторов и других сигнальных устройств указательного или разрешающего назначения;
- предписывающих и указательных знаков безопасности.

Зеленый сигнальный цвет следует применять:

- для обозначения безопасности (безопасных мест, зон безопасного состояния);
- сигнальных ламп, извещающих о нормальном режиме работы оборудования, нормальном состоянии технологических процессов и т. п.;
- обозначения пути эвакуации;
- эвакуационных знаков безопасности и знаков безопасности медицинского и санитарного назначения.

Характеристики сигнальных и контрастных цветов.

Знаки безопасности следует размещать (устанавливать) в поле зрения людей, для которых они предназначены.

Знаки безопасности должны быть расположены таким образом, чтобы они были хорошо видны, не отвлекали внимания и не создавали неудобств при выполнении людьми своей профессиональной или иной деятельности, не загораживали проход, проезд, не препятствовали перемещению грузов.

Знаки безопасности, размещенные на воротах и на (над) входных(ми) дверях(ми) помещений, означают, что зона действия этих знаков

распространяется на всю территорию и площадь за воротами и дверями.

Размещение знаков безопасности на воротах и дверях следует выполнять таким образом, чтобы зрительное восприятие знака не зависело от положения ворот или дверей (открыто, закрыто). Эвакуационные знаки безопасности Е 22 «Выход» и Е 23 «Запасный выход» должны размещаться только над дверями, ведущими к выходу.

Знаки безопасности, установленные у въезда (входа) на объект (участок), означают, что их действие распространяется на объект (участок) в целом.

При необходимости ограничить зону действия знака безопасности соответствующее указание следует приводить в поясняющей надписи на дополнительном знаке.

Знаки безопасности, изготовленные на основе несветящихся материалов, следует применять в условиях хорошего и достаточного освеще- ния.

Знаки безопасности с внешним или внутренним освещением следует применять в условиях отсутствия или недостаточного освещения.

Световозвращающие знаки безопасности следует размещать (устанавливать) в местах, где отсутствует освещение или имеется низкий уровень фонового освещения (менее 20 лк по СНиП 23-05-95): при проведении работ с использованием индивидуальных источников света, фонарей (например, в туннелях, шахтах и т. п.), а также для обеспечения безопасности при проведении работ на дорогах, автомобильных трассах, в аэропортах и т. п.

Фотолюминесцентные знаки безопасности следует применять там, где возможно аварийное отключение источников света, а также в качестве элементов фотолюминесцентных эвакуационных систем для обеспечения самостоятельного выхода людей из опасных зон в случае возникновения аварий, пожара или других чрезвычайных ситуаций.

Для возбуждения фотолюминесцентного свечения знаков безопасности необходимо наличие в помещении, где они установлены, искусст- венного или естественного освещения.

Освещенность поверхности фотолюминесцентных знаков безопасности источниками света должна быть не менее 25 лк.

Основные и дополнительные знаки безопасности.

Основные знаки безопасности необходимо разделять на следующие группы: запрещающие знаки; предупреждающие знаки; знаки пожарной безопасности; предписывающие знаки; эвакуационные знаки и знаки медицинского и санитарного назначения; указательные знаки.

Геометрическая форма, сигнальный цвет, смысловое значение основных знаков безопасности должны соответствовать приведенным в табл. 5.1

Таблица 5.1

Геометрическая форма, сигнальный цвет, смысловое значение основных знаков безопасности

Группа	Геометрическая форма <*>	Сигнальный цвет	Смысловое значение
Запрещающие знаки	Круг с поперечной полосой	Красный	Запрещение опасного пове- дения или действия
Предупреждающие знаки	Треугольник	Желтый	Предупреждение о возмож- ной опасности. Осторож- ность. Внимание
Предписывающие знаки	Круг	Синий	Предписание обязательных действий во избежание опасности
Знаки пожарной безопасности <**>	Квадрат или прямоугольник	Красный	Обозначение и указание мест нахождения средств проти- вопожарной защиты, их эле- ментов
Эвакуационные знаки и знаки медицинского и санитарного назначения	Квадрат или прямоугольник	Зеленый	Обозначение направления движения при эвакуации. Спасение, первая помощь при авариях или пожарах. Надпись, информация для обеспечения безопасности
Указательные знаки	Квадрат или прямоугольник	Синий	Разрешение. Указание. Над- пись или информация

Примечание: <*> Рисунки не приводятся. <**> К знакам пожарной безопасности относят также:

- запрещающие знаки: Р 01 «Запрещается курить», Р 02 «Запрещается пользо- ваться открытым огнем», Р 04 «Запрещается тушить водой», Р 12 «Запрещается загромождать проходы (или) складировать» (табл. 5.2);

- предупреждающие знаки: W 01 «Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся ве- щества», W 02 «Взрывоопасно», W 11

«Пожароопасно. Окислитель» (табл. 5.3).

Таблица 5.2

Запрещающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 01		Запрещается курить	Использовать, когда курение мо- жет стать причиной пожара. На дверях и стенах помещений, уча- стках, где имеются горючие и лег- ковоспламеняющиеся вещества, или в помещениях, где курить за- прещается
Р 02		Запрещается пользоваться от- крытым огнем и курить	Использовать, когда открытый огонь и курение могут стать при- чиной пожара. На входных дверях, стенах помещений, участках, ра- бочих местах, емкостях, производ- ственной таре
Р 03		Проход запрещен	У входа в опасные зоны, помеще- ния, участки и др.
Р 04		Запрещается тушить водой	В местах расположения электро- оборудования, складах и других местах, где нельзя применять воду при тушении горения или пожара
Р 05		Запрещается использовать в качестве питьевой воды	На техническом водопроводе и емкостях с технической водой, не- пригодной для питья и бытовых нужд
Р 06		Доступ посторонним запрещен	На дверях помещений, у входа на объекты, участки и т. п. для обо- значения запрета на вход (проход) в опасные зоны или для обозначе- ния служебного входа (прохода)

Продолжение таблицы 5.2

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 07		Запрещается движение средств наполь- ного транспорта	В местах, где запрещается применять средства напольного транс- порта (например, погрузчики или напольные транспортеры)
Р 08		Запрещается прикасаться. Опасно	На оборудовании (узлах оборудо- вания), дверцах, щитах или других поверхностях, прикосновение к которым опасно
Р 09		Запрещается прикасаться. Корпус под на- пряжением	На поверхности корпусов, щитов и т. п., где есть возможность пора- жения электрическим током
Р 10		Не включать!	На пультах управления и включе- ния оборудования или механизмов при ремонтных и пусконаладоч- ных работах
Р 11		Запрещается работа (присутствие) людей со стимуляторами сердечной деятельности	В местах и на оборудовании, где запрещено работать или находить- ся людям с вживленными стиму- ляторами сердечной деятельности
Р 12		Запрещается за- громождать про- ходы и (или) складировать	На пути эвакуации, у выходов, в местах размещения средств про- тивопожарной защиты, аптечек первой медицинской помощи и других местах
Р 13		Запрещается подъем (спуск) людей по шахтному стволу (запрещается транспортировка пассажиров)	На дверях грузовых лифтов и дру- гих подъемных механизмов

Продолжение табл. 5.2

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 14		Запрещается вход (проход) с животными	На воротах и дверях зданий, со- оружений, помещений, объектов, территорий и т. п., где не должны находиться животные, где запре- щен вход (проход) вместе с жи- вотными
Р 16		Запрещается работа (присутствие) людей, имеющих металлические имплантанты	На местах, участках и оборудова- нии, где запрещено работать или находиться людям с вживленными металлическими имплантантами
Р 17		Запрещается разбрызгивать воду	На местах и участках, где запре- щено разбрызгивать воду
Р 18		Запрещается пользоваться мобильным (сотовым) телефоном или переносной рацией	На дверях помещений, у входа на объекты, где запрещено пользоваться средствами связи, имею- щими собственные радиочастот- ные электромагнитные поля
Р 21		Запрещение (прочие опасности или опасные действия)	Применять для обозначения опасности, не предусмотренной настоящим стандартом. Знак необходимо использовать вместе с поясняющей надписью или с дополнительным знаком безопасности с поясняющей надписью
Р 27		Запрещается иметь при (на) себе металлические предметы (часы и т. п.)	При входе на объекты, на рабочих местах, оборудовании, приборах и т. п. Область применения знака может быть расширена
Р 30		Запрещается принимать пищу	На местах и участках работ с вредными для здоровья веществами, а также в местах, где прием пищи запрещен. Область применения знака может быть расшире- на

Окончание табл. 5.2

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
P 32		Запрещается подходить к элементам оборудования с маховыми движениями большой амплитуды	На оборудовании и рабочих местах по обслуживанию оборудования с элементами, выполняющими маховые движения большой амплитуды
P 33		Запрещается брать руками. Сыпучая масса (непрочная упа- ковка)	На производственной таре, в складах и иных местах, где используют сыпучие материалы
P 34		Запрещается пользоваться лифтом для подъема (спуска) людей	На дверях грузовых лифтов и других подъемных механизмах. Знак входит в состав группового знака безопасности «При пожаре лифтом не пользоваться, выходить по лестнице»

Таблица 5.3

Предупреждающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 01		Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся ве- щества	Использовать для привлечения внимания к помещениям с легковоспламеняющимися веществами. На входных дверях, дверцах шкафов, емкостях и т. д.

Продолжение табл.5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 02		Взрывоопасно	Использовать для привлечения внимания к взрыво- опасным веществам, а так- же к помещениям и участ- кам. На входных дверях, стенах помещений, дверцах шкафов и т. д.
W 03		Опасно. Ядовитые ве- щества	В местах хранения, выделения, производства и применения ядовитых веществ
W 04		Опасно. Едкие и корро- зионные вещества	В местах хранения, выде- ления, производства и применения едких и корро- зионных веществ
W 05		Опасно. Радиоактивные вещества или ионизи- рующее излучение	На дверях помещений, дверцах шкафов и в других местах, где находятся и применяются радиоактивные вещества или имеется ионизирующее излучение. Допускается применять знак радиационной опасно- сти по ГОСТ 17925
W 06		Опасно. Возможно падение груза	Вблизи опасных зон, где используется подъемно-транспортное оборудование
W 07		Внимание. Автопогруз- чик	В помещениях и на участках, где проводятся погрузочно-разгрузочные работы

Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 08		Опасность поражения электрическим током	На опорах линий электропередачи, электрооборудовании и приборах, дверцах силовых щитков, на элек-тротехнических панелях и шкафах, а также на ограж- дениях токоведущих частей оборудования, механизмов, приборов
W 09		Внимание. Опасность (прочие опасности)	Применять для привлече- ния внимания к прочим ви- дам опасности, не обозна- ченной настоящим стан- дартом. Знак необходимо использовать вместе с дополнительным знаком безопасности с поясняю- щей надписью
W 10		Опасно. Лазерное излу- чение	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где имеет- ся лазерное излучение
W 11		Пожароопасно. Окисли- тель	На дверях помещений, дверцах шкафов для привлечения внимания на наличие окислителя

Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 12		Внимание. Электромагнитное поле	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где действуют электромагнитные поля
W 13		Внимание. Магнитное поле	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где действуют магнитные поля
W 14		Осторожно. Малозаметное препятствие	В местах, где имеются малозаметные препятствия, о которые можно споткнуться
W 15		Осторожно. Возможность падения с высоты	Перед входом на опасные участки и в местах, где возможно падение с высоты
W 16		Осторожно. Биологическая опасность (инфекционные вещества)	В местах хранения, производства или применения вредных для здоровья биологических веществ
W 17		Осторожно. Холод	На дверцах холодильников и морозильных камер, компрессорных агрегатах и других холодильных аппаратах
W 18		Осторожно. Вредные для здоровья аллергические (раздражающие) вещества	В местах хранения, произ- водства или применения вредных для здоровья аллергических (раздражающих) веществ

Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 19		Газовый баллон	На газовых баллонах, скла- дах и участках хранения и применения сжатых или сжиженных газов. Цвет баллона черный или белый, выбирается по ГОСТ 19433
W 20		Осторожно. Аккумуля- торные батареи	В помещениях и на участках изготовления, хранения и применения аккумуля- торных батарей
W 22		Осторожно. Режущие валы	На участках работ и оборудовании, имеющем незащищенные режущие валы
W 23		Внимание. Опасность зажима	На дверцах турникетов и шлагбаумах
W 24		Осторожно. Возможно опрокидывание	На дорогах, рампах, складах, участках, где возможно опрокидывание внутризаводского транспорта
W 25		Внимание. Автоматическое включение (запуск) оборудования	На рабочих местах, оборудовании или отдельных узлах оборудования с автоматическим включением
W 26		Осторожно. Горячая поверхность	На рабочих местах и обо-рудовании, имеющем на-гретые поверхности

Окончание табл.5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 27		Осторожно. Возможно травмирование рук	На оборудовании, узлах оборудования, крышках и дверцах, где возможно получить травму рук
W 28		Осторожно. Скользко	На территории и участках, где имеются скользкие места
29		Осторожно. Возможно затягивание между вращающимися элемен- тами	На рабочих местах и обо- рудовании, имеющем вра- щающиеся элементы, на- пример на валковых мель- ницах
W 30		Осторожно. Сужение проезда (прохода)	На территориях, участках, в цехах и складах, где имеются сужения прохода (проезда) или присутствуют выступающие конструкции, затрудняющие проход (проезд)

Таблица 5.4

Предписывающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по при- менению
M 01		Работать в защитных очках	На рабочих местах и участках, где требуется защита органов зрения

Продолжение табл. 5.4

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
М 02		Работать в защитной каске (шлеме)	На рабочих местах и участках, где требуется защита головы
М 03		Работать в защитных наушниках	На рабочих местах и участках с повышенным уровнем шума
М 04		Работать в средствах индивидуальной защиты органов дыхания	На рабочих местах и участках, где требуется защита органов дыхания
М 05		Работать в защитной обуви	На рабочих местах и участках, где необходимо применять средства индивидуальной защиты
М 06		Работать в защитных перчатках	На рабочих местах и участках работ, где требуется защита рук от воздействия вредных или агрессивных сред, защита от возможного поражения электрическим током
М07		Работать в защитной одежде	На рабочих местах и участках, где необходимо применять средства индивидуальной зашиты
М 08		Работать в защитном щитке	На рабочих местах и участках, где необходима защита лица и органов зрения

Продолжение табл. 5.4

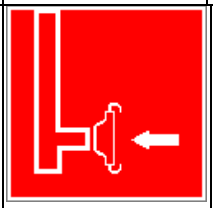
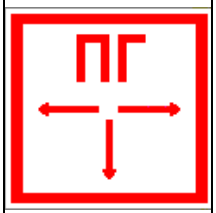
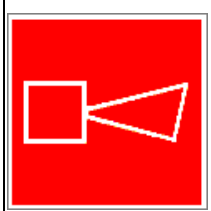
Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
М 09		Работать в предохранительном (страховочном) поясе	На рабочих местах и участках, где для безопасной работы требуется применение предохранительных (страховочных) поясов
М 10		Проход здесь	На территориях и участках, где разрешается проход
М 11		Общий предписывающий знак (прочие предписания)	Для предписаний, не обозначенных настоящим стандартом. Знак необходимо применять вместе с поясняющей надписью на дополнительном знаке безопасности
М 12		Переходить по надземному переходу	На участках и территориях, где установлены надземные переходы
М 13		Отключить штепсельную вилку	На рабочих местах и оборудовании, где требуется отключение от электросети при наладке или остановке электрооборудования и в других случаях
М 14		Отключить перед работой	На рабочих местах и оборудовании при проведении ремонтных или пусконаладочных работ
М 15		Курить здесь	Используется для обозначения места курения на производственных объектах

Таблица 5.5

Знаки пожарной безопасности

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по применению
F 01-01		Направляющая стрелка	Использовать только вместе с другими знаками пожар- ной безопасности для указания направления движе- ния к месту нахождения (размещения) средства противопожарной зашиты
F 01-02		Направляющая стрелка под углом 45°	Использовать только вместе с другими знаками пожарной безопасности для указания направления движения к месту нахождения (размещения) средства противопожарной защиты
F 02		Пожарный кран	В местах нахождения комплекта пожарного крана с пожарным рукавом и стволом
F 03		Пожарная лестница	В местах нахождения пожарной лестницы
F 04		Огнетушитель	В местах размещения огнетушителя
F 05		Телефон для использования при пожаре	В местах размещения телефона, по которому мож- но вызвать пожарную охрану

Продолжение табл. 5.5

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по применению
F 06		Место размещения нескольких средств противопожарной защиты	В местах одновременного нахождения (размещения) нескольких средств противопожарной защиты
F 07		Пожарный водоисточник	В местах нахождения пожарного водоема или пир- са для пожарных машин
F 08		Пожарный сухотрубный стояк	В местах нахождения пожарного сухотрубного стояка
F 09		Пожарный гидрант	У мест нахождения подземных пожарных гидран- тов. На знаке должны быть цифры, обозначающие расстояние от знака до гидранта в метрах
F 10		Кнопка включения установок (систем) пожарной автоматики	В местах ручного пуска установок пожарной сигна- лизации, пожаротушения и (или) систем противодым- ной защиты. В местах (пунктах) подачи сигнала пожарной тревоги
F 11		Звуковой оповещатель пожарной тревоги	В местах нахождения зву- кового оповещателя или совместно со знаком F 10 «Кнопка включения установок (систем) пожарной автоматики»

К знакам пожарной безопасности относят также:

- запрещающие знаки: Р 01 «Запрещается курить», Р 02 «Запрещается пользоваться открытым огнем», Р 04 «Запрещается тушить водой», Р 12 «Запрещается загромождать проходы и (или) складировать»;
- предупреждающие знаки: W 01 «Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся вещества», W 02 «Взрывоопасно», W 11 «Пожароопасно. Окислитель»;
- эвакуационные знаки;

Таблица 5.6

Эвакуационные знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 01-01		Выход здесь (левосторонний)	Над дверями (или на дверях) эвакуационных выходов, открывающихся с левой стороны. На стенах помещений вместе с направляющей стрелкой для указания направления движения к эвакуа- ционному выходу
Е 01-02		Выход здесь (правосторонний)	Над дверями (или на дверях) эвакуационных выходов, открывающихся с правой стороны. На стенах помещений вместе с направляющей стрелкой для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 02-01		Направляющая стрелка	Использовать только вместе с другими эвакуационными знаками для указания направления движения

Продолжение табл.5.6

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 02-02		Направляющая стрелка под углом 45°	Использовать только вместе с другими эвакуационными знаками для указания направления движения
Е 03		Направление к эвакуационному выходу на- право	На стенах помещений для указаниянаправления движения к эвакуационному выходу
Е 04		Направление к эвакуационному выходу налево	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 05		Направление к эвакуационному выходу направо вверх	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 06		Направление к эвакуационному выходу нале- во вверх	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плос- кости
Е 07		Направление к эвакуационному выходу на- право вниз	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 08		Направление к эвакуационному выходу налево вниз	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 09		Указатель двери эвакуа- ционного выхода	Над дверями эвакуацион- ных выходов

Продолжение табл. 5.6.

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 10		Указатель двери эвакуационного выхода (левосторонний)	Над дверями эвакуационных выходов
Е 11		Направление к эвакуационному выходу прямо	Над проходами, проемами, в помещениях большой площади. Размещается на верхнем уровне или под- вешивается к потолку
Е 12		Направление к эвакуационному выходу прямо	Над проходами, проемами, в помещениях большой площади. Размещается на верхнем уровне или подвешивается к потолку
Е 13		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вниз	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 14		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вниз	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 15		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вверх	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 16		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вверх	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 17		Для доступа вскрыть здесь	На дверях, стенах помеще- ний и в других местах, где для доступа в помещение или выхода необходимо вскрыть определенную кон- струкцию, например раз- бить стеклянную панель

Продолжение табл. 5.6.

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 18		Открывать движением от себя	На дверях помещений для указания направления от- крывания дверей
Е 19		Открывать движением на себя	На дверях помещений для указания направления от- крывания дверей
Е 20		Для открывания сдви- нуть	На дверях помещений для обозначения действий по открыванию сдвижных две- рей
Е 21		Пункт (место) сбора	На дверях, стенах помеще- ний и в других местах для обозначения заранее преду- смотренных пунктов (мест) сбора людей в случае воз- никновения пожара, аварии или другой чрезвычайной ситуации
Е 22		Указатель выхода	Над дверями эвакуацион- ного выхода или в составе комбинированных знаков безопасности для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 23		Указатель запасного выхода	Над дверями запасного выхода

Эвакуационные знаки следует устанавливать в положениях, соответствующих направлению движения к эвакуационному выходу.

Изображение графического символа фигуры человека в дверном проеме на эвакуационных знаках Е 01-01 и Е 01-02 смыслового значения

«Выход здесь» должно совпадать с направлением движения к эвакуационному выходу».

Таблица 5.7

Знаки медицинского и санитарного назначения

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по при-менению
ЕС 01		Аптечка первой медицинской помощи	На стенах, дверях помещений для обозначения мест размещения аптечек первой медицинской помощи
ЕС 02		Средства выноса (эвакуации) пораженных	На дверях и стенах помещений в местах размеще- ния средств выноса (эва- куации) пораженных
ЕС 03		Пункт приема гигиенических процедур (душевые)	На дверях и стенах помещений в местах расположения душевых и т. п.
ЕС 04		Пункт обработки глаз	На дверях и стенах поме- щений в местах располо- жения пункта обработки глаз
ЕС 05		Медицинский кабинет	На дверях медицинских кабинетов
ЕС 06		Телефон связи с медицинским пунктом (скорой медицинской помощью)	В местах установки телефонов

Таблица 5.8.

Указательные знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по при- менению
D 01		Пункт(место) приема пищи	На дверях комнат приема пищи, буфетах, столовых, бытовых помещениях и в других местах, где разре- шается прием пиши
D 02		Питьевая вода	На дверях бытовых помещений и в местах распо- ложения кранов с водой, пригодной для питья и бы- товых нужд (туалеты, душевые, пункты приема пищи и т. д.)
D 03		Место курения	Используется для обозначения места курения на общественных объектах

Порядок выполнения работы

1. Изучить выдержку из ГОСТ Р 12.4.026–01.
2. Проверить усвоение материала, ответив на контрольные вопросы:

В какой цвет окрашено поле предупреждающего знака?

Какой размер имеет сторона треугольника предупреждающего знака № 4, наносимого на тару и оборудование?

Какой цвет имеет символическое изображение на запрещающем знаке?

Какую форму имеет предписывающий знак?

Какую форму имеет запрещающий знак?

Расстояние от наблюдателя до знака составляет 45 м. Какой размер должен иметь внешний диаметр круга запрещающего знака, мм?

Какой цвет имеют символические изображения или поясняю- щие надписи, наносимые на указательные знаки?

Расстояние от наблюдателя до знака составляет 60 м. Какие размеры

(стороны прямоугольника) должен иметь указательный знак, мм?

Какой цвет имеет квадрат, помещенный внутри указательного знака?

Какой размер имеет внешний диаметр круга запрещающего знака № 5, наносимого на производственное оборудование и тару?

3. Составить отчет. Отчет должен включать:

- цель практической работы;
- ответы на вопросы задания;
- зарисовку формы знаков (запрещающего, предупреждающего, предписывающего, указательного) с указанием цвета поля, символов, надпи- сей.

4. Показать отчет преподавателю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 12.4.026–01. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение, правила применения. Общие технические требования и реко- мендации. Методы испытания [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-поисковой системы «Техэксперт».

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6. РАССЛЕДОВАНИЕ И УЧЕТ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Цель задания - ознакомиться с понятием и причинами возникновения несчастных случаев, порядком их расследования и учет на производстве, также с методами анализа травматизма.

Порядок выполнения задания:

а) изучить и законспектировать общие сведения по пункту 1;

б) изучить методы анализа и рассчитать по вариантам показатели травматизма по пункту 2 (см контр. вопросы к пунктам 1 и 2);

в)изучить «Положением об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях» и законспектировать ответы на контрольные вопросы к пункту 3.

Общие сведения о несчастных случаях.

Несчастным случаем на производстве называют случай воздействия на работающего опасного производственного фактора при выполнении работающим трудовых обязанностей или заданий руководителя работы [1].

Повреждение здоровья в результате несчастного случая называют **травмой**. Травма, полученная работающим на производстве, называется **производственной.**

Опасным называют производственный фактор, воздействие которого при определенных условиях на работающего приводит к травме или другому внезапному ухудшению здоровья.

Вредным называют производственный фактор, воздействие которого на работающего приводит к заболеваниям или снижению его трудоспособности. В зависимости от уровня и продолжительности воздействия вредный производственный фактор может стать опасным.

Опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ) по природе

действия подразделяют на 4 группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

Производственные травмы в зависимости от характера воздействующих факторов подразделяются на:

а) механические повреждения (ушибы, ранения, вывихи, переломы, сотрясения мозга);

б) поражение электрическим током (электроудар, электротравма);

в) термические повреждения (ожоги пламенем, нагретыми частями оборудования, горячей водой и пр.);

г) химические повреждения (ожоги, острые отравления);

д) комбинированные повреждения (сочетание нескольких опасных факторов).

Производственные травмы по тяжести подразделяются на 6 категорий:

- микротравма (после оказания помощи можно продолжать работу).
- легкая травма (потеря трудоспособности на 1 или несколько дней).
- травма средней тяжести (многодневная потеря трудоспособности);
- тяжелая травма (когда требуется длительное лечение);
- травма, приводящая к инвалидности (частичная или полная утрата трудоспособно-сти);
- смертельная травма.

Причины возникновения производственных травм:

- организационные (нарушение технологического процесса и требований техники безопасности (ТБ), неправильная организация рабочего места и режима труда);
- технические (техническое несовершенство оборудования, неисправность механизмов, отсутствие или не использование защитных средств);
- санитарно-гигиенические (несоответствие условий труда требованиям КЗоТ, системе стандартов по безопасности труда (ССБТ), санитарным нормам(СН), строительным нормам и правилам (СНиП) и др.

- психофизиологические (неудовлетворительное состояние здоровья, переутомление, стресс, опьянение и др.).

Методы анализа показателей травматизма

Разработке мероприятий по улучшению условий труда предшествует необходимый этап - исследование и анализ причин травматизма. Для анализа состояния производственного травматизма применяют методы: статистический, экономический, монографический и топографический.

Статистический метод позволяет количественно оценить повторяемость несчастных случаев по ряду относительных коэффициентов. В результате сравнения полученных коэффициентов за отчетный период с предшествующим периодом можно оценить эффективность профилактических мер. Обычно при этом методе анализа несчастные случаи группируются по однородным признакам: профессиям, видам работ, возрасту, стажу работ, причинам, вызвавшим травму. Простота и наглядность являются несомненным достоинством этого метода. Однако у него есть и недостаток - он не выявляет опасные произ-водственные факторы. Среди основных показателей травматизма, используемых при статистическом методе анализа, являются:

а) коэффициент частоты травматизма - число пострадавших при несчастных случаях за отчетный период на 1ООО работающих, определяется по формуле:

$$K_{\text{ч}} = T_x \cdot \frac{1000}{P_C},$$

где Кч - коэффициент частоты травматизма; Т - число учтенных травм с потерей трудоспособности; Рс - среднесписочное число работающих за отчетный период.

б) коэффициент тяжести травматизма - число человеко-дней нетрудоспособно-сти, которое приходится на один несчастный случай и определяется по формуле:

$$\text{К}_\text{Т} = \frac{\text{Д}}{\text{Т}},$$

где Кт - коэффициент тяжести травматизма; Д - общее количество дней

нетрудоспособности за отчетный период; Т - количество учтенных травм.

в) коэффициент календарной повторяемости несчастных случаев

- показывает через сколько рабочих дней в среднем повторяются несчастные случаи и оп-ределяется по формуле:

$$В = 22{,}5 \cdot \frac{12}{Т},$$

где В - календарная повторяемость несчастных случаев; Т - число несчастных случаев за отчетный период.

г) коэффициент средней повторяемости - показывает на сколько человекодней приходится один несчастный случай, определяется по формуле:

$$B_{ср} = 22{,}5 \cdot 12 \cdot \frac{P_c}{T},$$

где Вср - коэффициент средней повторяемости несчастных случаев; Рс - среднесписочное число работающих за отчетный период; Т - число несчастных случаев за отчетный период.

д) коэффициент опасности работ - характеризуется тяжестью и частотой несчастных случаев, определяется по формуле:

$$О_р = К_Т \cdot Т_х \cdot \frac{100}{Р_с \cdot М \cdot 22{,}5},$$

где Ор - коэффициент опасности работ; Кт - коэффициент тяжести травматизма ; Т - количество учтенных несчастных случаев; Рс - среднесписочное число работающих; М - число месяцев в отчетном периоде.

Таблица 5.0

Исходные данные для расчета показателей травматизма

Показатели	Варианты									
										0
Отчетный период, мес. (М)				2				2		

Число несчастных случаев (Т)				0				1		
Число дней нетрудоспособности (Д)	80	00	80	20	00	50	70	20	60	00
Среднесписочное числоработающих (Рс)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Экономический метод анализа производственного травматизма позволяет оценить эффективность финансовых затрат на профилактику травматизма с расходами на органи-зационные и технические мероприятия. Для более полной и глубокой характеристики травматизма экономический метод часто используют в сочетании с монографическим методом.

Монографический метод анализа травматизма состоит в углубленном и всестороннем изучении отдельного производства, цеха или участка. Он включает описание технологического процесса, оборудования и особенностей технологического регламента, описание опасных зон на рабочих местах, также санитарно-гигиенические условия труда. При этом обращается внимание на наличие защитных приспособлений, ограждений и травмоопасных ситуаций

Монографический метод анализа травматизма характеризуется полнотой, но трудоемок. Этот метод позволяет выявить потенциальную опасность не только в действующих производствах, но и на этапе проектирования, тем самым исключить причины травматизма.

Топографический метод анализа травматизма проводится по месту происшествия. При этом все несчастные случаи условными знаками наносятся на план производственного участка или схему механизма в тех местах, где они произошли. В результате этого выявляются опасные зоны, требующие соответствующих защитных мер и особого внимания.

Контрольные вопросы к пунктам 1 и 2

1. Что такое несчастный случай?

2. Что такое опасный производственный фактор?

3. Что такое вредный производственный фактор?

4. На какие группы подразделяются опасные и вредные производственные факторы?

5. Какие различают разновидности производственных травм?

6. Какие выделяют категории производственных травм?

7. Каковы основные причины возникновения производственных травм?

8. Какие существуют методы анализа производственного травматизма ?

9. В чем заключается статистический метод анализа производственного травматизма?

10. Как определяется коэффициент частоты травматизма?

11. Как определяется коэффициент тяжести травматизма?

12. Как определяется коэффициент календарной повторяемости несчастных случаев?

13. Как определяется коэффициент средней повторяемости несчастных случаев?

14. Как определяется коэффициент опасности работ?

15. В чем заключается экономический метод анализа производственного травматизма?

16. В чем заключается монографический метод анализа производственного травматизма?

17. В чем заключается топографический метод анализа производственного травматизма?

Положение об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях

Расследование и учет несчастных случаев на производстве проводят в соответствии с “Положением об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях”, утвержденного

Постановлением Министерства труда и социального раз-вития Российской Федерации от 24 октября 2002г. №73, а также статьями 227-231 Трудового кодекса РФ (ТК РФ).

Несчастный случай на производстве - это случай, происшедший с работающим вследствие воздействия опасного производственного фактора (для застрахованного – это страховой случай).

Несчастные случаи в зависимости от причин, места и времени происшествия делятся на две группы: несчастные случаи, связанные с работой и несчастные случаи, не связанные с работой (бытовые травмы).

Несчастные случаи, не связанные с производством, но происшедшие на производстве - это несчастные случаи, происшедшие при изготовлении предметов в личных целях, самовольном использовании транспорта предприятия, участии в спортивных мероприятиях на территории предприятия, при хищении имущества предприятия.

Бытовые несчастные случаи - это несчастные случаи, происшедшие в быту (дома) или при нахождении на предприятии вне рабочего времени.

Расследование несчастных случаев на производстве выполняется в соответствии с Трудовым кодексом РФ и «Положением об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях», утверждённым постановлением Минтруда России № 73 от 24 октября 2002 года. Этим же постановлением утверждены формы документов, необходимых для расследования и учёта несчастных случаев на производстве.

Расследование несчастного случая может быть достаточно сложным процессом, поскольку интересы пострадавшего и работодателя часто не совпадают.

Действие нормативных актов по расследованию и учёту несчастных случаев на производстве распространяется на:

- работодателей - физических лиц, вступивших в трудовые отношения с работниками;
- уполномоченных работодателем лиц (представители работодателя);

- физических лиц, осуществляющих руководство организацией (руководители организации);
- физических лиц, состоящих в трудовых отношениях с работодателем;
- других лиц, участвующих с ведома работодателя в его производственной деятельности своим личным трудом, правоотношения которых не предполагают заключения трудовых договоров.

Расследованию подлежат травмы, в том числе причиненные другими лицами, включая:

- тепловой удар, ожог, обморожение;
- утопление; поражение электрическим током или молнией;
- укусы, нанесенные животными и насекомыми;
- повреждения, полученные в результате взрывов, аварий и т.п.

Расследованию и учёту подлежат несчастные случаи происшедшие:

- при исполнении трудовых обязанностей, в том числе во время коман-дировки, при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций;
- на территории организации, в течение рабочего времени, в том числе во время следования на работу и с работы, а также в течение вре-мени, необходимого для приведения в порядок рабочего места;
- при следовании на работу или с работы на транспортном средстве работодателя, а также на личном транспортном средстве при использовании его в производственных целях;
- во время служебных поездок на общественном транспорте, а также при следовании по заданию работодателя к месту выполнения работ и обратно, в том числе пешком;
- при следовании к месту служебной командировки и обратно;
- при следовании на транспортном средстве в качестве сменщика во время междусменного отдыха;
- во время междусменного отдыха при работе вахтовым методом;
- при привлечении к участию в ликвидации последствий

чрезвычайных ситуаций.

Работники организации обязаны незамедлительно извещать руководство о каждом происшедшем несчастном случае, об ухудшении состояния своего здоровья в связи с проявлениями признаков острого заболевания.

О каждом страховом случае работодатель в течение суток обязан сообщить страховщику (фонд социального страхования).

О групповом несчастном случае (пострадало два и более человек), тяжёлом несчастном случае или несчастном случае со смертельным исходом, работодатель в течение суток обязан направить извещение соответственно:

1) о несчастном случае, происшедшем в организации:

- в соответствующую государственную инспекцию труда;
- в прокуратуру по месту происшествия несчастного случая;
- в федеральный орган исполнительной власти по ведомственной принадлежности;
- в орган исполнительной власти субъекта Российской Федерации;
- в организацию, направившую работника, с которым произошел несчастный случай;
- в территориальные объединения организаций профсоюзов;
- в территориальный орган государственного надзора, если несчастный случай произошел в организации (объекте), подконтрольной этому органу;
- страховщику.

2) о несчастном случае, происшедшем у работодателя - физического лица:

- в соответствующую государственную инспекцию труда;
- в прокуратуру по месту нахождения работодателя - физического лица;
- в орган исполнительной власти субъекта Российской Федерации;
- в территориальный орган государственного надзора, если

несчастный случай произошел на объекте, подконтрольном этому органу;

- страховщику.

О групповых несчастных случаях, тяжелых несчастных случаях и несчастных случаях со смертельным исходом также информируется Федеральная инспекция труда Минтруда России.

Если указанные несчастные случаи, произошли в организациях, эксплуатирующих опасные производственные объекты, то соответствующим образом информируются специально уполномоченные органы государственного надзора.

Для расследования несчастного случая на производстве в организации работодатель незамедлительно создает комиссию в составе не менее трех человек. Во всех случаях состав комиссии должен состоять из нечетного числа членов.

В состав комиссии включаются специалист по охране труда организации, представители работодателя, представители профсоюзного органа (коллектива), уполномоченный (доверенный) по охране труда. Комиссию возглавляет работодатель или уполномоченный им представитель. Состав комиссии утверждается приказом работодателя. Руководитель, непосредственно отвечающий за безопасность труда на участке, где произошел несчастный случай, в состав комиссии не включается.

В расследовании несчастного случая на производстве у работодателя - физического лица принимают участие указанный работодатель или уполномоченный его представитель, доверенное лицо пострадавшего, специалист по охране труда, который может привлекаться к расследованию несчастного случая и на договорной основе.

Несчастный случай на производстве, происшедший с лицом, направленным для выполнения работ к другому работодателю, расследуется комиссией, образованной работодателем, у которого произошел несчастный случай. В состав данной комиссии входит уполномоченный представитель работодателя, направившего это лицо.

Несчастные случаи, происшедшие на территории организации с работниками сторонних организаций при исполнении ими задания направившего их работодателя, расследуются комиссией, формируемой этим работодателем.

Несчастные случаи, происшедшие с работниками при выполнении работы по совместительству, расследуются комиссией, формируемой работодателем, у которого фактически производилась работа по совместительству.

Расследование несчастных случаев со студентами, проходящими произ-водственную практику (выполняющими работу под руководством работодателя), проводится комиссиями, формируемыми и возглавляемыми этим работодателем. В состав комиссии включаются представители образовательного учреждения.

Для расследования группового несчастного случая, тяжёлого несчастного случая и несчастного случая со смертельным исходом в комиссию дополнительно включаются:

- государственный инспектор труда, представители органа исполнительной власти субъекта РФ или органа местного самоуправления (по согласованию), представитель территориального объединения профсоюзов. Возглавляет комиссию государственный инспектор труда;
- по требованию пострадавшего (или его родственников) в расследовании несчастного случая может принимать участие его доверенное лицо;
- в случае острого отравления или радиационного воздействия, превысившего установленные нормы, в состав комиссии включается также представитель территориального центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора;
- при несчастном случае, происшедшем в организациях на объектах, подконтрольных территориальным органам Федерального горного и промышленного надзора России, состав комиссии утверждается руководителем

соответствующего территориального органа и возглавляет комиссию представитель этого органа;

- при групповом несчастном случае с числом погибших 5 и более человек в состав комиссии включаются также представители Федеральной инспекции труда, федерального органа исполнительной власти по ведомственной принадлежности и общероссийского объединения профсоюзов. Председателем комиссии является главный государственный инспектор труда по субъекту Российской Федерации, а на объектах, подконтрольных территориальному органу Федерального горного и промышленного надзора России, - руководитель этого территориального органа.

При крупных авариях с человеческими жертвами 15 и более человек расследование проводится комиссией, назначаемой Правительством России.

Расследование несчастных случаев (в том числе групповых), в результате которых пострадавшие получили повреждения, отнесенные в соответствии с установленными квалифицирующими признаками к категории легких, проводится в течение трех дней.

Расследование иных несчастных случаев проводится в течение 15 дней. В некоторых случаях председатель комиссии может продлить срок расследования, но не более чем на 15 дней. Несчастные случаи, о которых не было своевременно сообщено работодателю или в результате которых нетрудоспособность наступила не сразу, расследуются по заявлению пострадавшего в течение месяца.

Тяжелые несчастные случаи и несчастные случаи со смертельным исходом, происшедшие с лицами, выполнявшими работу на основе договора гражданско-правового характера, расследуются в установленном порядке государственными инспекторами труда на основании заявления пострадавшего (доверенного лица, членов его семьи).

В ходе расследования несчастного случая комиссия производит осмотр места происшествия, выявляет и опрашивает очевидцев несчастного случая и должностных лиц, знакомится с действующими в организации нормативными и

распорядительными документами, по возможности получает объяснения от пострадавшего.

Расследуются в установленном порядке и по решению комиссии могут квалифицироваться как не связанные с производством:

- смерть вследствие общего заболевания или самоубийства;
- смерть или иное повреждение здоровья, единственной причиной которых явилось алкогольное, наркотическое или иное токсическое опьянение (отравление) работника;
- несчастный случай, происшедший при совершении пострадавшим действий, квалифицированных правоохранительными органами как уголовное правонарушение.

При поступлении жалобы пострадавшего, выявлении сокрытого несчастного случая, установления нарушений порядка расследования и в некоторых иных случаях, государственный инспектор труда, независимо от срока давности несчастного случая, проводит дополнительное расследование.

Несчастные случаи, квалифицированные, как несчастные случаи на производстве, подлежат оформлению актом о несчастном случае на производстве по форме Н-1*.

Акт формы Н-1 составляется комиссией в двух экземплярах. При несчастном случае на производстве с застрахованным работником составляется дополнительный экземпляр акта формы Н-1.

При групповом несчастном случае на производстве акты формы Н-1 составляются на каждого пострадавшего отдельно.

В случае установления факта грубой неосторожности застрахованного работника, содействовавшей возникновению или увеличению размера вреда, причиненного его здоровью, в акте расследования указывается степень его вины в процентах, с учетом заключения профсоюзного или иного уполномоченного застрахованным представительного органа данной организации (не более 25%).

По результатам расследования каждого группового несчастного случая,

тяжелого несчастного случая или несчастного случая со смертельным исхо-дом составляется соответствующий акт в двух экземплярах.

Работодатель в трехдневный срок после завершения расследования несчастного случая на производстве обязан выдать пострадавшему один экземпляр утвержденного им и заверенного печатью акта формы Н-1. Вторые экземпляры акта с копиями материалов расследования хранятся в течение 45 лет работодателем.

При страховых случаях третий экземпляр утвержденного и заверенного печатью акта формы Н-1 работодатель направляет страховщику.

Каждый оформленный в установленном порядке несчастный случай на производстве регистрируются работодателем в журнале регистрации несчастных случаев на производстве и включаются в годовую форму федерального государственного статистического наблюдения за травматизмом на производстве.

В случае ликвидации организации или прекращения работодателем - физическим лицом предпринимательской деятельности оригиналы актов о расследовании несчастных случаев на производстве подлежат передаче на хранение правопреемнику, а при его отсутствии - соответствующему государственному органу.

Государственный надзор и контроль за соблюдением установленного порядка расследования, оформления и учета несчастных случаев на производстве осуществляется органами Федеральной инспекции труда.

Контрольные вопросы к пункту 3

1. Какие несчастные случаи считаются связанными с производством и подлежат расследованию и учету?
2. На кого распространяется действие Положения о порядке расследования и учета несчастных случаев?
3. Как должен действовать работодатель при возникновении несчастного случая на предприятии?
4. Что необходимо сделать сразу же после свершения несчастного

случая на произ-водстве?

5. Куда должен сообщить работодатель и в какие сроки о групповом несчастном случае или несчастном случае со смертельным исходом?

6. Кто несет ответственность за организацию и своевременное расследование и уче-та несчастных случаев?

7. Кто входит в комиссию по расследованию несчастных случаев, каковы ее обязанности?

8. В какие сроки должно быть проведено расследование несчастного случая?

9. Какие несчастные случаи квалифицируются как не связанные с производством?

10. Что делают при установлении грубой неосторожности пострадавшего?

11. В какие сроки и комиссией какого состава расследуются групповые несчастные случаи или со смертельным исходом?

12. Какие условия должен обеспечить работодатель для работы комиссии, проводя-щей расследование несчастного случая?

13. Каким документом оформляются несчастные случаи на производстве?

14. Какой организацией учитывается акт о несчастном случае?

15. В какие сроки и куда должны быть отправлены материалы расследования групповых несчастных случаев?

16. Какие организации и должностные лица разбирают разногласия при оформлении актов по форме Н - 1 ?

17. Каковы полномочия государственного инспектора по охране труда в случае нарушения порядка расследования несчастного случая?

Форма Н-1

Один экземпляр направляется
пострадавшему или его
доверенному лицу

УТВЕРЖДАЮ

_____
(подпись, фамилия, инициалы
работодателя
(его представителя))
"__" _____ 200_ г.

Печать

АКТ N ____
О НЕСЧАСТНОМ СЛУЧАЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

1. Дата и время несчастного случая _____
_____
(число, месяц, год и время происшествия
несчастного случая,
_____
количество полных часов от начала работы)
2. Организация (работодатель), работником которой является
(являлся) пострадавший _____
(наименование, место нахождения,
юридический адрес, ведомственная
и отраслевая
_____
принадлежность (ОКОНХ основного вида деятельности);
фамилия, инициалы работодателя -
_____
физического лица)
Наименование структурного подразделения _____
_____
3. Организация, направившая работника _____
_____
(наименование, место нахождения, юридический адрес,
отраслевая принадлежность)
4. Лица, проводившие расследование несчастного случая:
_____
(фамилия, инициалы, должности и место работы)
_____
5. Сведения о пострадавшем:
фамилия, имя, отчество _____
пол (мужской, женский) _____
дата рождения _____
профессиональный статус _____
профессия (должность) _____
стаж работы, при выполнении которой произошел несчастный случай
_____,
(число полных лет и месяцев)
в том числе в данной организации _____
(число полных лет и месяцев)
6. Сведения о проведении инструктажей и обучения по охране труда
Вводный инструктаж _____
(число, месяц, год)
Инструктаж на рабочем месте (первичный, повторный, внеплановый,

---------- -------
(нужное подчеркнуть)
целевой)

по профессии или виду работы, при выполнении которой произошел несчастный случай _____
(число, месяц, год)
Стажировка: с "__" _____ 200_ г. по "__" _____ 200_ г.
_____
(если не проводилась - указать)
Обучение по охране труда по профессии или виду работы, при выполнении которой произошел несчастный случай: с "__" _____ 200_ г. по "__" _____ 200_ г. _____
(если не проводилось - указать)
Проверка знаний по охране труда по профессии или виду работы, при выполнении которой произошел несчастный случай _____
(число, месяц, год, N протокола)
7. Краткая характеристика места (объекта), где произошел несчастный случай
_____
(краткое описание места происшествия с указанием опасных и (или) вредных производственных
_____
факторов со ссылкой на сведения, содержащиеся в протоколе осмотра места несчастного случая)
_____
Оборудование, использование которого привело к несчастному случаю
_____
(наименование, тип, марка, год выпуска, организация - изготовитель)
8. Обстоятельства несчастного случая
_____
(краткое изложение обстоятельств, предшествовавших несчастному случаю, описание событий
_____
и действий пострадавшего и других лиц, связанных с несчастным случаем, и другие сведения,
_____
установленные в ходе расследования)
_____
_____
_____
8.1. Вид происшествия _____
_____
8.2. Характер полученных повреждений и орган, подвергшийся повреждению, медицинское заключение о тяжести повреждения здоровья
_____
8.3. Нахождение пострадавшего в состоянии алкогольного или наркотического опьянения _____
(нет, да - указать состояние и степень опьянения в соответствии с заключением по
_____
результатам освидетельствования, проведенного в установленном порядке)
8.4. Очевидцы несчастного случая _____
_____
(фамилия, инициалы, постоянное место жительства,

домашний телефон)
9. Причины несчастного случая _____
(указать основную
и сопутствующие причины
_____
несчастного случая со ссылками на нарушенные требования
законодательных и иных
_____
нормативных правовых актов, локальных нормативных актов)
_____
_____
_____
_____
10. Лица, допустившие нарушение требований охраны труда:
_____
(фамилия, инициалы, должность (профессия) с указанием
требований законодательных,
_____
иных нормативных правовых и локальных нормативных актов,
предусматривающих их
_____
ответственность за нарушения, явившиеся причинами
несчастного случая, указанными в п. 9
_____
настоящего акта; при установлении факта грубой
неосторожности пострадавшего указать
_____
степень его вины в процентах)
_____
Организация (работодатель), работниками которой являются данные
лица
_____
(наименование, адрес)
11. Мероприятия по устранению причин несчастного случая, сроки
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Подписи лиц, проводивших
расследование несчастного случая _____
(фамилии, инициалы, дата)
_____

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.О.ОО2 - 8О. Термины и определения.
2. Положение об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях
3. И.М.Чижевский, Г.Б.Куликов, Ю.А.Сидорин. Охран труда в полиграфии. М., 1988.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7. СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

Цель работы – ознакомиться со средствами защиты органов ды- хания и получить практические навыки их использования.

Теоретические положения

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) предназначены для защиты человека от попадания внутрь организма, на кожные покровы и повседневную одежду радиоактивных веществ (РВ), отравляющих веществ (ОВ) и бактериальных средств (БС).

По принципу применения средства индивидуальной защиты делятся:

– на средства защиты повседневного применения (промышленные СИЗ);

– средства защиты эпизодического применения (СИЗ для аварийных работ и пострадавших в очагах ЧС).

По объектам защиты средства индивидуальной защиты делятся:

– на средства защиты органов дыхания;

– средства защиты кожи.

По принципу действия средства индивидуальной защиты делятся:

– на фильтрующие (принцип фильтрации состоит в том, что воздух, необходимый для поддержания жизнедеятельности организма человека, очищается от вредных примесей при прохождении через средство защиты);

– изолирующие (средства защиты изолирующего типа полностью изолируют организм человека от окружающей среды с помощью материалов, непроницаемых для воздуха и вредных примесей).

По способу подачи воздуха различают средства индивидуальной

защиты делятся:

– с принудительной подачей воздуха;

– самовсасывающие.

По кратности использования средства индивидуальной защиты

- на СИЗ многократного использования;

- СИЗ однократного использования.

По способу изготовления средства индивидуальной защиты делятся:

- на средства, изготовленные промышленностью;

- простейшие средства, изготовленные из подручных материалов. Кроме средств индивидуальной защиты существуют медицинские средства защиты [1].

Средства защиты органов дыхания.

Фильтрующий противогаз.

Фильтрующий противогаз предназначен для защиты органов дыхания, глаз, кожи лица от воздействия ОВ, РВ, БС, (АХОВ), а также различных вредных примесей, присутствующих в воздухе.

В настоящее время имеются фильтрующие гражданские противогазы различной модификации и промышленные противогазы.

Для защиты населения наибольшее распространение получили фильтрующие противогазы: для взрослого населения – ГП-5 (ГП-5М), ГП-7 (ГП-7В); для детей – ПДФ-Ш, ПДФ-Д, ПДФ-2Ш, ПДФ-2Д, КЗД.

Гражданский противогаз (ГП-5). В состав комплекта входят два основных элемента: фильтрующе-поглощающая коробка ГП-5 и лицевая часть ШМ-62у. Шлем-маска имеет 5 ростов (0, 1, 2, 3, 4). Кроме того, противогаз комплектуется сумкой, наружными утеплительными манжетами (НМУ-1) и коробкой с незапотевающими пленками (рис. 9.1) [2]. У него нет соединительной трубки.

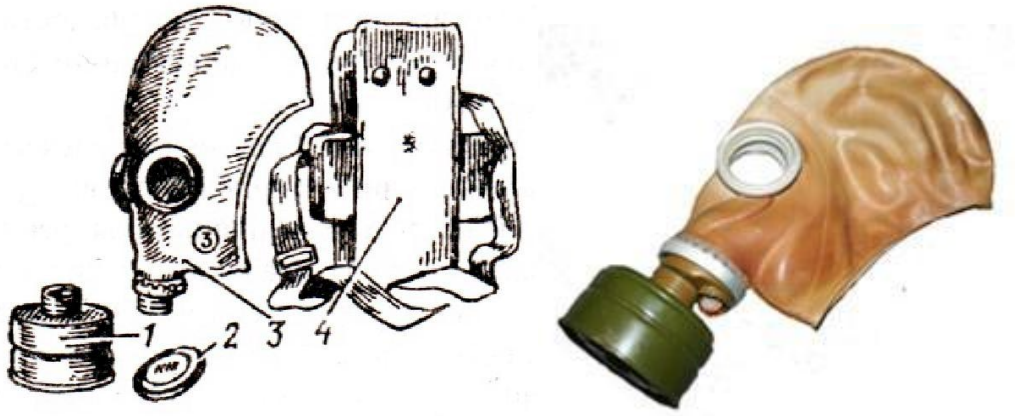


Рис. 7.1 Гражданский фильтрующий противогаз (ГП-5):

1 – фильтрующе-поглощающая коробка ГП-5; 2 - коробка с незапотевающими пленками; 3 – лицевая часть ШМ-62у; 4 – сумка

Внутри фильтрующе-поглощающей коробки ГП-5 расположены противоаэрозольный фильтр и шихта. Лицевая часть ШМ-62у представляет собой шлем-маску, изготовленную на основе резины из натурального или синтетического каучука. В шлем-маску вмонтированы очковый узел и клапанная коробка. Клапанная коробка имеет один вдыхательный и два выдыхательных клапана и служит для распределения потоков воздуха. Незапотевающие пленки изготавливаются из целлюлозы и бывают односторонние (НП) и двусторонние (НПН). Они устанавливаются с внутренней стороны стекол противогаза желатиновым покрытием к глазам и фиксируются прижимными кольцами. Желатин равномерно впитывает конденсированную влагу, тем самым сохраняя прозрачность пленки.

Комплект из 6 пленок упакован в металлическую коробку. Утеплительные манжеты используются только зимой при температуре ниже – 10 ^{o}С. Манжета надевается на обойму очков с внешней стороны. Пространство между стеклами манжет и очков предохраняет очки шлем- маски от замерзания.

Гражданский противогаз (ГП-5М). В комплект противогаза входит шлем-маска (ШМ-66Му) с мембранной коробкой для переговорного устройства. В лицевой части сделаны сквозные вырезы для ушных раковин, что обеспечивает нормальную слышимость.

Подгонка противогаза начинается с определения требуемого роста лицевой части. Рост лицевой части типа ШМ-62у, ШМ-66Му определяется по величине вертикального обхвата головы путем ее измерения по замкнутой линии, проходящей через макушку, щеки и подбородок. Измерения округляют до 0,5 см. До 63 см берут нулевой рост, от 63,5 до 65,5 см – первый, от 66 до 68 см – второй, от 68,5 до 70,5 см – третий, от 71 см и более – четвертый.

Перед применением противогаз следует проверить на исправность и герметичность. Осматривая лицевую часть, следует определить ее целостность, обратив внимание на стекла очкового узла. После этого нуж- но проверить клапанную коробку, состояние клапанов. Они не должны быть покороблены, засорены или порваны. На фильтрующе-поглощающей коробке не должно быть вмятин, проколов, в горловине – повреждений. Обращается внимание на то, чтобы в коробке не пересыпались зерна поглотителя.

Наиболее совершенными в настоящее время являются противогазы ГП-7 и ГП-7В. Их основными отличиями являются: более совершенная конструкция и форма шлем-маски, обеспечивающая возможность безопасного приема воды, жидких лекарств, других жидкостей в зараженной зоне без снятия маски. Наличие в комплекте фильтрующе-поглощающих коробок обеспечивает защиту от конкретных видов твердых химических веществ (ТХВ), а также увеличенные сроки работоспособности. Ростовка лицевой части предусматривает три размера. Как и другие типы противогазов, они состоят из фильтрующе- поглощающей коробки и лицевой части.

Гражданский противогаз (ГП-7). В комплект противогаза входят фильтрующе-поглощающая коробка ГП-7к, лицевая часть в виде маски МГП, сумка, защитный трикотажный чехол, коробка с незапотевающими пленками, утеплительные манжеты. Его масса в комплекте без сумки – около 900 г (фильтрующе-поглощающая коробка – 250 г, лицевая часть – 600 г).

Фильтрующе-поглощающая коробка ГП-7к по конструкции аналогична коробке ГП-5, но с улучшенными характеристиками, уменьшено ее сопротивление, что облегчает дыхание. Лицевая часть МГП представляет собой маску объемного типа с «независимым» обтюратором, с наголовником (предназначен для закрепления лицевой части) в виде резиновой пластины с пятью лямками (лобная, две височные, две щечные), с очковым узлом, переговорным устройством (мембраной), узлами клапана вдоха и выдоха, прижимными кольцами для закрепления незапотевающих пленок (рис. 9.2) [2]. «Независимый» обтюратор представляет собой полосу тонкой резины и служит для создания надежной герметизации лицевой части на голове. При этом механическое воздействие лицевой части на голову очень незначительно. На каждой лямке с интервалом в 1 см нанесены упоры ступенчатого типа, которые предназначены для надежного закрепления их в пряжках. У каждого упора имеется цифра, указывающая его порядковый номер. Это позволяет точно фиксировать нужное положение лямок при подгонке маски. Нумерация цифр идет от свободного конца лямки к затылочной пластине. Гидрофобный трикотажный чехол надевается на фильтрующе-поглощающую коробку и предохраняет ее от заражения, снега, пыли и влаги.

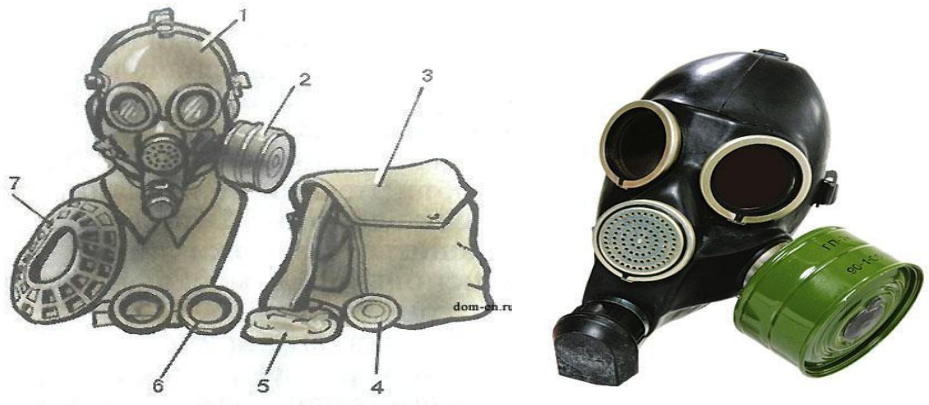


Рис. 7.2. Противогаз ГП-7:

1 – лицевая часть; *2* – фильтрующе-поглощающая коробка; *3* – сумка; *4* – коробка с незапотевающими пленками; *5* – трикотажный чехол; *6* – утеплительные манжеты

Гражданский фильтрующий противогаз (ГП-7, ГП-7В, ГП-7ВМ) – это одна из самых последних и совершенных моделей противогазов для населения. В реальных условиях он обеспечивают высокую защиту от паров отравляющих веществ нервнопаралитического действия (типа зарин, зоман и др.), общеядовитого действия (хлорциан, синильная кислота и др.), радиоактивных веществ (радионуклидов йода и его органических соедине- ний (типа йодистый метил и др.)); от капель отравляющих веществ кожно- нарывного действия (иприт и др.), бактериальных, аварийных химически опасных веществ (АХОВ). ГП-7 имеет малое сопротивление дыханию, обеспечивает надежную герметизацию и небольшое давление лицевой час- ти на голову. Благодаря этому им могут пользоваться люди старше 60 лет и больные с легочными и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Подбор лицевой части необходимого типоразмера ГП-7 осуществляется на основа- нии результатов измерения мягкой сантиметровой лентой горизонтального и вертикального обхвата головы.

Правила определения размера противогаза.

Для определения размера противогаза нужно знать горизонталь- ный и вертикальный обхват головы. Горизонтальный обхват измеряется по замкнутой линии, которая проходит спереди по надбровным дугам, сбоку чуть выше (на 2–3 см) ушной раковины и сзади по наиболее выступающей части головы. А вертикальный обхват можно определить посредством из- мерения длины вертикальной линии, проходящей через подбородок, щеки и макушку. Полученные измерения следует округлить так, чтобы послед- няя цифра была 0 или 5. Затем нужно сложить оба результата и посмот- реть, какой размер противогаза вам нужен [3]:

- менее 1190 мм – первый размер;
- от 1195 до 1210 мм – второй размер;
- от 1215 до 1235 мм – третий размер;
- от 1240 до 1260 мм – четвертый размер;
- от 1265 до 1285 мм – пятый размер;

- от 1290 до 1310 мм – шестой размер.

Надевается противогаз после сигнала «Химическая тревога» по команде «Газы», либо по своей инициативе. Вынув противогаз из специальной сумки, следует взять шлем-маску за его нижнюю часть так, чтобы большие пальцы рук находились снаружи, а остальные были внутри. Далее нужно приложить нижнюю часть шлема-маски под подбородок и натянуть его на голову резким движением рук вверх.

Учитывая то, что операции, которые описаны выше, придется проводить вслепую, нужно достаточно долго тренироваться. Хотя все зависит от человека и степени его обучаемости. Хорошо попрактиковавшись, можно приблизиться к армейским нормативам на надевание противогаза – около 7–10 с. Наличие у противогаза переговорного устройства (мембра- ны) обеспечивает четкое понимание передаваемой речи, значительно облегчает пользование средствами связи (телефон, радио).

Гражданские противогазы ГП-7В, ГП-7ВМ, УЗС-ВК, КЗД-6, фильтр ДОТ, фильтр ВК, ДПГ-3 (рис. 7.3). ГП-7В отличается от ГП-7 тем, что в нем лицевая часть МГП-В имеет устройство для приема воды, пред- ставляющее собой резиновую трубку с мундштуком и ниппелем.

ГП-7ВМ отличается от ГП-7В тем, что маска М-80 имеет очковый узел в виде трапециевидных изогнутых стекол, обеспечивающих возможность работы с оптическими приборами.

Гражданский фильтрующий противогаз ГП-7 обеспечивает защиту органов дыхания, глаз и кожи лица человека от вредных веществ и приме- сей, находящихся в воздухе. Это проверенная временем и надежная модель противогаза для гражданского населения.






а *б* *в* *г*



д *е* *ж*

Рис. 7.3. Гражданские противогазы:

а – ГП-7(В, ВМ); *б* – УЗС-ВК; *в* – ПДФ-2; г – КЗД-6; *д* – фильтр ДОТ; *е* – фильтр ВК; *ж* – ДПГ-3;

Подбор лицевой части необходимого типоразмера ГП-7 осуществляется на основании результатов измерения мягкой сантиметровой лентой горизонтального и вертикального обхвата головы. Горизонтальный обхват определяется измерением головы по замкнутой линии, проходящей спереди по надбровным дугам, сбоку на 2–3 см выше края ушной раковины и сзади через наиболее выступающую точку головы. Вертикальный обхват определяется измерением головы по замкнутой линии, проходящей через макушку, щеки и подбородок. Измерения округляются с точностью до 5 мм. По сумме двух измерений устанавливают нужный типоразмер (табл. 7.0). [4].

Правильно подобранная шлем-маска (маска) должна плотно прилегать к лицу и исключать возможность проникновения наружного воздуха в органы дыхания, минуя фильтрующе-поглощающую коробку.

Таблица 7.0

Типоразмеры противогазов

Рост лицевой части		1		2		3		
Положение упоров лямок	ГП-7, ГП-7В	4-8-8	3-7-8	3-7-8	3-6-7	3-6-7	3-5-6	3-4-5
	ГП-7ВМ	4-8-6	3-7-6	3-7-6	3-6-5	3-6-5	3-5-4	3-4-3
Сумма горизонтального и вертикального обхвата головы		До 1185	1190–1210	121–1235	1240–1260	1265–1285	1290–1310	1310 и более

*Примечание. П*оложение лямок наголовника устанавливают при подгонке противогаза.

Противогаз УЗС-ВК – аварийно-спасательное средство многоразового действия, применяется для защиты органов дыхания человека от вредных веществ, может использоваться во всех климатических зонах.

Противогаз ПДФ-2 предназначен для защиты органов дыхания, зрения и лица детей (старше 1,5 года) от отравляющих веществ (ОВ), опасных биологических веществ (ОБВ), радиоактивной пыли (РП).

Камера защитная детская (КЗД-6) предназначена для защиты детей в возрасте до 1,5 года от отравляющих веществ, радиоактивной пыли и бактериальных средств. Детская защитная камера похожа на обычную сумку, поэтому переносить ребенка в ней очень удобно.

Дополнительный патрон (ДПГ-3) предназначен для использования в комплекте с ГП-7, ГП-7В и детскими противогазами, для защиты органов дыхания, кожи лица и глаз человека от сильнодействующих ядовитых веществ: аммиака, диметиламина, нитробензола.

Фильтр ДОТ соответствует новым ГОСТам, гармонизированным с европейскими стандартами EN141, EN143. Он значительно эффективнее по сравнению с противогазовыми коробками, выпускаемыми по старым ГОСТа, за счет уникальных поглотителей от отравляющих веществ, опас- ных биологических веществ, радиоактивной пыли, сильнодействующих ядовитых веществ.

Фильтр ВК предназначен для очистки вдыхаемого воздуха от органических газов и паров с температурой кипения выше 65 ^{o}C (циклогек- сан, бензол, ксилол, толуол, бензин, керосин, галоидоорганические соеди- нения (хлорпикрин, хлорацетофенон и т. п.), нитросоединения бензола).

Промышленные противогазы. Существует несколько марок промышленных фильтрующих противогазов, которые являются индивидуальным средством защиты органов дыхания и зрения рабочих различных отраслей промышленности, сельского хозяйства от воздействия

вредных веществ (газы, пары, пыль, дым и туман), присутствующих в воздухе.

Запрещается применять промышленные противогазы при недостатке кислорода в воздухе (менее 18 %), например при работах в емкостях, цистернах, колодцах и других изолированных помещениях.

Не допускается применение промышленных противогазов для защиты от низкокипящих жидкостей, плохо сорбирующихся органических веществ, например метана, этилена, ацетилена. Не рекомендуется работать в таких противогазах, если состав газов и паров вредных веществ неизвестен (Рис. 7.4).



ППФМ-92 ПФМГ-96 ПФСГ-98 ППФ-95

Рис. 7.4. Промышленные противогазы

Противогазы ППФМ-92, ПФМГ-96, ПФСГ-98 предназначены для защиты органов дыхания, глаз и лица человека от вредных газо- и парооб- разных веществ и аэрозолей, присутствующих в воздухе рабочей зоны. ППФ-95 предназначены для защиты органов дыхания, зрения и лица рабо- чих различных отраслей промышленности и сельского хозяйства от воз- действия вредных газов, паров, пыли, дыма и тумана, присутствующих в воздухе. Фильтрующие противогазы надежны в атмосфере, содержащей не менее 18 % кислорода.

Промышленный противогаз состоит из снаряженной коробки, лицевой части (шлем-маски) с соединительной трубкой и сумки. Фильтрующая коробка служит для очистки воздуха, вдыхаемого человеком, от ядовитых веществ и вредных примесей. В зависимости от состава этих примесей она может содержать один или несколько специальных поглотителей или сочетание поглотителя с аэрозольным фильтром. При этом коробки строго специализированы по составу поглотителей, а поэтому отличаются друг от

друга окраской и маркировкой. Шлем-маски промышленных противогазов изготавливаются пяти ростов – 0, 1, 2, 3, 4. Чтобы подобрать шлем-маску, надо мягкой сантиметровой линейкой произвести два измерения головы. Вначале определить длину круговой линии, проходящей по подбородку, щекам и через высшую точку головы (макушку). Затем измерить длину полуокружности, проходящей от отверстия одного уха к отверстию другого по лбу через надбровные дуги. Результаты двух обмеров суммируют и находят требуемый рост шлем-маски.

При сумме до 93 см размер нулевой, от 93 до 95 см – первый, от 95 до 99 см – второй, от 99 до 103 см – третий, от 103 и выше – четвертый [4].

Противогазы комплектуют коробками двух размеров (большая и малая) и трех типов: без аэрозольного фильтра, с аэрозольным фильтром (на коробке белая вертикальная полоса), без аэрозольного фильтра с уменьшенным сопротивлением дыханию (имеет индекс 8 в маркировке). В зависимости от вида вредного вещества выпускают коробки следующих марок: А, В, Г, Е, КД, СО, М (табл. 9.2) [5].

Коробки марок А, В, Г, Е, КД изготавливаются как с аэрозольными фильтрами, так и без них; коробка БКФ – только с аэрозольными фильтрами; коробки СО и М – без аэрозольных фильтров. Белая вертикальная полоса на коробке означает, что она оснащена аэрозольным фильтром.

Таблица 7.1

Характеристика промышленных противогазов

Марка противогаза	Маркировка и окраска	Соединения, от которых защищают ПП
А	Коричневая	Пары органических соединений (бензин, керосин, ацетон, бензол, толуол, ксилол, сероуглерод, спирты, эфиры, галоидоорганические соединения, нитросоединения бензола и его гомологи, тетроэтилсвинец, фосфор- и хлорорганические ядохимикаты)

Продолжение табл. 7.1

Марка противогаза	Маркировка и окраска	Соединения, от которых защищают ПП
В	Желтая	Кислые газы и пары (диоксида серы, гидрид серы, хлор, циан гидрида, окислы азота, хлориды водорода, фосген), фосфор- и хлорорганические ядохимикаты
Г	Черно-желтая	Пары ртути и ртутьорганическе ядохимикаты на основе этилмеркурхлорида
Е	Черная	Гидрид мышьяка и гидрид фосфора
К	Зеленая	Аммиак, а также пыль, дым, туман
КД	Серая, с бе- лой поло- сой	Аммиак и сероводород
БКФ	Защитная, с белой полосой	Кислые газы и пары, пары органических веществ, гидрид мышьяка, гидрид фосфора, пыль, дым, туман
СО	Белая	Оксид углерода
М	Красная	Оксид углерода в присутствии паров органических ве- ществ, кислые газы, аммиак, гидрид мышьяка, гидрид фосфора, пары органических соединений (бензин, керо- син, ацетон, бензол, ксилол, сероуглерод, толуол, спирты, эфиры, анилин, соединения бензола и его гомологи)
П-2У	Красная с белой поло- сой	Пары карбонилов никеля и железа, оксид углерода и со-путствующие аэрозоли
Б	Синяя	Бороводороды: диборан, пентаборан, этилентаборан, ди-этилдекаборан и их аэрозоли
УМ	Защитная	Пары и аэрозоли гептила, амил, самин, нитромеланж, амидол
ГФ	Голубая	Газообразный гексафторид урана, фтор, фтористый водо- род, радиоактивные аэрозоли

Пользование противогазом. Подобрав шлем-маску, ее обязательно примеряют. Новую лицевую часть предварительно необходимо протереть снаружи и внутри чистой тряпочкой или тампоном ваты, смоченным в воде, а клапаны выдоха продуть. Шлем-маску, бывшую в употреблении, следует отсоединить от коробки, протереть двухпроцентным раствором формалина или промыть водой с мылом и просушить.

При сборке противогаза шлем-маску берут в левую руку за клапанную коробку, а правой рукой ввинчивают до отказа фильтрующе- поглощающую коробку навинтованной горловиной в патрубок клапанной коробки шлем-маски.

При переводе противогаза в «боевое» положение необходимо:

– снять головной убор и зажать его между коленями или положить рядом;

– убрать волосы со лба и висков, женщинам следует гладко

– зачесать волосы назад, заколки и украшения снять (их попадание под обтюратор приведет к нарушению герметичности);

– вынуть шлем-маску из сумки, взять ее обеими руками за утолщенные края у нижней части так, чтобы большие пальцы рук были с наружной стороны, а остальные – внутри. Подвести шлем-маску к подбородку и резким движением рук вверх и назад натянуть ее на голову так, чтобы не было складок, а очки пришлись против глаз (ГП-5, ГП-5М);

– для правильного надевания ГП-7 надо взять лицевую часть обеими руками за щечные лямки так, чтобы большие пальцы захватывали их изнутри. Задержать дыхание, закрыть глаза. Затем зафиксировать подбородок в нижнем углублении обтюратора и движением рук вверх и назад натянуть наголовник на голову и подтянуть до упора щечные лямки;

– сделать полный выдох (для удаления зараженного воздуха из-под шлем-маски, если он туда попал в момент надевания), открыть глаза и возобновить дыхание;

– надеть головной убор, застегнуть сумку и закрепить ее на туловище.

Дополнительные патроны

В результате развития химической и нефтехимической промышленности в производстве увеличено применение химических веществ. Многие из них по своим свойствам вредны для здоровья людей. Их называют сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ).

С целью расширения возможностей гражданских противогазов по защите от СДЯВ для них введены дополнительные патроны (ДПГ-1 и ДПГ-3).

ДПГ-1 в комплекте с противогазом защищает от двуокиси азота, метила хлористого, окиси углерода и окиси этилена. ДПГ-3 в комплекте с противогазом защищает от аммиака, хлора, диметиламина, нитробензола, сероводорода, сероуглерода, синильной кислоты, тетраэтилсвинца, фенола, фурфурола, хлористого водорода.

Внутри патрона ДПГ-1 два слоя шихты – специальный поглотитель и гопкалит. В ДПГ-3 только один слой поглотителя. Чтобы защитить шихту от увлажнения при хранении, горловины должны быть постоянно закрытыми: наружная – с навинченным колпачком с прокладкой, внутренняя – с ввернутой заглушкой [6].

Изолирующие противогазы. Изолирующие противогазы (ИП) являются специальными средствами защиты органов дыхания, глаз и кожи лица от любых вредных примесей, находящихся в воздухе независимо от их свойств и концентраций. Они используются также в тех случаях, когда невозможно применение фильтрующих противогазов, например при наличии в воздухе очень высоких концентраций отравляющих веществ или любой вредной примеси, кислорода менее 16 %, а также при работе под водой на небольшой глубине. Виды противогазов представлены на Рис. 7.5.



ИП-4М ИП-6 ПДА-3М

Рис. 9.5. Изолирующие противогазы

Изолирующие противогазы используют в случае, когда фильтрующие противогазы не обеспечивают должной степени защиты, или когда в воздухе недостаточно кислорода. Источником кислорода в таком противогазе служит патрон, снаряженный специальным веществом. Для нужд населения выпускают ИП-4М, ИП-4МК, ИП-5, ИП-6, ИП-7, ПДА- 3М.

Действие изолирующих противогазов основано на использовании химически связанного кислорода. Они имеют замкнутую маятниковую схему дыхания: выдыхаемый воздух попадает в регенеративный патрон, вещество которое содержится в нем поглощает углекислый газ и влагу, а взамен выделяет необходимый для дыхания кислород. Затем дыхательная смесь попадает в дыхательный мешок. При вдохе газовая смесь из дыхательного мешка снова проходит через регенеративный патрон, дополнительно очищается и поступает для дыхания. Материалы, из которых изготовлены противогазы, не оказывают отрицательного воздействия на организм. Применение незапотевающих пленок, а при отрицательных температурах и утеплительных манжет сохраняет прозрачность стекол в течение всего времени работы в противогазе при любой физической нагрузке. Грантируется высокая эксплуатационная безопасность.

ИП-4М, ИП-4МК используют при авариях, стихийных бедствиях. ИП-5, ИП-6 предназначены для защиты органов дыхания, кожи лица и глаз человека в непригодной для дыхания атмосфере независимо от состава и концентрации вредных веществ в воздухе, а также при недостатке или отсутствии кислорода. Портативный дыхательный аппарат (ПДА-3М) предназначен для экстренной защиты органов дыхания, зрения и кожи лица человека в непригодной для дыхания атмосфере при эвакуации из опасной зоны, выполнении аварийных работ, а также в ожидании помощи [5].

По принципу действия изолирующие противогазы делятся на две группы: ИП-5); КИП-8).

- противогазы на основе химически связанного кислорода (ИП-4,

- противогазы на основе сжатого кислорода или воздуха (КИП-7, Исходя из принципа защитного действия, основанного на полной изоляции органов дыхания от окружающей среды, время пребывания в изолирующем противогазе зависит не от физико-химических свойств ОВ,РВ, БС и их концентраций, а от запаса кислорода и характера выполняемой работы.

Противогазы шланговые изолирующие презназначены для защиты органов дыхания, глаз и кожи человека от любых вредных примесей в воздухе независимо от их концентрации, а также для работы в условиях недостатка кислорода в воздухе рабочей зоны. Комплектуются возду- ходводящим шлангом длиной 10 или 20 м на барабане или в сумке.

Респираторы.

Респираторы представляют собой облегченное средство защиты органов дыхания от вредных газов, паров, аэрозолей и пыли (рис. 7.6).

Респираторы делятся на два типа. Первый – это респираторы, у которых полумаска и фильтрующий элемент одновременно служат и лицевой частью. Второй – это респираторы, которые очищают вдыхаемый воздух в фильтрующих патронах, присоединяемых к полумаске.



Рис. 7.6. Респираторы:

а – «Кама»; б – «Снежок»; в – У-2к; г – РП-КМ; д – Ф-62Ш; е – «Ас- тра 2»; ж – РПГ-67; з – РУ-6 Ом

Респираторы по назначению делят на следующие виды [5]:

противоаэрозольные – для защиты органов дыхания от пыли, дыма, тумана, содержащих токсичные, бактериальные и другие опасные элементы, за счет пропускания вдыхаемого воздуха через фильтр из специального материала (респираторы «Лепесток», «Кама», «Снежок-П», У-2к, «Астра-2», Ф-62ш, РПА-1 и др.). Для фильтров в таких респираторах ис- пользуют материалы типа ФП (фильтр Петрянова), обладающие высокой эластичностью, механической прочностью, большой пылеемкостью, стой- костью к химическим агрессивным веществам и прекрасными фильтрую- щими свойствами;

противогазовые – для защиты от паров и газов за счет фильтрования вдыхаемого воздуха через фильтрпатроны различных марок, различающихся составом адсорбирующего материала. При этом фильтр-патрон каждой марки защищает от газов только определенного вида (РПГ-67);

универсальные – одновременно защищают от аэрозолей и отдель- ных видов газов и паров. Респираторы имеют противоаэрозольный фильтр и сменные противогазовые патроны разных марок (РУ-60м) или противо- газовые фильтры из ионообменного волокнистого материала («Снежок- ГП», «Лепесток-Г»).

По конструктивному оформлению различают респираторы двух типов:

фильтрующие маски – их фильтрующий элемент одновременно служит лицевой частью;

патронные – самостоятельно выполненные лицевая часть и фильтрующий элемент.

По характеру вентилирования подмасочного пространства респи- раторы делят на бесклапанные (вдыхаемый и выдыхаемый воздух прохо- дит через фильтрующий элемент) и клапанные (вдыхаемый и выдыхаемый воздух движется по различным каналам благодаря системе клапанов вдоха и выдоха).

В зависимости от срока службы различают респираторы одноразо- вого (типа «Лепесток», «Кама», У-2к и т. п.) и многоразового пользования, в которых предусмотрена возможность замены фильтров или их много- кратная регенерация (Ф-62ш, «Астра-2», РУ-60м и др.).

Респираторы ШБ-1, «Лепесток-5», «Лепесток-40» и «Лепесток-200» одинаковы и представляют собой сплошную легкую полумаску- фильтр из материала ФПП (фильтрующее полотно Петрянова). В нерабо- чем состоянии респиратор имеет вид круга. Каркасность его в рабочем со- стоянии обеспечивают пластмассовая распорка и алюминиевая пластина. Плотное прилегание респиратора к лицу достигается при помощи резино- вого шнура, вшитого в периметр круга, а также благодаря электростатиче- скому заряду материала ФПП, который образует полосу обтюрации. На го- лове респиратор крепят четырьмя шнурами.

Противоаэрозольные респираторы. В качестве фильтров в респираторах используют тонковолокнистые фильтровальные материалы. Наибольшее распространение получили полимерные фильтровальные материалы типа ФП (фильтр Петрянова) благодаря их хорошей эластичности, большой пылеемкости, а главное, высоким фильтрующим свойствам. Важной отличительной особенностью материалов ФП, изготовленных из перхлорвинила и других полимеров, обладающих изоляционными свойствами, является то, что они несут электростатические заряды, которые резко повышают эффективность улавливания аэрозолей и пыли.

Респиратор противопылевый У-2К (в гражданской обороне Р-2) обеспечивает защиту органов дыхания от силикатной, металлургической, горнорудной, угольной, радиоактивной и другой пыли, от некоторых бактериальных средств, дустов и порошкообразных удобрений, не выделяющих токсичные газы и пары. Использовать респиратор целесообразно при кратковременных работах небольшой интенсивности и запыленности воздуха. Не рекомендуется применять, когда в атмосфере сильная влага.

Респиратор представляет собой фильтрующую полумаску, наружный фильтр которой изготовлен из полиуретанового поропласта зеленого цвета, а внутренняя его часть – из тонкой воздухонепроницаемой полиэтиленовой пленки, в которую вмонтированы два клапана вдоха (рис. 9.7). Клапан выдоха размещен в передней части полумаски и защищен экраном. Между поропластом и полиэтиленовой пленкой расположен второй фильтрующий слой из материала ФП. Для плотного прилегания респиратора к лицу в области переносицы имеется носовой зажим – фигурная алюминиевая пластина. Респиратор крепится при помощи регулируемого оголовья.



Рис. 7.7. Респираторы У-2К (Р-2)

Респираторы У-2К изготавливаются трех ростов, которые обозначаются на внутренней подбородочной части полумаски. Определение роста производится путем измерения высоты лица человека, т. е. расстояния между точкой наибольшего углубления переносицы и самой нижней точкой подбородка. При величине измерения от 99 до 109 мм берут первый рост, от 109 до 119 мм – второй, от 119 и выше – третий.

Принцип действия респиратора основан на том, что при вдохе воздух последовательно проходит через фильтрующий полиуретановый слой маски, где очищается от грубодисперсной пыли, а затем через фильтрующий полимерный материал (ФП), в котором происходит очистка воздуха от тонкодисперсной пыли. После очистки вдыхаемый воздух через клапаны вдоха попадает в подмасочное пространство и в органы дыхания.

При выдохе воздух из подмасочного пространства выходит через клапан выдоха наружу.

Чтобы подогнать респиратор У-2К (Р-2), нужно:

- вынуть его из полиэтиленового мешочка и проверить его исправность, надеть полумаску на лицо так, чтобы подбородок и нос разместились внутри нее, одна нерастягивающаяся тесьма оголовья располагалась бы на теменной части головы, а другая – на затылочной;
- с помощью пряжек, имеющихся на тесемках, отрегулировать их длину (для чего следует снять полумаску) таким образом, чтобы надетая полумаска плотно прилегала к лицу;
- на подогнанной надетой полумаске прижать концы носового зажима к носу.

Для проверки плотности прилегания респиратора к лицу необходимо плотно закрыть отверстия предохранительного экрана клапана выдоха ладо- нью и сделать легкий выдох. Если при этом по линии прилегания полумаски к лицу воздух не выходит, а лишь несколько раздувает респиратор, значит, он надет герметично. Если воздух проходит в области носа, то надо плотнее прижать концы носового зажима.

После снятия респиратора необходимо удалить пыль с наружной части полумаски с помощью щетки или вытряхиванием. Внутреннюю поверхность необходимо протереть и просушить, после чего респиратор необходимо вложить в полиэтиленовый пакет, который закрывается кольцом. Противоаэрозольный респиратор Ф-62Ш (однопатронный) – это средство индивидуальной защиты органов дыхания человека от различных видов промышленных пылей, он не защищает от газов, паров вредных ве- ществ, аэрозолей органических соединений. Предназначен для защиты от силикатной, металлургической, горнорудной, угольной, табачной пыли, пыли порошкообразных удобрений и интоксицидов, а также других видов пыли, не выделяющих токсичных газов. Широко применяется шахтерами. Респиратор противоаэрозольный ФА-2002

предназначен для защиты лица, глаз, органов дыхания от аэрозолей различной природы (пыль, дым, туман) при их суммарной концентрации не более 15 ПДК и при концентрации кислорода не менее 17 % (Рис. 7.8).



Ф-62Ш



ФА-2002

Рис. 7.8. Респираторы противоаэрозольные Ф-62Ш и ФА-2002

Универсальные респираторы

Газопылезащитные респираторы занимают как бы промежуточное положение между респираторами противопылевыми и противогазами. Они легче, проще и удобнее в использовании, чем противогаз. Однако защищают только органы дыхания при концентрации вредных веществ не более 10–15 ПДК. Глаза, лицо остаются открытыми. Вместе с тем такие респираторы во многих случаях довольно надежно предохраняют человека в газовой и пылегазовой среде.

Респиратор газопылезащитный РУ-60М (рис. 7.9) защищает органы дыхания от воздействия вредных веществ, присутствующих в воздухе одновременно в виде паров, газов и аэрозолей (пыли, дыма, тумана).



Рис. 7.9. Респиратор газопылезащитный (РУ-60М)

Запрещается применять эти респираторы для защиты от высокотоксичных веществ типа синильной кислоты, мышьяковистого, фосфористого, цианистого

водорода, тетраэтилсвинца, низкомолекулярных углеводородов (метан, этан), а также от веществ, которые в парогазообразном состоянии могут проникнуть в организм через неповрежденную

кожу. Респиратор РУ-60М состоит из резиновой полумаски, обтюратора, поглощающих патронов (марки А, В, КД, Г), пластмассовых манжет с клапанами вдоха, клапана выдоха с предохранительным экраном и оголовья. С этими респираторами разрешается работать в средах, где концентрация пыли не более 100 мг/м^3.

Противогазовые респираторы. Респиратор противогазовый (РПГ-

67) – это средство индивидуальной защиты, применяется на предприятиях химической, металлургической и в других отраслях производства при концентрациях вредных веществ, не превышаю-

щих 10–15 ПДК.

Газодымозащитный комплект. Статистика показывает, что пожары с большим количеством человеческих жертв чаще всего встречаются в гостиницах, театрах, универсамах, ресторанах, вечерних клубах, учебных заведениях, на предприятиях, использующих легковоспламеняю- щиеся материалы.

Помещения быстро заполняются окисью углерода и другими токсическими газами. Люди гибнут от отравлений. Чтобы защитить органы дыхания и глаза от ядовитых газов, а голову человека от огня при выходе из горящего помещения, создан специальный газодымозащитный комплект (Рис. 9.10).



Рис. 9.10 Газодымозащитный комплект

Газодымозащитный комплект (ГДЗК) состоит из огнестойкого капюшона с прозрачной смотровой пленкой. В нижней части расположена эластичная манжета.

Внутри капюшона находится резиновая полумаска, в которой закреплен фильтрующе-сорбирующий патрон с клапаном вдоха. ГДЗК имеет регулируемое оголовье. При надевании следует широко растянуть эластичную манжету и накинуть капюшон на голову так, чтобы

манжета плотно облегала шею, при этом длинные волосы заправляются под капюшон. Очки можно не снимать. ГДЗК обеспечивает защиту от окиси углерода и цианистого водорода не менее 15 мин. Сопротивление при вдохе при 30 л/мин – не более 149 Па (15 мм вод. ст). Масса 800 г. Комплект хранится в картонной коробке в пакете из трехслойной полиэтиленовой пленки.

Капюшон «Феникс» предназначен для самостоятельной эвакуации из мест возможного отравления химически опасными и вредными вещест- вами. Защищает от продуктов горения, аэрозолей, паров и газов, опасных химических веществ, образующихся при аварийных ситуациях (Рис. 9.11).

Самоспасатели СИП-1, СПИ-20, СПФ, «Экстремал ПРО» (Рис. 9.11) предназначены для индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека от вредного воздействия непригодной для дыхания, токсичной и задымленной газовой среды. Применяются при экстренной эвакуации людей в случае террористических актов, а также с мест пожара в общественных зданиях, на транспорте, из жилых домов и т. п.

а *б* *в* *г*



Рис. 9.11. Самоспасатели:

а – СИП-1; б – СПИ-20; в – СПФ; г – капюшон «Феникс»; д – «Экстремал ПРО».

Самоспасатель противопожарный СИП-1 предназначен для защиты органов дыхания, зрения и головы при самостоятельной эвакуации из помещений (гостиниц, высотных зданий, вагонов) во время пожара или при других аварийных ситуациях, от любых вредных веществ независимо от их концентрации и при недостатке кислорода в воздухе.

Порядок выполнения работы

1. Записать название и цель работы.
2. Законспектировать виды и назначение противогазов в виде табл. 7.3.

Таблица 7.3

Виды и назначение противогазов

Наименование и марка	Назначение, вид веществ, от которых защищает	Комплектация	Примечание*
Фильтрующие противогазы			
Гражданские			
ГП-5			
…			
… т. д.			

*В примечании указать, для каких возрастных групп предназначен, особенности мар- ки и т. п.

3. Указать правила пользования противогазами.
4. Измерить при помощи гибкого сантиметра лицевую часть головы и подобрать для себя размер противогаза ГП-5 (ГП-7) по росту.

5. Измерить при помощи гибкого сантиметра высоту своего лица и подобрать размер респиратора У-2К.

6. Показать отчет преподавателю.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность жизнедеятельности : учеб. для вузов / С. В. Белов [и др.] ; под общ. ред. С. В. Белова. – М.: Высш. шк., 2009. – 616 с.

2. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера : учеб. пособие для вузов / В. А. Акимов [и др.]. – М. : Высш. шк., 2008. – 592 с.

3. Безопасность жизнедеятельности. Защита населения и территорий в чрез- вычайных ситуациях : учеб. пособие для вузов / Я. Д. Вишняков [и др.]. – М. : Академия, 2008. – 304 с.

4. Емельянов В. М., Коханов В. Н., Некрасов П. А. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : учеб. пособие для вузов. – М. : Академический проект : Трикста, 2005. – 480 с.

5. Вознесенский В. В. Средства защиты органов дыхания и кожи. Противога- зы, респираторы и защитная одежда, основы их эксплуатации : учеб. пособие. – М. : Воен. знания, 2010. – 80 с.

6. Семенов С. Н., Лысенко В. П. Проведение занятий по гражданской обороне : метод. пособие. – М. : Высш. шк., 1990. – 96 с.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8. ИНЖЕНЕРНАЯ И ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ЗАЩИТА. ВИДЫ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПРАВИЛА ПОВЕДЕНИЯ В НИХ

Наименование работы: Действия населения при ЧС военного характера.

Цель: изучить действия населения при ЧС военного характера при угрозе применения радиационного, химического или биологического оружия, определить применяемые средства индивидуальной защиты, обосновать выбор защитных сооружений.

Время: 4 часа

Материально-техническое обеспечение: инструкционная карта, ручка, противогаз, респиратор, ватно-марлевая повязка

Методика выполнения

Задание:

1. Изучить индивидуальные средства защиты населения.

2. Изучить виды укрытий и правила поведения в убежищах и укрытиях.

3. Изучить применение СИЗ при угрозе применения химического и биологического оружия.

4. Отчет о работе оформить в виде плана-конспекта.

5. Заполнить таблицу.

№	ЧС	Опасность	Поражающие факторы	Основные средства защиты

Ядерное оружие – самое страшное оружие современности. Поражение людей при его применении зависит от того, где они находились в момент ядерного взрыва. Наиболее эффективным средством защиты от всех поражающих факторов ядерного оружия являются убежища (укрытия). Находясь в убежищах (укрытиях), необходимо постоянно держать в готовности к немедленному использованию средства индивидуальной защиты. Средства индивидуальной защиты подразделяют на средства индивидуальной защиты

органов дыхания (СИЗОД), средства индивидуальной защиты глаз (СИЗГ), средства индивидуальной защиты кожи (СИЗК). К средствам защиты органов дыхания человека относятся противогазы (фильтрующие (рис.8.1.) и изолирующие (рис.2.)) и респираторы (рис.3.), а также простейшие средства защиты – противопыльные тканевые маски (ПТМ-1) (рис.4.) и ватно-марлевые повязки (рис.5.), изготовляемые обычно силами самого населения.

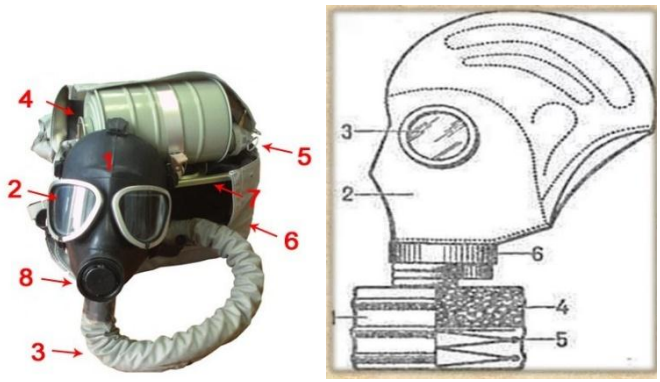


Рис. 8.1 Фильтрующий противогаз

1-фильтрующе-поглощающая коробка; 2-лицевая часть противогаза; 3-очковой узел; 4-шихга (обеспечивает поглощение паров и газов, и токсичных в-в); 5-ПАФ (противоаэрозольный фильтр); 6-клапанная коробка.



Рис.8.2. Изолирующий противогаз

1-лицевая часть, 2-очковый узел, 3-соеденительная трубка, 4-регенераторный патрон, 5-пусковое устройство патрона, 6-дыхательный мешок, 7-каркас, 8-устройство для переговоров.

Порядок надевания противогаза:

1. По команде «Газы!» задержите дыхание, не вдыхая воздух.

2. Закрыть глаза.

3. Достать противогаз из противогазной сумки, левой рукой доставая противогаз, а правой держа сумку снизу.

4. Вынуть пробку-заглушку из противогазной коробки.

5. Перед надеванием противогаза расположить большие пальцы рук снаружи, а остальные внутри.

6. Приложить нижнюю часть шлем-маски на подбородок.

7. Резко натянуть противогаз на голову снизу-вверх.

8. Выдохнуть.

9. Необходимо, чтобы после не образовалось складок, очковый узел должен быть расположен на уровне глаз.

10. Перевести сумку на бок.

Снятие:

1. По команде «Отбой!» брать за фильтровальную коробку и, потянув сверху-вниз, снять его.

2. Убрать противогаз в противогазную сумку.

3. Застегнуть пуговицы.

Таблица 8.0

Подбор размера противогаза

Обхват головы	Размер противогаза
До 63	0
63,5-65,5	1
66-68	2
68,5-70,5	3
71 и более	4

В качестве защиты органов дыхания от радиоактивной пыли и различных вредных аэрозолей могут быть использованы респираторы. Они просты в применении, малогабаритны и рассчитаны на массовое применение. Широко используются при выполнении работ, связанных с пылеобразованием.

Респиратор представляет собой фильтрующую полумаску, снабженную двумя клапанами вдоха, клапаном выхода (с предохранительным экраном), оголовьем, состоящим из эластичных растягивающихся (и не растягивающихся) тесемок, и носовым зажимом. Работать в нем можно до 12 ч

Респираторы Р-2 изготовляются трех ростов -1,2 и 3-го, которые обозначаются внутренней подбородочной части полумаски.

Простейшими средствами защиты органов дыхания человека от радиоактивной пыли и биологических средств (при действиях во вторичном облаке) являются противопыльная тканевая маска ПТМ-1 (рис.8.3).

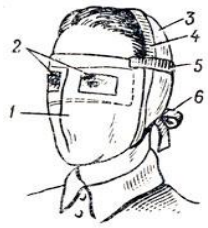


Рис.8.3. Противопыльная тканевая маска

1-корпус маски, 2-смотровые отверстия, 3-крепления, 4-резиновая тесьма, 5-поперечная резинка, 6-завязки.

И ватно-марлевая повязка (рис.8.4.) От ОВ (отравляющих веществ) они не защищают. Их изготавливает преимущественно само население. Маска состоит из корпуса и крепления. Корпус шьется из двух одинаковых по форме тканевых фильтрующих половинок, собранных на 4-5 слоев. На нем имеются смотровые отверстия со вставленными стеклами. Крепится маска на голове при помощи вставленной резинки и двух завязок.

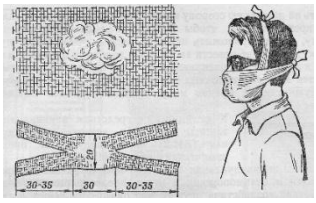


Рис.8.4. Ватно-марлевая повязка

Ватно-марлевая повязка изготовляется из куска марли размером 100 х50 см и ваты. На марлю накладывают слой ваты толщиной 2-3 см, длинной 30 см, шириной 20 см. Марлю с обеих сторон загибают и накладывают на вату. Концы марли разрезают на 30-35 см с каждой стороны, чтобы образовались две пары завязок. Марлевые повязки делают из 10-12 слоев марли. Они шьются также в виде маски, закрывающей лицо или только подбородок, нос и рот. Для защиты глаз используются противопыльные очки.



Рис.8.5.Защитные очки

К средствам индивидуальной защиты глаз (СИЗГ), в первую очередь, относятся защитные очки, предохраняющие от пыли, твердых частиц, химически неагрессивных жидкостей и газов, от слепящего яркого света, ультрафиолетового, инфракрасного излучения и от сочетания излучений указанных видов с воздействия летящих твердых частиц, а так же очкизащищающие от лазерного излучения и других опасных факторов.

К **средствам индивидуальной защиты кожи (СИЗК)** относят защитную одежду фильтрующего и изолирующего типа. К изолирующим средствам защиты кожи относятся общевойсковой комплексный защитный костюм (ОКЗК), общевойсковой защитный комплекс (ОЗК) (рис.8.6.), легкий защитный костюм (Л-1) , защитный комбинезон или костюм.

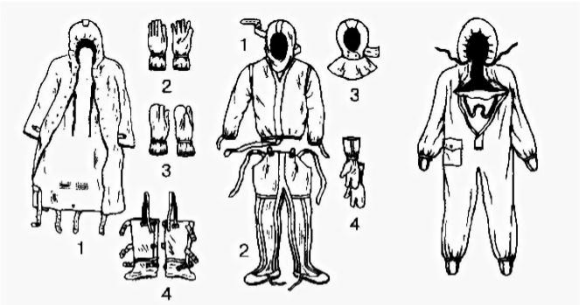


Рис. 7. Общевойсковой защитный комплект: 1 — защитный плащ; 2, 3 — защитные перчатки; 4 — защитные чулки

Рис. 8. Легкий защитный костюм Л-1: 1 — рубаха с капюшоном; 2 — брюки с защитными чулками; 3 — подшлемник; 4 — перчатки

Комплект защитной фильтрующей одежды

Рис. 8.6 Защитный костюм

Общевойсковой комплексный защитный костюм (ОЗК) предназначен для комплексной защиты от светового излучения и радиоактивной пыли, паров и аэрозолей ОВ и биологических аэрозолей. Он состоит из пропитанных специальным составом куртки, брюк, защитного белья, головного убора, подшлемника.

Простейшие средства защиты кожи применяются при отсутствии табельных средств. Может быть использована прежде всего производственная одежда (спецовка) – куртка и брюки, комбинезоны, халаты с капюшоном, сшитые из брезента, огнезащитной или прорезиненной ткани, грубого сукна. Они способны не только защищать от попадания на кожу людей радиоактивных веществ и биологических средств, но и не пропускать в течение некоторого времени капельножидких отравляющих веществ.

Обычная одежда, обработанная специальной пропиткой, может защищать и от паров отравляющих веществ. В качестве пропитки используют моющие средства или мыльно-масляную эмульсию. Основные представители неионогенных моющих средств – ОП-7 и ОП-10 (ОП-7иОП-10 - вспомогательные вещества, представляющие собой продукты обработки смеси моно- и диалкилфенолов окисью этилена. Вспомогательные вещества ОП-7 и ОП-10 относятся к неионогенным поверхностно-активным веществам. Применяются в качестве смачивающих, эмульсирующих, стабилизирующих поверхностно-активных веществ. Хорошо растворимы в воде). Синтетические моющие средства в чистом виде используются редко и служат исходным материалом для приготовления моющих средств, которые состоят из моющего вещества, активных добавок (соли фосфорной кислоты, сульфат натрия, метасиликат натрия и др.) и веществ, предохраняющих кожу (карбоксиметилцеллюлоза, дермоланы – высокомолекулярные циклические соединения, содержащие группы SO_2,NH_4,далгоны – конденсированные фосфаты).

Придать повседневной одежде защитные от отравляющих веществ свойства можно, пропитав ее раствором, который может быть приготовлен в домашних условиях. 2,5-3 л раствора, необходимого для пропитки одного комплекта одежды, можно получить если растворить 250-300 г измельченного хозяйственного мыла в 2-3 л горячей воды (60-70 ° С), добавить в раствор 0,5 л минерального (машинного) и другого масла и, подогревая,перемешивать раствор до получения однородной мыльно-масляной эмульсии. Одежду помещают в большую емкость (бак, ведро) и заливают раствором. Пропитанная одежда отжимается и просушивается (утюжке не подлежит).

В летную жаркую погоду необходимо соблюдать установленные сроки работы в защитной одежде. Зимой для предупреждения обмораживания следует надевать ее на ватник, использовать подшлемник, теплые портянки, в резиновые сапоги подкладывать теплые стельки, защитные перчатки одевать поверх обычных шерстяных или фланелевых. Обычно длительность пребывания людей в убежищах зависит от степени радиоактивного заражения местности. Если убежище находится в зоне заражения с уровнями радиации от 8 до 80 Р/ччерез один час после ядерного взрыва, то время пребывания в нем укрываемых людей составит от нескольких часов до одних суток (рис.8.7) .



Рис.8. 7. Ватно-марлевая повязка

В зоне заражения с уровнями радиации от 80 до 240 Р/ч нахождение людей в защитном сооружении увеличивается до 3 сут. В зоне заражения с уровнем радиации 240 Р/ч и выше это время составит 3 сут. и более. По истечении указанных сроков из убежищ (укрытий) можно перейти в жилые помещения. В течение последующих 1-4 сут. (в зависимости от уровней радиации в зонах

заражения) из таких помещений можно периодически выходить наружу, но не более чем на 3-4 ч в сутки.

В условиях сухой и ветреной погоды, когда возможно пылеобразование, при выходе из помещений следует использовать СИЗОД. Чтобы благополучно пережить указанные сроки пребывания в убежищах, необходимо иметь запасы продуктов питания (не менее чем на 4 сут. (крупы, сахар и соль, галеты, сухари, консервы, макаронные изделия, мука, сухофрукты, шоколад, подсолнечное масло, мед, варенье. уксус, вода)), питьевой воды (из расчета 3 л на человека в сутки), а также предметы первой необходимости и медикаменты.

Если в результате ядерного взрыва убежище (укрытие) окажется поврежденным, принимают меры к быстрому выходу из него, надев СИЗОД. Если основным и ли запасным выходом воспользоваться невозможно, приступают к расчистке одного из заваленных выходов или к проделыванию выхода. После выхода из очага ядерного поражения (зоны радиоактивного заражения) необходимо провести частичную дезактивацию и санитарную обработку, т.е. удалить радиоактивную пыль. При частичной дезактивации следует осторожно снять одежду, ни в коем случае не снимая СИЗОД. Встав спиной к ветру, вытряхнуть ее, развесить одежду на перекладине или веревке и обмести с нее пыль сверху вниз с помощью щетки или веника. Одежду можно выколачивать и палкой.

После этого следует продезактивировать обувь: протереть тряпками и ветошью, смоченными водой, очистить веником или щеткой. Резиновую обувь можно мыть. Противогаз дезактивируют в особой последовательности. Фильтрующе-поглощающую коробку вынимают из сумки, сумку тщательно вытряхивают. Затем тампоном, смоченным мыльной воде, моющим раствором или жидкостью из противохимического пакета обрабатывают фильтрующе-поглощающую коробку, соединительную трубку и наружную поверхность шлема-маски (маски). Лишь после этого противогаз снимают.

Противопыльные тканевые маски при дезактивации тщательно вытряхивают, чистят щетками, при возможности полощут или стирают в воде. Зараженные ватно-марлевые повязки сжигают. При частичной санитарной обработке открытые участки тела: руки, лицо, шею, глаза обмывают незараженной водой. Нос, рот и горло полощут. Важно, чтобы при обмывке лица зараженная вода не попала в глаза, рот и нос. При недостатке воды обработку проводят путем многократного протирания участков тела тампонами из марли (ваты, пакли, ветоши), смоченными незараженной водой. Протирание следует проводить сверху вниз. каждый раз переворачивая тампон чистой стороной. Зимой может использоваться незараженный снег.

Летом санитарную обработку можно организовать в реке или другом проточном водоеме. Частичная дезактивация и санитарная обработка, проводимые в одноразовом порядке, не всегда гарантируют полное удаление радиоактивной пыли. Потому после их проведения обязательно проводится дозиметрический контроль. Если заражение одежды и тела окажется выше допустимой нормы, частичные дезактивацию и санитарную обработку повторяют. В необходимых случаях проводится полная санитарная обработка. Своевременно проведенные частичные дезактивация и санитарная обработка могут полностью предотвратить или сильно снизить степень поражения людей радиоактивными веществами.

Если люди во время ядерного взрыва находятся вне убежища укрытия, следует использовать естественные ближайшие укрытия (рис.10). Если таких укрытий нет, надо повернуться к взрыву спиной, лечь на землю лицом вниз, руки спрятать под себя. Через 15-20 с. после взрыва, когда пройдет ударная волна, следует встать и немедленно надеть противогаз, респиратор или какое-либо другое СИЗОД. В случае отсутствия специальных средств следует закрыть рот и нос платком, шарфом или плотным материалом.

Задача состоит в том, чтобы исключить попадание внутрь организма радиоактивных веществ. Их поражающее действие бывает значительным в

течение длительного времени, поскольку выведение их из организма происходит медленно. Далее необходимо стряхнуть осевшую на одежду и обувь пыль, надеть имеющиеся средства защиты кожи.

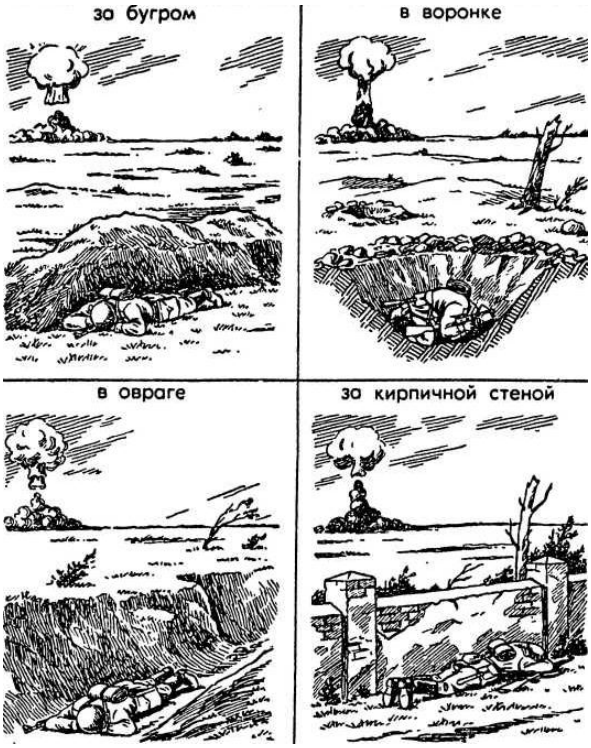


Рис 8.8 Естественные укрытия при внезапном ядерном взрыве

Для этого можно использовать имеющиеся одежду и обувь. Затем следует побыстрее покинуть очаг поражения или укрыться в ближайшем защитном сооружении.

Оставаться на зараженной радиоактивными веществами местности вне убежищ (укрытий), несмотря на использование средств индивидуальной защиты, опасно. Это сопряжено с возможностью облучения и, как следствие, развития лучевой болезни. В целях уменьшения возможности поражения радиоактивными веществами в зонах заражения запрещается принимать пищу, пить и курить. Приготовление пиши должно вестись на незараженной местности или, в крайнем случае, на местности, где уровень радиации не превышает 1 Р/ч. При выходе из очага поражения необходимо учитывать, что в результате ядерных взрывов разрушаются здания, сети коммунального хозяйства. При этом отдельные элементы зданий могут обрушиться через

некоторое время после взрыва. Продвигаться надо посередине улицы, стараясь возможно быстрее попасть в безопасное место. Нельзя трогать электропровода. Направление движения из очага поражения следует выбирать, ориентируясь на знаки ограждения, расставленные разведкой гражданской обороны. Они ведут всторону снижения уровней радиации. Двигаясь по зараженной территории, надо стараться не поднимать пыли, обходить лужи, не создавать брызг.

В результате применения химического оружия возникают очаги химического поражения-территории, в пределах которой в результате воздействия химического оружия произошли массовые поражения людей и сельскохозяйственных животных. Размеры очага зависят от масштаба и способа применения БТХВ (боевые токсичные химические вещества - это химические соединения, которые способны поражать людей и животных на больших площадях, проникать в различные сооружения, заражать местность и водоемы), его типа метеорологических условий, рельефа местности. Особенно опасны стойкие БТХВ нервнопаралитического действия. Их пары распространяются по ветру на довольно большое расстояние (15-25 км и более). Поэтому люди и животные могут быть поражены ими не только в районе применения химических боеприпасов, но и далеко за его пределами. Длительность поражающего действия БТХВ тем меньше, чем сильнее ветер и восходящие потоки воздуха. В лесах, парках, оврагах, на узких улицах они сохраняются дольше, чем на открытой местности. Современные отравляющие вещества обладают чрезвычайно высокой токсичностью.

При обнаружении признаков применения противником отравляющих веществ, далее ОВ (по сигналу «Химическая тревога») надо срочно надеть противогаз, а в случае необходимости - средства защиты кожи. Если поблизости имеется убежище, нужно укрыться в нем. Перед тем как войти в убежище, следует снять использованные средства защиты кожи и верхнюю одежду и оставить их в тамбуре убежища. Эта мера предосторожности исключает занос ОВ в убежище. Противогаз снимают после входа в убежище.

При пользовании укрытием, например, подвалом, не следует забывать, что оно м служить защитой лишь от попадания на кожные покровы и одежду капельножидких ОВ. Однако оно не защищает от паров или аэрозолей отравляющих веществ, находящихся в воздухе. Находясь в таких укрытиях, при наружном заражении обязательно надо воспользоваться противогазом. Находиться в убежище (укрытии) следует до получения распоряжения на выход из него. Когда такое распоряжение поступит, необходимо надеть требуемые средства индивидуальной защиты - противогазы и средства защиты кожи и выйти за пределы очага поражения по направлениям, обозначенным специальными указателями. Если нет ни указателей, ни постов, то двигаться следует перпендикулярно направлению ветра.

На зараженной ОВ территории надо двигаться быстро, но не пыль (брызги). Нельзя прислоняться к зданиям и прикасаться к окружающим предметам. Не следует наступать на видимые капли и мазки ОВ. На зараженной территории запрещается снимать противогазы и другие средства защиты. Особо осторожно нужно двигаться через парки, сады, огороды и поля. На листьях и ветках растений могут находиться осевшие капли ОВ, при прикосновении к ним можно заразить одежду и обувь, что может привести к поражению.

По возможности следует избегать движения оврагами и лощинами, через луга и болота, в этих местах возможен длительный застой паров ОВ. В городах пары ОВ могут застаиваться в замкнутых кварталах, парках, а также в подъездах и на чердаках домов. Зараженное облако в городе распространяется на наибольшие расстояния по улицам,тоннелям, трубопроводам.

ОВ на кожных покровах, одежде, обуви или средствах индивидуальной защиты необходимо немедленно снять их тампонами из марли или ваты; если таких тампонов нет, капли ОВ можно снять тампонами из бумаги или ветоши. Пораженные места следует обработать раствором из противохимического пакета или тщательно промыть теплой водой с мылом. После выхода из очага

химического поражения немедленно проводится полная санитарная обработка. Если это невозможно, проводятся частичные дегазация и санитарная обработка.

Очагом биологического поражения считаются территорииподвергшиеся непосредственному воздействию бактериальных (биологических) средств, создающих источник распространения инфекционных заболеваний. Заражение людей и животных происходит в результате вдыхания зараженного воздуха, попадания микробов или токсинов на слизистую оболочку и поврежденную кожу, употребления в пищу зараженных продуктов питания и воды.

Причиной заражения могут быть укусы зараженных насекомых и клещей, соприкосновения с зараженными предметами, ранения осколками боеприпасов, снаряженных БС (биологические средства поражения - общее название болезнетворных микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности, предназначенных для использования в системах биологического оружия с целью поражения людей, животных и растений). Заражение возможно также в результате непосредственного общения с больными людьми (животными). Ряд заболеваний быстро передается от больных людей к здоровым и вызывает эпидемии (чума, холера, тиф, грипп и др.). К основным средствам защиты населения от биологического оружия относятся вакциносывороточные препараты, антибиотики, сульфамидные и другие лекарственные вещества, используемые для специальной и экстренной профилактики инфекционных болезней.

Употребимы такие средства индивидуальной и коллективной защиты. Своевременное и правильное применение средств индивидуальной защиты и защитных сооружений предохранит от попадания БС в органы дыхания, на кожные покровы и одежду. Необходимо строгое соблюдение правил личной гигиены и санитарно-гигиенических требований к питанию и водоснабжению населения. Приготовление и прием питии должны исключать возможность ее заражения бактериальными средствами. Посуду необходимо мыть дезинфицирующими растворами или обрабатывать кипячением. В случае

применения противником биологического оружия возможно возникновение значительного количества инфекционных заболеваний.

Основными формами борьбы с эпидемиями являются обсервация и карантин. Делается это в тех случаях, когда примененные возбудители болезней относятся к особо опасным (чума, холера и др.). Карантинный режим предусматривает полную изоляцию очага поражения от окружающего населения. Это наиболее эффективный способ противодействия распространению инфекционных заболеваний. На внешних границах зоны карантина устанавливается вооруженная охрана, выход людей, вывод животных и вывоз имущества запрещаются. Транзитный проезд транспорта через очаги поражения запрещается. Объекты экономики переходят на особый режим работы со строгим выполнением противоэпидемических требований. Рабочие смены разбиваются на отдельные группы как можно более малочисленные по составу. Контакт между ними сокращается до минимума. Питание и отдых рабочих и служащих организуются по группам в специально отведенных для этого помещениях. Работа учебных заведений, зрелищных учреждений, рынков и т.д. прекращается. Людям не разрешается без крайней необходимости выходить их своих квартир. Продукты питания, вода и предметы первой необходимости доставляются им специальными командами.

При выполнении срочных работ вне зданий люди должны быть обязательно в средствах индивидуальной защиты. Если установленный вид возбудителя не относится к группе особо опасных, вместо карантина применяется обсервация. Она предусматривает медицинское наблюдение за очагом поражения и проведение необходимых лечебно-профилактических мероприятий. Изоляционно-ограничительные меры при обсервации менее строгие: организуются дезинфекция, дезинсекция и дератизация.

Дезинфекция имеет целью обеззараживание объектов внешней среды, которые необходимы для нормальной деятельности и безопасного нахождения людей. Для дезинфекции применяются растворы хлорной извести и хлорамина,

лизол, формалин, могут использоваться горячая вода (с мылом или содой) и пар.

Дезинсекция и дератизация-это мероприятия, связанные соответственно с уничтожением насекомых и истреблением грызунов, которые являются переносчиками инфекционных заболеваний. Для уничтожения насекомых применяют физические (кипячение, проглаживание накаленным утюгом и др.), химические (применение дезинсектирующих средств) и комбинированные способы.

Истребление грызунов в большинстве случаев проводят с помощью механических приспособлений (ловушек различных типов) и химических препаратов. После проведения дезинфекции, дезинсекции и дератизации проводится полная санитарная обработка лиц, принимавших участие в осуществлении названных мероприятий. При необходимости организуется санитарная обработка и остального населения.

Контрольные вопросы

1. Перечислите СИЗОД.

2. Перечислите СИЗ кожи.

3. Назовите порядок изготовления ВМП.

4. При каких опасностях используются индивидуальные средства защиты?

5. Что является основным средством защиты при угрозе применения ядерного оружия?

6. Что относится к основным средством защиты населения от биологического оружия?

7.Какие индивидуальные средства защиты применяются при химической угрозе?

8. Какие действия предполагает санитарная обработка?

9. В чем отличие дезинфекции от дезинсекции?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1.Косолапова Н.В. Основы безопасности жизнедеятельности: учебник / Н.В. Косолапова, Н.А. Прокопенко. – 3-е изд., стереот., - М.: Академия, 2013. – 320 с.: ил.

2. Безопасности жизнедеятельности: учебник / Е.А. Арустамов. – 9-е изд., стереот., - М.: Академия, 2013 с.: ис.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой,

_____ Д.Ф. Шулиманов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

по дисциплине

ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И СПОРТ

Автор: Шулиманов Д.Ф.

Екатеринбург
2020

Содержание

Цели и задачи дисциплины …….....3
Место дисциплины в структуре основной образовательной программы …….3
Требования к оформлению контрольной работы ……..……..3
Содержание контрольной работы…….....3
Выполнение работы над ошибками……...……....9
Критерии оценивания контрольной работы ……9
Образец титульного листа …….……...10

1. Цели и задачи дисциплины

Цель: формирование физической культуры личности и способности направленного использования разнообразных средств физической культуры, спорта и туризма для сохранения и укрепления здоровья, психофизической подготовки и самоподготовки к будущей жизни и профессиональной деятельности.

Задачи:

- формирование осознания социальной значимости физической культуры и её роли в развитии личности и подготовке к профессиональной деятельности;
- изучение научно-биологических, педагогических и практических основ физической культуры и здорового образа жизни;
- формирование мотивационно-ценностного отношения к физической культуре, установки на здоровый стиль жизни, физическое совершенствование и самовоспитание привычки к регулярным занятиям физическими упражнениями и спортом;

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

Дисциплина «Физическая культура и спорт» относится к разделу «Блок 1. Базовая часть».

3. Требования к оформлению контрольной работы

Контрольные задания выполняются на листах формата А4 в рукописном виде, кроме титульного листа. На титульном листе (см. образец оформления титульного листа в печатном виде) указывается фамилия студента, номер группы, номер контрольной работы и фамилия преподавателя, у которого занимается обучающийся.

В конце работы должна быть поставлена подпись студента и дата выполнения заданий.

Контрольные задания должны быть выполнены в той последовательности, в которой они даны в контрольной работе.

Выполненную контрольную работу необходимо сдать преподавателю для проверки в установленные сроки.

Если контрольная работа выполнена без соблюдения изложенных выше требований, она возвращается студенту для повторного выполнения.

По дисциплине «физическая культура и спорт» представлен 1 вариант контрольной работы.

Содержание контрольной работы

№ п/п	Вопросы	Варианты ответов
1	Физическая культура представляет собой:	А) учебный предмет в школе Б) выполнение физических упражнений В) процесс совершенствования возможностей человека Г) часть общей культуры общества
2	Физическая подготовленность, приобретаемая в процессе физической подготовки к трудовой или иной деятельности, характеризуется:	А) высокой устойчивостью к стрессовым ситуациям, воздействию неблагоприятных условий внешней среды и различным заболеваниям Б) уровнем работоспособности и запасом двигательных умений и навыков В) хорошим развитием систем дыхания, кровообращением, достаточным запасом надежности, эффективности и экономичности Г) высокими результатами в учебной, трудовой и спортивной деятельности
3	Под физическим развитием понимается:	А) процесс изменения морфофункциональных свойств организма на протяжении жизни Б) размеры мускулатуры, формы тела, функциональные возможности дыхания и кровообращения, физическая работоспособность

		В) процесс совершенствования физических качеств при выполнении физических упражнений Г) уровень, обусловленный наследственностью и регулярностью занятий физической культурой и спортом
4	Физическая культура ориентирована на совершенствование	А) физических и психических качеств людей Б) техники двигательных действий В) работоспособности человека Г) природных физических свойств человека
5	Отличительным признаком физической культуры является:	А) развитие физических качеств и обучение двигательным действиям Б) физическое совершенство В) выполнение физических упражнений Г) занятия в форме уроков
6	В иерархии принципов в системе физического воспитания принцип всестороннего развития личности следует отнести к:	А) общим социальным принципам воспитательной стратегии общества Б) общим принципам образования и воспитания В) принципам, регламентирующим процесс физического воспитания Г) принципам обучения
7	Физическими упражнениями называются:	А) двигательные действия, с помощью которых развивают физические качества и укрепляют здоровье Б) двигательные действия, дозируемые по величине нагрузки и продолжительности выполнения В) движения, выполняемые на уроках физической культуры и во время утренней гимнастики Г) формы двигательных действий, способствующие решению задач физического воспитания
8	Нагрузка физических упражнений характеризуется:	А) подготовленностью занимающихся в соответствии с их возрастом, состоянием здоровья, самочувствием во время занятия Б) величиной их воздействия на организм В) временем и количеством повторений двигательных действий Г) напряжением отдельных мышечных групп
9	Величина нагрузки физических упражнений обусловлена:	А) сочетанием объема и интенсивности двигательных действий Б) степенью преодолеваемых при их выполнении трудностей В) утомлением, возникающим при их выполнении Г) частотой сердечных сокращений
10	Если ЧСС после выполнения упражнения восстанавливается за 60 сек до уровня, который был в начале урока, то это свидетельствует о том, что нагрузка	А) мала и ее следует увеличить Б) переносится организмом относительно легко В) достаточно большая и ее можно повторить Г) чрезмерная и ее нужно уменьшить
11	Интенсивность выполнения упражнений можно определить по ЧСС. Укажите, какую частоту пульса вызывает большая интенсивность упражнений	А) 120-130 уд/мин Б) 130-140 уд/мин В) 140-150 уд/мин Г) свыше 150 уд/мин
12	Регулярные занятия физическими упражнениями способствуют повышению работоспособности, потому что:	А) во время занятий выполняются двигательные действия, содействующие развитию силы и выносливости Б) достигаемое при этом утомление активизирует процессы восстановления и адаптации В) в результате повышается эффективность и экономичность дыхания и кровообращения.

		Г) человек, занимающийся физическими упражнениями, способен выполнить большой объем физической работы за отведенный отрезок времени.
13	Что понимают под закаливанием:	А) купание в холодной воде и хождение босиком Б) приспособление организма к воздействию внешней среды В) сочетание воздушных и солнечных ванн с гимнастикой и подвижными играми Г) укрепление здоровья
14	Во время индивидуальных занятий закаливающими процедурами следует соблюдать ряд правил. Укажите, какой из перечисленных ниже рекомендаций придерживаться не стоит:	А) чем ниже температура воздуха, тем интенсивней надо выполнять упражнение, т.к. нельзя допускать переохлаждения Б) чем выше температура воздуха, тем короче должны быть занятия, т.к. нельзя допускать перегревания организма В) не рекомендуется тренироваться при активном солнечном излучении Г) после занятия надо принять холодный душ
15	Правильное дыхание характеризуется:	А) более продолжительным выдохом Б) более продолжительным вдохом В) вдохом через нос и выдохом через рот Г) ровной продолжительностью вдоха и выдоха
16	При выполнении упражнений вдох не следует делать во время:	А) вращений и поворотов тела Б) наклонах туловища назад В) возвращение в исходное положение после наклона Г) дыхание во время упражнений должно быть свободным, рекомендации относительно времени вдоха и выдоха не нужны
17	Что называется осанкой?	А) качество позвоночника, обеспечивающее хорошее самочувствие и настроение Б) пружинные характеристики позвоночника и стоп В) привычная поза человека в вертикальном положении Г) силуэт человека
18	Правильной осанкой можно считать, если вы, стоя у стены, касаетесь ее:	А) затылком, ягодицами, пятками Б) лопатками, ягодицами, пятками В) затылком, спиной, пятками Г) затылком, лопатками, ягодицами, пятками
19	Соблюдение режима дня способствует укреплению здоровья, потому, что:	А) он обеспечивает ритмичность работы организма Б) он позволяет правильно планировать дела в течение дня В) распределение основных дел осуществляется более или менее стандартно в течение каждого дня Г) он позволяет избегать неоправданных физических напряжений
20	Замена одних видов деятельности другими, регулируема режимом дня, позволяет поддержать работоспособность в течение дня, потому что:	А) это положительно сказывается на физическом и психическом состоянии человека Б) снимает утомление нервных клеток организма В) ритмическое чередование работы с отдыхом предупреждает возникновение перенапряжения Г) притупляется чувство общей усталости и повышает тонус организма

21	Систематические и грамотно организованные занятия физическими упражнениями укрепляют здоровье, так как	А) хорошая циркуляция крови во время упражнений обеспечивает поступление питательных веществ к органам и системам организма Б) повышается возможность дыхательной системы, благодаря чему в организм поступает большее количество кислорода, необходимого для образования энергии В) занятия способствуют повышению резервных возможностей организма Г) при достаточном энергообеспечении организм легче противостоит простудным и инфекционным заболеваниям
22	Почему на уроках физической культуры выделяют подготовительную, основную и заключительную части?	А) так учителю удобнее распределять различные по характеру упражнения Б) это обусловлено необходимость управлять динамикой работоспособности занимающихся. В) выделение частей в уроке требует Министерство образовании России Г) потому, что перед уроком, как правило, ставятся задачи, и каждая часть урока предназначена для решения одной из них
23	Укажите, в какой последовательности должны выполняться в комплексе утренней гимнастикой перечисленные упражнения: 1. Дыхательные. 2. На укрепление мышц и повышение гибкости. 3. Потягивания. 4 бег с переходом на ходьбу. 5. Ходьба с постепенным повышение частоты шагов. 6. Прыжки. 7.Поочередное напряжение и расслабление мышц. 8. Бег в спокойном темпе.	А) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 Б) 7, 5, 8, 6, 2, 3, 2, 1, 4 В) 3, 7, 5, 8, 1, 2, 6, 4 Г) 3, 1, 2, 4, 7, 6, 8, 4
24	Под силой как физическим качеством понимается:	А) способность поднимать тяжелые предметы Б) свойство человека противодействовать внешним силам за счет мышечных напряжений В) свойство человека воздействовать на внешние силы за счет внешних сопротивлений Г) комплекс свойств организма, позволяющих преодолевать внешнее сопротивление либо противодействовать ему.
25	Выберите правильное распределение перечисленных ниже упражнений в занятии по общей физической подготовке. 1. Ходьба или спокойный бег в чередовании с дыхательными упражнениями. 2. Упражнения, постепенно включающие в работу все большее количество мышечных групп. 3. Упражнения на развитие выносливости. 4. Упражнения на развитие быстроты и гибкости. 5. упражнения на развитие силы. 6. Дыхательные упражнения.	А) 1, 2, 5, 4, 3, 6 Б) 6, 2, 3, 1, 4, 5 В) 2, 6, 4, 5, 3, 1 Г) 2,1, 3, 4, 5, 6
26	Основная часть урока по общей физической подготовке отводится развитию физических качеств. Укажите, какая последовательность воздействий на физические качества наиболее эффективна. 1. Выносливость. 2. Гибкость. 3. быстрота. 4. Сила.	А) 1, 2, 3, 4 Б) 2,3,1,4 В) 3, 2, 4, 1 Г) 4,2 ,3, 1
27	Какие упражнения неэффективны при формировании телосложения	А) упражнения, способствующие увеличению мышечной массы

		Б) упражнения, способствующие снижению массы тела В) упражнения, объединенные в форме круговой тренировки Г) упражнения, способствующие повышению быстроты движений
28	И для увеличения мышечной массы, и для снижения веса тела можно применять упражнения с отягощением. Но при составлении комплексов упражнений для увеличения мышечной массы рекомендуется:	А) полностью проработать одну группу мышц и только затем переходит к упражнениям, нагружающим другую группу мышц Б) чередовать серии упражнений, включающие в работу разные мышечные группы В) использовать упражнения с относительно небольшим отягощением и большим количеством повторений Г) планировать большое количество подходов и ограничивать количество повторений в одном подходе
29	Под быстротой как физическим качеством понимается:	А) комплекс свойств, позволяющих передвигаться с большой скоростью Б) комплекс свойств, позволяющий выполнять работу в минимальный отрезок времени В) способность быстро набирать скорость Г) комплекс свойств, позволяющий быстро реагировать на сигналы и выполнять движения с большой частотой
30	Для развития быстроты используют:	А) подвижные и спортивные игры Б) упражнения в беге с максимальной скоростью на короткие дистанции В) упражнения на быстроту реакции и частоту движений Г) двигательные действия, выполняемые с максимальной скоростью
31	Лучшие условия для развития быстроты реакции создаются во время:	А) подвижных и спортивных игр Б) челночного бега В) прыжков в высоту Г) метаний
32	Под гибкостью как физическим качеством понимается:	А) комплекс морфофункциональных свойств опорно-двигательного аппарата, определяющий глубину наклона Б) способность выполнять упражнения с большой амплитудой за счет мышечных сокращений. В) комплекс свойств двигательного аппарата, определяющих подвижность его звеньев Г) эластичность мышц и связок
33	Как дозируются упражнения на развитие гибкости, т.е. сколько движений следует делать в одной серии:	А) Упражнение выполняется до тех пор, пока не начнет уменьшаться амплитуда движений Б) выполняются 12-16 циклов движения В) упражнения выполняются до появления пота Г) упражнения выполняются до появления болевых ощущений
34	Для повышения скорости бега в самостоятельном занятии после разминки рекомендуется выполнять перечисленные ниже упражнения. Укажите их целесообразную последовательность: 1. Дыхательные упражнения. 2. Легкий продолжительный бег. 3. Прыжковые	А) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 Б) 7, 5, 4, 3, 2, 6, 1 В) 2, 1, 3, 7, 4, 5, 6 Г) 3, 6, 2, 7, 5, 4, 1

	упражнения с отягощением и без них. 4. дыхательные упражнения в интервалах отдыха. 5. Повторный бег на короткие дистанции. 6.Ходьба. 7. Упражнения на частоту движений.	
35	При развитии гибкости следует стремиться	А) гармоничному увеличению подвижности в основных суставах Б) достижению максимальной амплитуды движений в основных суставах В) оптимальной амплитуде движений в плечевом, тазобедренном, коленом суставах Г) восстановлению нормальной амплитуды движений суставов
36	Под выносливостью как физическим качеством понимается:	А) комплекс свойств, обуславливающий возможность выполнять разнообразные физические нагрузки Б) комплекс свойств, определяющих способность противостоять утомлению В) способность длительно совершать физическую работу, практически не утомляясь Г) способность сохранять заданные параметры работы
37	Выносливость человека не зависит от:	А) функциональных возможностей систем энергообеспечения Б) быстроты двигательной реакции В) настойчивости, выдержки, мужественности, умения терпеть Г) силы мышц
38	При развитии выносливости не применяются упражнения, характерными признаками которых являются:	А) максимальная активность систем энергообеспечения Б) умеренная интенсивность В) максимальная интенсивность Г) активная работа большинства звеньев опорно-двигательного аппарата
39	Техникой физических упражнений принято называть	А) способ целесообразного решения двигательной задачи Б) способ организации движений при выполнении упражнений В) состав и последовательность движений при выполнении упражнений Г) рациональную организацию двигательных действий
40	При анализе техники принято выделять основу, ведущее звено и детали техники. Что понимают под основой (ведущим звеном и деталями техники).	А) набор элементов, характеризующий индивидуальные особенности выполнения целостного двигательного действия Б) состав и последовательность элементов, входящих в двигательное действие В) совокупность элементов, необходимых для решения двигательной задачи Г) наиболее важная часть определенного способа решения двигательной задачи
41	В процессе обучения двигательным действиям используют методы целостного или расчлененного упражнения. Выбор метода зависит от	А) возможности расчленения двигательного действия на относительно самостоятельные элементы Б) сложности основы техники В) количества элементов, составляющих двигательное действие Г) предпочтения учителя

42	Процесс обучения двигательному действию рекомендуется начинать с освоения	А) основы техники Б) ведущего звена техники В) подводящих упражнений Г) исходного положения
43	Физкультминутку, как одну из форм занятий физическими упражнениями следует отнести к:	А) урочным формам занятий физическими упражнениями Б) «малым» неурочным формам В) «крупным» неурочным формам Г) соревновательным формам
44	Какой раздел комплексной программы по физическому воспитанию для общеобразовательных школ не является типовым?	А) уроки физической культуры Б) внеклассная работа В) физкультурно-массовые и спортивные мероприятия Г) содержание и организация педагогической практики
45	Измерение ЧСС сразу после пробегания отрезка дистанции следует отнести к одному из видов контроля:	А) оперативному Б) текущему В) предварительному Г) итоговому

Проблемные и сложные вопросы, возникающие в процессе изучения курса и выполнения контрольной работы, необходимо решать с преподавателем на консультациях.

Выполнению контрольной работы должно предшествовать самостоятельное изучение студентом рекомендованной литературы.

Студент получает проверенную контрольную работу с исправлениями в тексте и замечаниями. В конце работы выставляется оценка «зачтено», «не зачтено». Работа с оценкой «не зачтено» должна быть доработана и представлена на повторную проверку.

Выполнение работы над ошибками

При получении проверенной контрольной работы необходимо проанализировать отмеченные ошибки. Все задания, в которых были сделаны ошибки или допущены неточности, следует еще раз выполнить в конце данной контрольной работы. Контрольные работы являются учебными документами, которые хранятся на кафедре до конца учебного года.

Критерии оценивания контрольной работы

Оценка за контрольную работу определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы: 1 правильный ответ = 2 балл. Максимум 90 баллов.

Результат контрольной работы

Контрольная работа оценивается на «зачтено», «не зачтено»:

46-90 балла (50-100%) - оценка «зачтено»;

0-44 балла (0-49%) - оценка «не зачтено»;

Образец оформления титульного листа



Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Кафедра физической культуры

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине
ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И СПОРТ

Выполнил: Иванов Иван Иванович
Группа _____

Преподаватель: Петров Петр Петрович

Екатеринбург
2018

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА И СПОРТ

Автор: Шулиманов Д.Ф.

Одобрена на заседании кафедры

Физической культуры

(название кафедры)

Зав.кафедрой _____

(подпись)

Шулиманов Д.Ф.

(Фамилия И.О.)

Екатеринбург
2019

Содержание

Цели и задачи дисциплины …….....3
Место дисциплины в структуре основной образовательной программы ……3
Требования к оформлению теста ……..…….....3
Содержание теста…….....3
Содержание опроса…….....9
Выполнение работы над ошибками……...……..11

Цели и задачи дисциплины

Цель: формирование физической культуры личности и способности направленного использования разнообразных средств физической культуры, спорта и туризма для сохранения и укрепления здоровья, психофизической подготовки и самоподготовки к будущей жизни и профессиональной деятельности.

Задачи:

- формирование осознания социальной значимости физической культуры и её роли в развитии личности и подготовке к профессиональной деятельности;
- изучение научно-биологических, педагогических и практических основ физической культуры и здорового образа жизни;
- формирование мотивационно-ценностного отношения к физической культуре, установки на здоровый стиль жизни, физическое совершенствование и самовоспитание привычки к регулярным занятиям физическими упражнениями и спортом;

Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

Дисциплина «Физическая культура и спорт» относится к разделу «Блок 1. Базовая часть».

Требования к оформлению теста

Задания выполняются на листах формата А4 в рукописном виде, кроме титульного листа. На титульном листе (см. образец оформления титульного листа в печатном виде) указывается фамилия студента, номер группы, фамилия преподавателя, у которого занимается обучающийся.

В конце работы должна быть поставлена подпись студента и дата выполнения заданий.

Задания должны быть выполнены в той последовательности, в которой они даны в тесте.

Выполненный тест необходимо сдать преподавателю для проверки в установленные сроки.

Если тест выполнен без соблюдения изложенных выше требований, она возвращается студенту для повторного выполнения.

По дисциплине «физическая культура и спорт» представлен, тест, вопросы для проведения опроса.

Содержание теста

№ п/п	Вопросы	Варианты ответов
1	Физическая культура представляет собой:	А) учебный предмет в школе Б) выполнение физических упражнений В) процесс совершенствования возможностей человека Г) часть общей культуры общества
2	Физическая подготовленность, приобретаемая в процессе физической подготовки к трудовой или иной деятельности, характеризуется:	А) высокой устойчивостью к стрессовым ситуациям, воздействию неблагоприятных условий внешней среды и различным заболеваниям Б) уровнем работоспособности и запасом двигательных умений и навыков В) хорошим развитием систем дыхания, кровообращением, достаточным запасом надежности, эффективности и экономичности Г) высокими результатами в учебной, трудовой и спортивной деятельности
3	Под физическим развитием понимается:	А) процесс изменения морфофункциональных свойств организма на протяжении жизни Б) размеры мускулатуры, формы тела, функциональные возможности дыхания и кровообращения, физическая работоспособность В) процесс совершенствования физических качеств при выполнении физических упражнений

		Г) уровень, обусловленный наследственностью и регулярностью занятий физической культурой и спортом
4	Физическая культура ориентирована на совершенствование	А) физических и психических качеств людей Б) техники двигательных действий В) работоспособности человека Г) природных физических свойств человека
5	Отличительным признаком физической культуры является:	А) развитие физических качеств и обучение двигательным действиям Б) физическое совершенство В) выполнение физических упражнений Г) занятия в форме уроков
6	В иерархии принципов в системе физического воспитания принцип всестороннего развития личности следует отнести к:	А) общим социальным принципам воспитательной стратегии общества Б) общим принципам образования и воспитания В) принципам, регламентирующим процесс физического воспитания Г) принципам обучения
7	Физическими упражнениями называются:	А) двигательные действия, с помощью которых развивают физические качества и укрепляют здоровье Б) двигательные действия, дозируемые по величине нагрузки и продолжительности выполнения В) движения, выполняемые на уроках физической культуры и во время утренней гимнастики Г) формы двигательных действий, способствующие решению задач физического воспитания
8	Нагрузка физических упражнений характеризуется:	А) подготовленностью занимающихся в соответствии с их возрастом, состоянием здоровья, самочувствием во время занятия Б) величиной их воздействия на организм В) временем и количеством повторений двигательных действий Г) напряжением отдельных мышечных групп
9	Величина нагрузки физических упражнений обусловлена:	А) сочетанием объема и интенсивности двигательных действий Б) степенью преодолеваемых при их выполнении трудностей В) утомлением, возникающим при их выполнении Г) частотой сердечных сокращений
10	Если ЧСС после выполнения упражнения восстанавливается за 60 сек до уровня, который был в начале урока, то это свидетельствует о том, что нагрузка	А) мала и ее следует увеличить Б) переносится организмом относительно легко В) достаточно большая и ее можно повторить Г) чрезмерная и ее нужно уменьшить
11	Интенсивность выполнения упражнений можно определить по ЧСС. Укажите, какую частоту пульса вызывает большая интенсивность упражнений	А) 120-130 уд/мин Б) 130-140 уд/мин В) 140-150 уд/мин Г) свыше 150 уд/мин
12	Регулярные занятия физическими упражнениями способствуют повышению работоспособности, потому что:	А) во время занятий выполняются двигательные действия, содействующие развитию силы и выносливости Б) достигаемое при этом утомление активизирует процессы восстановления и адаптации В) в результате повышается эффективность и экономичность дыхания и кровообращения.

		Г) человек, занимающийся физическими упражнениями, способен выполнить большой объем физической работы за отведенный отрезок времени.
13	Что понимают под закаливанием:	А) купание в холодной воде и хождение босиком Б) приспособление организма к воздействию внешней среды В) сочетание воздушных и солнечных ванн с гимнастикой и подвижными играми Г) укрепление здоровья
14	Во время индивидуальных занятий закаливающими процедурами следует соблюдать ряд правил. Укажите, какой из перечисленных ниже рекомендаций придерживаться не стоит:	А) чем ниже температура воздуха, тем интенсивней надо выполнять упражнение, т.к. нельзя допускать переохлаждения Б) чем выше температура воздуха, тем короче должны быть занятия, т.к. нельзя допускать перегревания организма В) не рекомендуется тренироваться при активном солнечном излучении Г) после занятия надо принять холодный душ
15	Правильное дыхание характеризуется:	А) более продолжительным выдохом Б) более продолжительным вдохом В) вдохом через нос и выдохом через рот Г) ровной продолжительностью вдоха и выдоха
16	При выполнении упражнений вдох не следует делать во время:	А) вращений и поворотов тела Б) наклонах туловища назад В) возвращение в исходное положение после наклона Г) дыхание во время упражнений должно быть свободным, рекомендации относительно времени вдоха и выдоха не нужны
17	Что называется осанкой?	А) качество позвоночника, обеспечивающее хорошее самочувствие и настроение Б) пружинные характеристики позвоночника и стоп В) привычная поза человека в вертикальном положении Г) силуэт человека
18	Правильной осанкой можно считать, если вы, стоя у стены, касаетесь ее:	А) затылком, ягодицами, пятками Б) лопатками, ягодицами, пятками В) затылком, спиной, пятками Г) затылком, лопатками, ягодицами, пятками
19	Соблюдение режима дня способствует укреплению здоровья, потому, что:	А) он обеспечивает ритмичность работы организма Б) он позволяет правильно планировать дела в течение дня В) распределение основных дел осуществляется более или менее стандартно в течение каждого дня Г) он позволяет избегать неоправданных физических напряжений
20	Замена одних видов деятельности другими, регулируема режимом дня, позволяет поддержать работоспособность в течение дня, потому что:	А) это положительно сказывается на физическом и психическом состоянии человека Б) снимает утомление нервных клеток организма В) ритмическое чередование работы с отдыхом предупреждает возникновение перенапряжения Г) притупляется чувство общей усталости и повышает тонус организма

21	Систематические и грамотно организованные занятия физическими упражнениями укрепляют здоровье, так как	А) хорошая циркуляция крови во время упражнений обеспечивает поступление питательных веществ к органам и системам организма Б) повышается возможность дыхательной системы, благодаря чему в организм поступает большее количество кислорода, необходимого для образования энергии В) занятия способствуют повышению резервных возможностей организма Г) при достаточном энергообеспечении организм легче противостоит простудным и инфекционным заболеваниям
22	Почему на уроках физической культуры выделяют подготовительную, основную и заключительную части?	А) так учителю удобнее распределять различные по характеру упражнения Б) это обусловлено необходимость управлять динамикой работоспособности занимающихся. В) выделение частей в уроке требует Министерство образовании России Г) потому, что перед уроком, как правило, ставятся задачи, и каждая часть урока предназначена для решения одной из них
23	Укажите, в какой последовательности должны выполняться в комплексе утренней гимнастикой перечисленные упражнения: 1. Дыхательные. 2. На укрепление мышц и повышение гибкости. 3. Потягивания. 4 бег с переходом на ходьбу. 5. Ходьба с постепенным повышение частоты шагов. 6. Прыжки. 7.Поочередное напряжение и расслабление мышц. 8. Бег в спокойном темпе.	А) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 Б) 7, 5, 8, 6, 2, 3, 2, 1, 4 В) 3, 7, 5, 8, 1, 2, 6, 4 Г) 3, 1, 2, 4, 7, 6, 8, 4
24	Под силой как физическим качеством понимается:	А) способность поднимать тяжелые предметы Б) свойство человека противодействовать внешним силам за счет мышечных напряжений В) свойство человека воздействовать на внешние силы за счет внешних сопротивлений Г) комплекс свойств организма, позволяющих преодолевать внешнее сопротивление либо противодействовать ему.
25	Выберите правильное распределение перечисленных ниже упражнений в занятии по общей физической подготовке. 1. Ходьба или спокойный бег в чередовании с дыхательными упражнениями. 2. Упражнения, постепенно включающие в работу все большее количество мышечных групп. 3. Упражнения на развитие выносливости. 4. Упражнения на развитие быстроты и гибкости. 5. упражнения на развитие силы. 6. Дыхательные упражнения.	А) 1, 2, 5, 4, 3, 6 Б) 6, 2, 3, 1, 4, 5 В) 2, 6, 4, 5, 3, 1 Г) 2,1, 3, 4, 5, 6
26	Основная часть урока по общей физической подготовке отводится развитию физических качеств. Укажите, какая последовательность воздействий на физические качества наиболее эффективна. 1. Выносливость. 2. Гибкость. 3. быстрота. 4. Сила.	А) 1, 2, 3, 4 Б) 2,3,1,4 В) 3, 2, 4, 1 Г) 4,2 ,3, 1
27	Какие упражнения неэффективны при формировании телосложения	А) упражнения, способствующие увеличению мышечной массы

		Б) упражнения, способствующие снижению массы тела В) упражнения, объединенные в форме круговой тренировки Г) упражнения, способствующие повышению быстроты движений
28	И для увеличения мышечной массы, и для снижения веса тела можно применять упражнения с отягощением. Но при составлении комплексов упражнений для увеличения мышечной массы рекомендуется:	А) полностью проработать одну группу мышц и только затем переходит к упражнениям, нагружающим другую группу мышц Б) чередовать серии упражнений, включающие в работу разные мышечные группы В) использовать упражнения с относительно небольшим отягощением и большим количеством повторений Г) планировать большое количество подходов и ограничивать количество повторений в одном подходе
29	Под быстротой как физическим качеством понимается:	А) комплекс свойств, позволяющих передвигаться с большой скоростью Б) комплекс свойств, позволяющий выполнять работу в минимальный отрезок времени В) способность быстро набирать скорость Г) комплекс свойств, позволяющий быстро реагировать на сигналы и выполнять движения с большой частотой
30	Для развития быстроты используют:	А) подвижные и спортивные игры Б) упражнения в беге с максимальной скоростью на короткие дистанции В) упражнения на быстроту реакции и частоту движений Г) двигательные действия, выполняемые с максимальной скоростью
31	Лучшие условия для развития быстроты реакции создаются во время:	А) подвижных и спортивных игр Б) челночного бега В) прыжков в высоту Г) метаний
32	Под гибкостью как физическим качеством понимается:	А) комплекс морфофункциональных свойств опорно-двигательного аппарата, определяющий глубину наклона Б) способность выполнять упражнения с большой амплитудой за счет мышечных сокращений. В) комплекс свойств двигательного аппарата, определяющих подвижность его звеньев Г) эластичность мышц и связок
33	Как дозируются упражнения на развитие гибкости, т.е. сколько движений следует делать в одной серии:	А) Упражнение выполняется до тех пор, пока не начнет уменьшаться амплитуда движений Б) выполняются 12-16 циклов движения В) упражнения выполняются до появления пота Г) упражнения выполняются до появления болевых ощущений
34	Для повышения скорости бега в самостоятельном занятии после разминки рекомендуется выполнять перечисленные ниже упражнения. Укажите их целесообразную последовательность: 1. Дыхательные упражнения. 2. Легкий продолжительный бег. 3. Прыжковые	А) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 Б) 7, 5, 4, 3, 2, 6, 1 В) 2, 1, 3, 7, 4, 5, 6 Г) 3, 6, 2, 7, 5, 4, 1

	упражнения с отягощением и без них. 4. дыхательные упражнения в интервалах отдыха. 5. Повторный бег на короткие дистанции. 6.Ходьба. 7. Упражнения на частоту движений.	
35	При развитии гибкости следует стремиться	А) гармоничному увеличению подвижности в основных суставах Б) достижению максимальной амплитуды движений в основных суставах В) оптимальной амплитуде движений в плечевом, тазобедренном, коленом суставах Г) восстановлению нормальной амплитуды движений суставов
36	Под выносливостью как физическим качеством понимается:	А) комплекс свойств, обуславливающий возможность выполнять разнообразные физические нагрузки Б) комплекс свойств, определяющих способность противостоять утомлению В) способность длительно совершать физическую работу, практически не утомляясь Г) способность сохранять заданные параметры работы
37	Выносливость человека не зависит от:	А) функциональных возможностей систем энергообеспечения Б) быстроты двигательной реакции В) настойчивости, выдержки, мужественности, умения терпеть Г) силы мышц
38	При развитии выносливости не применяются упражнения, характерными признаками которых являются:	А) максимальная активность систем энергообеспечения Б) умеренная интенсивность В) максимальная интенсивность Г) активная работа большинства звеньев опорно-двигательного аппарата
39	Техникой физических упражнений принято называть	А) способ целесообразного решения двигательной задачи Б) способ организации движений при выполнении упражнений В) состав и последовательность движений при выполнении упражнений Г) рациональную организацию двигательных действий
40	При анализе техники принято выделять основу, ведущее звено и детали техники. Что понимают под основой (ведущим звеном и деталями техники).	А) набор элементов, характеризующий индивидуальные особенности выполнения целостного двигательного действия Б) состав и последовательность элементов, входящих в двигательное действие В) совокупность элементов, необходимых для решения двигательной задачи Г) наиболее важная часть определенного способа решения двигательной задачи
41	В процессе обучения двигательным действиям используют методы целостного или расчлененного упражнения. Выбор метода зависит от	А) возможности расчленения двигательного действия на относительно самостоятельные элементы Б) сложности основы техники В) количества элементов, составляющих двигательное действие Г) предпочтения учителя

42	Процесс обучения двигательному действию рекомендуется начинать с освоения	А) основы техники Б) ведущего звена техники В) подводящих упражнений Г) исходного положения
43	Физкультминутку, как одну из форм занятий физическими упражнениями следует отнести к:	А) урочным формам занятий физическими упражнениями Б) «малым» неурочным формам В) «крупным» неурочным формам Г) соревновательным формам
44	Какой раздел комплексной программы по физическому воспитанию для общеобразовательных школ не является типовым?	А) уроки физической культуры Б) внеклассная работа В) физкультурно-массовые и спортивные мероприятия Г) содержание и организация педагогической практики
45	Измерение ЧСС сразу после пробегания отрезка дистанции следует отнести к одному из видов контроля:	А) оперативному Б) текущему В) предварительному Г) итоговому

Критерии оценивания теста

Оценка за тест определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы: 1 правильный ответ = 2 балл. Максимум 90 баллов.

Результат теста

Тест оценивается на «зачтено», «не зачтено»:

46-90 балла (50-100%) - оценка «зачтено»;

0-44 балла (0-49%) - оценка «не зачтено»;

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПРОСА

1. Определение понятий в области физической культуры
2. Понятие «здоровье» и основные его компоненты
3. Факторы, определяющие здоровье человека.
4. Образ жизни и его составляющие.
5. Разумное чередование труда и отдыха, как компонент ЗОЖ.
6. Рациональное питание и ЗОЖ.
7. Отказ от вредных привычек и соблюдение правил личной и общественной гигиены.
8. Двигательная активность — как компонент ЗОЖ.
9. Выполнение мероприятий по закаливанию организма.
10. Физическое самовоспитание и самосовершенствование как необходимое условие реализации мероприятий ЗОЖ.
11. Врачебный контроль как обязательная процедура для занимающихся физической культурой.
12. Самоконтроль — необходимая форма контроля человека за физическим состоянием.
13. Методика самоконтроля физического развития.
14. Самостоятельное измерение артериального давления и частоты сердечных сокращений.
15. Проведение функциональных проб для оценки деятельности сердечно-сосудистой системы.
16. Проведение функциональных проб для оценки деятельности дыхательной системы.
17. Самоконтроль уровня развития физических качеств: быстроты, гибкости, ловкости, силы и выносливости
18. Ведение дневника самоконтроля.
19. Цель и задачи физического воспитания в вузе.
20. Специфические функции физической культуры.
21. Социальная роль и значение спорта.
22. Этапы становления физической культуры личности студента.
23. Понятия физическая культура, физическое воспитание, физическое развитие, физическое совершенство.

24. Реабилитационная физическая культура, виды, краткая характеристика.
25. Разделы учебной программы дисциплины «Физическая культура».
26. Комплектование учебных отделений студентов для организации и проведения занятий по физическому воспитанию.
27. Преимущества спортивно-ориентированной программы дисциплины «Физическая культура» для студентов.
28. Особенности комплектования студентов с различным характером заболеваний в специальном учебном отделении.
29. Зачетные требования по учебной дисциплине «Физическая культура».
30. Формирование двигательного навыка.
31. Устойчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов.
32. Мотивация и направленность самостоятельных занятий.
33. Утренняя гигиеническая гимнастика.
34. Мотивация выбора видов спорта или систем физических упражнений.
35. Самостоятельные занятия оздоровительным бегом.
36. Самостоятельные занятия атлетической гимнастикой.
37. Особенности самостоятельных занятий женщин.
38. Мотивация и направленность самостоятельных занятий. Утренняя гигиеническая гимнастика.
39. Физические упражнения в течение учебного дня: физкультминутки, физкультпаузы.
40. Самостоятельные тренировочные занятия: структура, требования к организации и проведению.
41. Мотивация выбора видов спорта или систем физических упражнений.
42. Самостоятельные занятия оздоровительным бегом.
43. Самостоятельные занятия атлетической гимнастикой.
44. Особенности самостоятельных занятий женщин.
45. Роль физической культуры в профессиональной деятельности бакалавра и специалиста.
46. Производственная физическая культура, ее цели и задачи.
47. Методические основы производственной физической культуры.
48. Производственная физическая культура в рабочее время.
49. Физическая культура и спорт в свободное время.
50. Профилактика профессиональных заболеваний и травматизма средствами физической культуры.
51. Понятие ППФП, её цель, задачи. Прикладные знания, умения и навыки.
52. Прикладные психические качества.
53. Прикладные специальные качества.
54. Факторы, определяющие содержание ППФП: формы труда, условия труда.
55. Факторы, определяющие содержание ППФП: характер труда, режим труда и отдыха.
56. Дополнительные факторы, определяющие содержание ППФП.
57. Средства ППФП.
58. Организация и формы ППФП в вузе.
59. Понятия общей и специальной физической подготовки.
60. Отличия понятий спортивная подготовка и спортивная тренировка.
61. Стороны подготовки спортсмена.
62. Средства спортивной подготовки.
63. Структура отдельного тренировочного занятия.
64. Роль подготовительной части занятия в тренировочном процессе.
65. Понятие «физическая нагрузка», эффект ее воздействия на организм.
66. Внешние признаки утомления.
67. Виды и параметры физических нагрузок.
68. Интенсивность физических нагрузок.
69. Психофизиологическая характеристика умственной деятельности.
70. Работоспособность: понятие, факторы, периоды
71. Физические упражнения в течение учебного дня для поддержания работоспособности.
72. Бег как самое эффективное средство восстановления и повышения работоспособности.
73. Плавание и работоспособность.
74. Методические принципы физического воспитания, сущность и значение.
75. Принципы сознательности и активности, наглядности в процессе физического воспитания.
76. Принципы доступности и индивидуализации, систематичности и динамичности.
77. Средства физической культуры.
78. Общепедагогические методы физического воспитания.
79. Методы обучения технике двигательного действия.
80. Этапы обучения двигательного действия.
81. Методы развития физических качеств: равномерный, повторный, интервальный.
82. Метод круговой тренировки, игровой и соревновательный методы.
83. Сила как физическое качество, общая характеристика силовых упражнений.
84. Методы развития силы.
85. Выносливость — виды выносливости, особенности развития выносливости.

86. Развитие физических качеств: быстроты, гибкости, ловкости.
87. Понятие «спорт». Его принципиальное отличие от других видов занятий физическими упражнениями.
88. Массовый спорт: понятие, цель, задачи.
89. Спорт высших достижений: понятие, цель, задачи.
90. Студенческий спорт, его организационные особенности.
91. Студенческие спортивные соревнования.
92. Студенческие спортивные организации.
93. Всероссийский физкультурно-спортивный комплекс «ГТО» (Готов к труду и обороне).

Выполнение работы над ошибками

При получении проверенного теста необходимо проанализировать отмеченные ошибки. Все задания, в которых были сделаны ошибки или допущены неточности, следует еще раз выполнить в конце данного теста. Тесты, тесты являются учебными документами, которые хранятся на кафедре до конца учебного года.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

по дисциплине

ЭЛЕКТИВНЫЕ КУРСЫ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ И СПОРТУ

Автор: Шулиманов Д.Ф.

Одобрена на заседании кафедры

Физической культуры
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)

Шулиманов Д.Ф.
(Фамилия И.О.)

Екатеринбург
2020

Содержание

Цели и задачи дисциплины …….....3
Место дисциплины в структуре основной образовательной программы …….3
Требования к оформлению контрольной работы ……..……..3
Содержание контрольной работы…….....3
Выполнение работы над ошибками……...……..10
Критерии оценивания контрольной работы ……...10
Образец титульного листа ……..……...11

1. Цели и задачи дисциплины

Цель: формирование физической культуры личности и способности направленного использования разнообразных средств физической культуры, спорта и туризма для сохранения и укрепления здоровья, психофизической подготовки и самоподготовки к будущей жизни и профессиональной деятельности.

Задачи:

- формирование осознания социальной значимости физической культуры и её роли в развитии личности и подготовке к профессиональной деятельности;
- изучение научно-биологических, педагогических и практических основ физической культуры и здорового образа жизни;
- формирование мотивационно-ценностного отношения к физической культуре, установки на здоровый стиль жизни, физическое совершенствование и самовоспитание привычки к регулярным занятиям физическими упражнениями и спортом;

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы

Дисциплина «Элективные курсы по физической культуре и спорту» относится к разделу «Блок 1. Базовая часть».

3. Требования к оформлению контрольной работы

Контрольные задания выполняются на листах формата А4 в рукописном виде, кроме титульного листа. На титульном листе (см. образец оформления титульного листа в печатном виде) указывается фамилия студента, номер группы, номер контрольной работы и фамилия преподавателя, у которого занимается обучающийся.

В конце работы должна быть поставлена подпись студента и дата выполнения заданий.

Контрольные задания должны быть выполнены в той последовательности, в которой они даны в контрольной работе.

Выполненную контрольную работу необходимо сдать преподавателю для проверки в установленные сроки.

Если контрольная работа выполнена без соблюдения изложенных выше требований, она возвращается студенту для повторного выполнения.

По дисциплине «элективные курсы по физической культуре и спорту» представлено 2 варианта контрольной работы.

Содержание контрольной работы

Вопросы для групповой дискуссии

1 .Что можно отнести к средствам физического воспитания?
2. Влияние климатогеографического фактора на здоровье и работоспособность человека
3. Чем отличается спорт от физической культуры?
4. Что мы относим к материальным ценностям физической культуры, а что – к духовным?
5. В чем состоит взаимосвязь физической и умственной деятельности человека?
6. Причины возникновения таких явлений как гипокинезия и гиподинамия
7. Для чего нужна адаптивная физическая культура?
8. При выборе вида спорта на какие аспекты и характеристики необходимо обратить основное внимание.

Контрольная работа №1

Вариант 1

ДЕ-1: Физическая культура в общекультурной и профессиональной подготовке обучающихся.

1. Часть общечеловеческой культуры, специфический процесс и результат человеческой деятельности, средство и способ физического совершенствования личности – это:

а) физическая культура; б) спорт; в) туризм; г) физическое развитие.

2. Физическое воспитание – это:

а) педагогический процесс, направленный на формирование физической культуры личности в результате педагогического воздействия и самовоспитания;

б) приобщение человека к физической культуре;

в) биологический процесс становления, изменения естественных морфологических и функциональных свойств организма в течение жизни человека;

г) процесс формирования определенных физических и психических качеств.

3. Чем спорт отличается от физической культуры:

а) наличием специального оборудования; б) присутствием зрителей; в) наличием соревновательного момента; г) большой физической нагрузкой.

4 Какой из ниже перечисленных принципов не относится к основным принципам физического воспитания:

а) сознательности и активности; б) наглядности; в) последовательности;

г) систематичности;

5 Под физическим развитием понимается:

а) процесс изменения морфофункциональных свойств организма на протяжении жизни;

б) размеры мускулатуры, форма тела, функциональные возможности дыхания и кровообращения, физическая работоспособность;

в) процесс совершенствования физических качеств, при выполнении физических упражнений;

г) уровень, обусловленный наследственностью и регулярностью занятий физической культурой и спортом.

ДЕ-2: Основы здорового образа жизни обучающегося.

1. Определение понятия «Здоровье» Всемирной организации здравоохранения. Здоровье это:

а) естественное состояние организма без болезней и недомоганий;

б) состояние полного физического, умственного и социального благополучия;

в) состояние отсутствия каких-либо заболеваний;

г) все перечисленное.

2. Состояние здоровья обусловлено:

а) резервными возможностями организма; б) образом жизни;

в) уровнем здравоохранения; г) отсутствием болезней.

3. Что не относятся к внешним факторам, влияющим на человека:

а) природные факторы; б) факторы социальной среды; в) генетические факторы;

г) биологические факторы.

4. Сколько времени необходимо нормальному человеку для ночного сна:

а) 5 – 6 часов; б) 6 – 7 часов; в) 7 – 8 часов; г) 8 – 9 часов.

5. К активному отдыху относится:

а) сон; б) отдых сидя; в) занятия двигательной деятельностью; г) умственная деятельность.

ДЕ-3: Средства и методы физической культуры.

1. Физическими упражнениями называются:

а) двигательные действия, используемые для формирования техники движений;

б) двигательные действия, используемые для развития физических качеств и укрепления здоровья;

в) двигательные действия, выполняемые на занятиях по физической культуре и самостоятельно;

г) двигательные действия, направленные на реализацию задач физического воспитания.

2. Занятия физическими упражнениями отличаются от трудовых действий:

а) интенсивностью; б) задачами; в) местом проведения; г) все ответы верны.

3. Физические упражнения являются:

а) принципом физического воспитания; б) методом физического воспитания;

в) средством физического воспитания; г) функцией физического воспитания.

4. Что не относится к методам физического воспитания:

а) игровой; б) регламентированного упражнения; в) словесный и сенсорный;

г) самостоятельный.

5. Метод в физической культуре – это

а) основное положение, определяющее содержание учебного процесса по физической культуре;

б) руководящее положение, раскрывающее принципы физической культуры;

в) конкретная причина, заставляющая человека выполнять физические упражнения;

г) способ применения физических упражнений.

ДЕ-4: Общая физическая и специальная подготовка в системе физического воспитания.

1. Физическая подготовка – это:

а) педагогический процесс, направленный на формирование физической культуры личности в результате педагогического воздействия и самовоспитания;

б) приобщение человека к физической культуре, в процессе которой он овладевает системой знаний, ценностей, позволяющих ему осознанно и творчески развивать физические способности;

в) биологический процесс становления, изменения естественных морфологических и функциональных свойств организма в течение жизни человека;

г) процесс формирования определенных физических и психических качеств, умений и навыков человека посредством направленных занятий с применением средств физической культуры.

2. К основным физическим качествам относятся:

а) рост, вес, объем бицепсов, становая сила; б) бег, прыжки, метания, лазания;
в) сила, выносливость, быстрота, ловкость, гибкость; г) взрывная сила, прыгучесть, меткость.

3. Различают гибкость:

а) абсолютную и относительную; б) общую и специальную; в) активную и пассивную;
г) простую и сложную.

4. Какие виды спорта развивают преимущественно выносливость:

а) спортивные единоборства; б) циклические; в) спортивные игры; г) ациклические.

5. Скоростно-силовые качества преимущественно развиваются:

а) в тяжелой атлетике; б) в акробатике; в) в конькобежном спорте; г) в лыжном спорте.

Вариант 2

ДЕ-1: Физическая культура в общекультурной и профессиональной подготовке обучающихся.

1. На что преимущественно влияют занятия по физической культуре:

а) на интеллектуальные способности;
б) на удовлетворение социальных потребностей;
в) на воспитание лидерских качеств;
г) на полноценное физическое развитие.

2. Физическая культура – это:

а) часть общечеловеческой культуры, специфический процесс и результат человеческой деятельности, средство и способ физического совершенствования личности;
б) часть наука о природе двигательной деятельности человека
в) вид воспитательного процесса, специфика которого заключена в обучении двигательным актам и управлением развитием и совершенствованием физических качеств человека;
г) процесс физического образования и воспитания, выражающий высокую степень развития индивидуальных физических способностей.

3. Что не относиться к компонентам физической культуры:

а) физическое развитие; б) спорт высших достижений; в) оздоровительно-реабилитационная физическая культура;
г) гигиеническая физическая культура.

4. Выбрать правильное определение термина «Физическое развитие»:

а) физическое развитие – это педагогический процесс, направленный на формирование физической культуры личности в результате педагогического воздействия и самовоспитания;
б) физическое развитие – это приобщение человека к физической культуре, в процессе которой он овладевает системой знаний, ценностей, позволяющих ему осознанно и творчески развивать физические способности;
в) физическое развитие – это биологический процесс становления, изменения естественных морфологических и функциональных свойств организма в течение жизни человека;
г) физическое развитие – это процесс формирования определенных физических и психических качеств, умений и навыков человека посредством направленных занятий с применением средств физической культуры.

5. Теоретический материал учебного предмета «Физическая культура и спорт» в высших учебных заведениях включает в себя:

а) фундаментальные знания общетеоретического характера;
б) инструктивно-методические знания;
в) знания о правилах выполнения двигательных действий;
г) все вышеперечисленное.

ДЕ-2: Основы здорового образа жизни обучающегося.

1. Что понимается под закаливанием:

а) купание в холодной воде и хождение босиком;
б) приспособление организма к воздействиям внешней среды;
в) сочетание воздушных и солнечных ванн с гимнастикой и подвижными играми;
г) укрепление здоровья.

2. Определение понятия «Здоровье» Всемирной организации здравоохранения. Здоровье это:

а) естественное состояние организма без болезней и недомоганий;
б) состояние полного физического, умственного и социального благополучия;
в) состояние отсутствия каких-либо заболеваний;
г) все перечисленное.

3. Какое понятие не относится к двигательной активности человека:

а) гипоксия; б) гиподинамия; в) гипокинезия; г) гипердинамия.

4. Какая из перечисленных функций не относится к функции кожи:

а) защита внутренней среды организма; б) теплорегуляция; в) выделение из организма продуктов обмена веществ;
г) звукоизоляция.

5. Соблюдение режима дня способствует укреплению здоровья, потому что:

а) обеспечивает ритмичность работы организма;

б) позволяет правильно планировать дела в течение дня;
в) распределение основных дел осуществляется более или менее стандартно в течение каждого дня;
г) позволяет избегать неоправданных физических напряжений.

ДЕ-3: Средства и методы физической культуры.

1. Физическое упражнение - это:

а) двигательные действия, используемые для формирования техники движений;
б) двигательные действия, используемые для развития физических качеств и укрепления здоровья;
в) двигательные действия, выполняемые на занятиях по физической культуре и самостоятельно;
г) двигательные действия, направленные на реализацию задач физического воспитания.

2. Положительное влияние физических упражнений на развитие функциональных возможностей организма будет зависеть:

а) от технической и физической подготовленности занимающихся;
б) от особенностей реакций систем организма в ответ на выполняемые упражнения;
г) от состояния здоровья и самочувствия занимающихся во время выполнения упражнений;
г) от величины физической нагрузки и степени напряжения в работе определенных мышечных групп.

3. Что не относиться к средствам физического воспитания:

а) физические упражнения;
б) подвижные игры;
в) соревнования;
в) спортивные игры.

4. Что относится к методическим принципам физического воспитания:

а) сознательность и активность;
б) наглядность и доступность;
в) систематичность и динамичность;
г) все вышеперечисленное.

5. Регулярные занятия физическими упражнениями способствует повышению работоспособности, потому что:

а) во время занятий выполняются двигательные действия, содействующие развитию силы и выносливости;
б) достигаемое при этом утомление активизирует процессы восстановления и адаптации;
в) в результате повышается эффективность и экономичность дыхания и кровообращения;
г) человек, занимающийся физическими упражнениями, способен выполнять больший объем физической работы за отведенный отрезок времени.

ДЕ-4: Общая физическая и специальная подготовка в системе физического воспитания.

1. Степень владения техникой действий, при которой повышена концентрация внимания на составные операции (части), наблюдается нестабильное решение двигательной задачи – это

а) двигательное умение; в) массовый спорт; в) двигательный навык;
г) спорт высших достижений.

2. Для воспитания быстроты используются:

а) упражнения в беге с максимальной скоростью на короткие дистанции;
б) подвижные и спортивные игры;
в) упражнения на быстроту реакции и частоту движений;
г) двигательные упражнения, выполняемые с максимальной скоростью.

3. Различают два вида выносливости:

а) абсолютная и относительная; б) общая и специальная; в) активная и пассивная;
г) динамическую и статическую.

4. Процесс воспитания физических качеств, обеспечивающих преимущественное развитие тех двигательных способностей, которые необходимы для конкретной спортивной дисциплины - это

а) общая физическая подготовка; б) двигательное умение; в) специальная физическая подготовка; г) двигательный навык.

5. Различают силу:

а) абсолютную и относительную; б) общую и специальную; в) активную и пассивную;
г) статическую и динамическую.

Контрольная работа №2

Вариант 1

ДЕ-1: Основы методики самостоятельных занятий физическими упражнениями.

1. В комплекс утренней гимнастики следует включать:

а) упражнения с отягощением; б) упражнения статического характера;
в) упражнения на гибкость и дыхательные упражнения; г) упражнения на выносливость.
2. К объективным показателям самоконтроля относится:
а) частота сердечных сокращений; б) самочувствие; в) аппетит; г) сон.
3. При нагрузке интенсивности выше средней частота пульса достигает:
а) 100 – 130 уд/мин; б) 130 – 150 уд/мин; в) 150 – 170 уд/мин; г) более 170 уд/мин.
4. Самостоятельные тренировочные занятия рекомендуется выполнять:
а) после приема пищи; б) после сна натощак; в) во второй половине дня, через 2-3 часа после обеда; г) перед сном.

ДЕ-2: Спорт. Индивидуальный выбор видов спорта или систем физических упражнений.

1. Регулярные занятия доступным видом спорта, участия в соревнованиях с целью укрепления здоровья, коррекции физического развития и телосложения, активного отдыха, достижение физического совершенствования – это:

а) спорт высших достижений;
б) лечебная физическая культура;
в) профессионально-прикладная физическая культура;
в) массовый спорт.

2. Какой вид спорта наиболее эффективно развивает гибкость и ловкость:

а) фехтование;
б) баскетбол;
в) фигурное катание;
г) художественная гимнастика.

3. Количество игроков одной команды в волейболе на площадке:

а) 7; б) 6; в) 5; г) 8.

4. Как осуществляется контроль за влиянием физических нагрузок на организм во время занятий физическими упражнениями:

а) по частоте дыхания;
б) по частоте сердечно-сосудистых сокращений;
в) по объему выполненной работы.

ДЕ-3: Особенности занятий избранным видом спорта или системой физических упражнений.

1. Степень владения техникой действия, при которой управление движением происходит автоматически, и действия отличаются надежностью – это:

а) двигательное умение;
б) массовый спорт;
в) двигательный навык;
г) спорт высших достижений.

2. Как дозируются упражнения на гибкость:

а) до появления пота;
б) до снижения амплитуды движений;
в) по 12-16 циклов движений;
г) до появления болевых ощущений.

3. При воспитании силы применяются специальные упражнения с отягощениями. Их отличительная особенность заключается в том, что:

а) в качестве отягощения используется собственный вес человека;
б) они выполняются до утомления;
в) они вызывают значительное напряжение мышц;
г) они выполняются медленно.

4. В каком из перечисленных видов спорта преимущественно развивается выносливость:

а) в фигурном катании;
б) в пауэрлифтинге;
в) в художественной гимнастике;
г) в лыжном спорте.

ДЕ-4: Самоконтроль занимающихся физическими упражнениями и спортом.

1. Регулярные занятия физическими упражнениями способствуют повышению работоспособности, потому что:

а) обеспечивают усиленную работу мышц;
б) обеспечивают выполнение большого объема мышечной работы с разной интенсивностью;
в) обеспечивают усиленную работу систем дыхания и кровообращения;
г) обеспечивают усиленную работу системы энергообеспечения.

2. Меры профилактики переутомления:

а) посидеть 3-4 минуты;
б) сменить вид деятельности;
в) прекратить выполнение действий, пройти обследование у врачей, выполнить их рекомендации;
г) достаточно 2 дней полноценного отдыха для восстановления.

3. При нагрузке средней интенсивности частота пульса достигает:

а) 100 – 130 уд/мин;
б) 130 – 150 уд/мин;
в) 150 – 170 уд/мин;
г) более 170 уд/мин

4. Что называется «разминкой», проводимой в подготовительной части занятия:

а) чередование легких и трудных общеразвивающих упражнений;
б) чередование беговых и общеразвивающих упражнений;
в) подготовка организма к предстоящей работе;
г) чередование беговых упражнений и ходьбы.

ДЕ-5: Профессионально-прикладная физическая подготовка (ППФП) обучающихся.

Специально направленное и избирательное использование средств физической культуры и спорта для подготовки человека к определенной профессиональной деятельности – это:

а) спорт высших достижений;
б) лечебная физическая культура;
в) производственная физическая культура;
г) массовый спорт.

1. ППФП строится на основе и в единстве с:

а) физической подготовкой; б) технической подготовкой; в) тактической подготовкой;
г) психологической подготовкой.

3. Какая из нижеперечисленных задач не является задачей ППФП:

а) развитие физических способностей, специфических для данной профессии;
б) формирование профессионально-прикладных сенсорных умений и навыков;
в) сообщение специальных знаний для успешного освоения практических навыков трудовой деятельности;
г) повышение функциональной устойчивости организма к неблагоприятному воздействию факторов окружающей среды.

4. Что не является формой занятий по ППФП:

а) спортивно-прикладные соревнования; б) учебные занятия; в) занятия в период учебной практики; г) рекреационные занятия.

Вариант 2

ДЕ-1: Основы методики самостоятельных занятий физическими упражнениями.

1. Определение повседневных изменений в подготовке занимающихся – это:

а) педагогический поэтапный контроль;
б) педагогический текущий контроль;
в) педагогический оперативный контроль;
г) педагогический двигательный контроль.

1. В комплекс утренней гимнастики не рекомендуется включать:

а) упражнения на гибкость;
б) дыхательные упражнения;
в) упражнения с отягощением;
г) упражнения для всех групп мышц.

2. Самостоятельные тренировочные занятия не рекомендуется выполнять:

а) за час до приема пищи;
б) после сна натощак;
в) во второй половине дня, через 2-3 часа после обеда;
г) за 3 часа до отхода ко сну.

4. Дневник самоконтроля нужен для:

а) коррекции содержания и методики занятий физическими упражнениями;
б) контроля родителей;
в) лично спортсмену;
г) лично тренеру.

ДЕ-2: Спорт. Индивидуальный выбор видов спорта или систем физических упражнений.

1. К циклическим видам спорта не относится:

а) волейбол;
б) стайерский бег;
в) плавание;

г) спортивная ходьба.

2. Какой из перечисленных видов спорта преимущественно развивает координацию движений:

а) спортивная гимнастика;
б) лыжный спорт;
в) триатлон;
г) атлетическая гимнастика.

3. Систематическая плановая многолетняя подготовка и участие в соревнованиях в избранном виде спорта с целью достижения максимальных спортивных результатов – это:

а) спорт высших достижений;
б) лечебная физическая культура;
в) профессионально-прикладная физическая культура;
в) массовый спорт.

4. Какие упражнения включаются в разминку почти во всех видах спорта:

а) упражнения на развитие выносливости;
б) упражнения на развитие гибкости и координации движений;
в) бег и общеразвивающие упражнения.

ДЕ-3: Особенности занятий избранным видом спорта или системой физических упражнений.

1. Какая из представленных способностей не относится к группе координационных:

а) способность сохранять равновесие;
б) способность точно дозировать величину мышечных усилий;
в) способность быстро реагировать на стартовый сигнал;
г) способность точно воспроизводить движения в пространстве.

2. Почему на занятиях по «физической культуре» выделяют подготовительную, основную и заключительную части:

а) так удобнее распределять различные по характеру упражнения;
б) выделение частей занятий связано с необходимостью управлять динамикой работоспособности занимающихся;
в) выделение частей в занятии требует Министерство науки и образования;
г) перед занятием, как правило, ставятся 3 задачи, и каждая часть предназначена для них.

3. Величина нагрузки физических упражнений обусловлена:

а) сочетанием объема и интенсивности двигательных действий;
б) степень преодолеваемых при их выполнении трудностей;
в) утомлением, возникающим в результате их выполнения;
г) частотой сердечных сокращений.

4. Назовите количество игроков на волейбольной площадке:

а) 4; б) 5; в) 6; г) 7.

ДЕ-4: Самоконтроль занимающихся физическими упражнениями и спортом.

1. К объективным показателям самоконтроля относится:

а) частота сердечных сокращений; б) самочувствие; в) аппетит; г) сон.

2. При нагрузке интенсивности выше средней частота пульса достигает:

а) 100 – 130 уд/мин; б) 130 – 150 уд/мин; в) 150 – 170 уд/мин; г) более 170 уд/мин.

3. Самостоятельные тренировочные занятия рекомендуется выполнять:

а) после приема пищи; б) после сна натощак; в) во второй половине дня, через 2-3 часа после обеда; г) перед сном.

4. Меры профилактики переутомления:

а) посидеть 3-4 минуты;
б) сменить вид деятельности;
в) прекратить выполнение действий, пройти обследование у врачей, выполнить их рекомендации;
г) достаточно 2 дней полноценного отдыха для восстановления.

ДЕ-5: Профессионально-прикладная физическая подготовка (ППФП) обучающихся.

1. Система методически обоснованных физических упражнений, физкультурно-оздоровительных и спортивных мероприятий, направленных на повышение и сохранение устойчивой и профессиональной дееспособности – это:

а) физкультурная пауза;
б) производственная физическая культура;
в) спорт высших достижений;
г) массовый спорт.

2. Профессионально-прикладная физическая подготовка - это

а) специализированный вид физического воспитания, осуществляемый в соответствии с особенностями и требованиями данной профессии;
б) система профессиональных мероприятий, осуществляемая в соответствии с особенностями данной профессии;

в) процесс формирования специализированных знаний, умений и навыков;
г) целенаправленное воздействие на развитие физических качеств человека посредством нормированных нагрузок.
3. Какой вид спорта наиболее эффективно развивает координационные способности монтажников-высотников:
а) фехтование; б) баскетбол; в) мото-спорт; г) гимнастика.
4. Что не является формой занятий по ППФП:
а) спортивно-прикладные соревнования; б) учебные занятия; в) занятия в период учебной практики; г) рекреационные занятия.

Проблемные и сложные вопросы, возникающие в процессе изучения курса и выполнения контрольной работы, необходимо решать с преподавателем на консультациях.

Выполнению контрольной работы должно предшествовать самостоятельное изучение студентом рекомендованной литературы.

Студент получает проверенную контрольную работу с исправлениями в тексте и замечаниями. В конце работы выставляется оценка «зачтено», «не зачтено». Работа с оценкой «не зачтено» должна быть доработана и представлена на повторную проверку.

Выполнение работы над ошибками

При получении проверенной контрольной работы необходимо проанализировать отмеченные ошибки. Все задания, в которых были сделаны ошибки или допущены неточности, следует еще раз выполнить в конце данной контрольной работы. Контрольные работы являются учебными документами, которые хранятся на кафедре до конца учебного года.

Критерии оценивания контрольной работы

Оценка за контрольную работу определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы: 1 правильный ответ = 2 балл. Максимум 40 баллов.

Результат контрольной работы

Контрольная работа оценивается на «зачтено», «не зачтено»:

20-40 балла (50-100%) - оценка «зачтено»;

0-19 балла (0-49%) - оценка «не зачтено»;

Образец оформления титульного листа

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Кафедра физической культуры

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине
ЭЛЕКТИВНЫЕ КУРСЫ ПО ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ И СПОРТУ

Выполнил: Иванов Иван Иванович
Группа _____

Преподаватель: Петров Петр Петрович

Екатеринбург
2018

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Б1.Б.1.08 РУССКИЙ ЯЗЫК И КУЛЬТУРА РЕЧИ

Специальность
21.05.03. Технология геологической разведки

формы обучения: очная, заочная

Автор: Меленскова Е. С., канд. филол. наук, доц.

Одобрена на заседании кафедры

Иностранных языков и деловой коммуникации
(название кафедры)

Зав.кафедрой _____
(подпись)
к.п.н., доц. Юсупова Л. Г.
(Фамилия И.О.)

Екатеринбург
2020

Самостоятельная работа обучающегося в образовательном процессе рассматривается как форма организации обучения, которая способна обеспечивать самостоятельный поиск необходимой информации, творческое восприятие и осмысление учебного материала в ходе аудиторных занятий, разнообразные формы познавательной деятельности студентов на занятиях и во внеаудиторное время, развитие аналитических способностей, навыков контроля и планирования учебного времени, выработку умений и навыков рациональной организации учебного труда.

Самостоятельная работа – форма организации образовательного процесса, стимулирующая активность, самостоятельность, познавательный интерес студентов.

Основные виды аудиторных занятий по дисциплине «Русский язык и культура речи» – лекция и практическое занятие.

Формы контроля самостоятельной работы студентов – опрос, дискуссия, проверка на практическом занятии, разноуровневые задания, зачет.

Обоснование затрат времени на самостоятельную работу обучающихся (СРО)

Суммарный объем часов на СРО очной формы обучения составляет 76 часов.

№ п/п	*Виды самостоятельной работы*	*Единица измерения*	*Норма времени, час*	*Расчетная трудоемкость СРО по нормам, час.*	*Принятая трудоемкость СРО, час.*
Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям					55
1	Повторение материала лекций	1 час	0,1-4,0	1,0 х 16	16
2	Самостоятельное изучение тем курса	1 тема	1,0-8,0	2,0 х 3	6
3	Ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля)	1 тема	0,5-1,0	1,0 х 13	13
4	Подготовка к практическим (семинарским) занятиям	1 занятие	0,3-2,0	2,0 х 8	16
5	Подготовка к дискуссии	1 занятие	1,0-4,0	4,0 х 1	4
Другие виды самостоятельной работы					21
6	Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания (разноуровневые задания)	1 задание	1,0-25,0	1,0 х 21	21
	Итого:				**76**

Суммарный объем часов на СРО заочной формы обучения составляет 100 часов.

№ п/п	*Виды самостоятельной работы*	*Единица измерения*	*Норма времени, час*	*Расчетная трудоемкость СРО по нормам, час.*	*Принятая трудоемкость СРО, час.*
Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям					80
1	Повторение материала лекций	1 час	0,1-4,0	1,0 х 4	4
2	Самостоятельное изучение тем курса	1 тема	1,0-8,0	3,0 х 12	36
3	Ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля)	1 тема	1,0-5,0	3,0 х 12	36
4	Подготовка к практическим занятиям	1 занятие	0,3-2,0	2,0 х 2	4
Другие виды самостоятельной работы					20
5	Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания (разноуровневые задания)	1 задание	1,0-25,0	2,0 х 8	16

6	Подготовка к зачету	1 зачет	1,0-25,0	4,0 х 1	4
	Итого:				**100**

Подготовка к лекции и опросу

Необходимость самостоятельной работы по подготовке к лекции или опросу определяется тем, что изучение любой дисциплины строится по определенной логике освоения ее разделов, представленных в РУП данной дисциплины.

Перечень примерных вопросов для самоконтроля.

Раздел 1. Культура речи и деловое общение

1. Каковы основные отличия общения в официальной и неофициальной обстановке?
2. Какие функции общения реализуются в ситуации занятия? Каких функций необходимо избегать?
3. Какие основные требования предъявляются к деловому общению?
4. По каким аспектам мы оцениваем культуру речи каждого человека?
5. Почему наши тексты должны соответствовать коммуникативным качествам речи?

Раздел 2. Современный русский язык. Типология языковых норм

1. Как соотносятся понятия «язык» и «речь»?
2. Как можно охарактеризовать современный русский язык?
3. Какие разновидности выделяются в национальном русском языке?
4. Что такое литературный язык? Как это понятие соотносится с литературно-художественным стилем?
5. Перечислите типы языковых норм. Что такое императивная и диспозитивная норма?

Раздел 3. Стилистика русского языка. Официально-деловой стиль

1. Перечислите функциональные стили, которые выделяются в современном русском языке. Дайте им краткую характеристику.
2. Каковы основные стилевые и языковые особенности официально-делового стиля?
3. Какие требования предъявляются к оформлению документов?

Часть тем дается на самостоятельное изучение с опорой на список предложенной литературы. Перечень и тем их количество определяется формой обучения.

Очная форма

1. Общая характеристика функциональных стилей
2. Научный стиль русского языка
3. Стилевая, языковая и жанровая специфика научного стиля

Заочная форма

1. Общая характеристика общения и делового общения
2. Язык как знаковая система
3. Вербальные и невербальные средства общения
4. Разновидности национального русского языка и их характеристика
5. Литературный язык и его признаки
6. Система функциональных стилей русского языка

7. Общая характеристика функциональных стилей
8. Научный стиль русского языка
9. Стилевая, языковая и жанровая специфика научного стиля
10. Официально-деловой стиль русского языка
11. Стилевые и языковые особенности официально-делового стиля
12. Классификация документов и правила их оформления

Подготовка к практическому занятию

Подготовка к практическому занятию нередко требует подбора материала, с которым предстоит работа на занятии, или отработку навыков, проверка которых состоится непосредственно в аудитории (например, выполнение аналогичных, однотипных заданий). Здесь же можно отметить еще один вид СРО – это **выполнение самостоятельного письменного домашнего задания**.

К первому практическому занятию студенты самостоятельно готовят задания, посвященные лексикографии:

Меленскова Е. С. Культура речи и стилистика русского языка: учебное пособие для студентов специальностей 21.05.02 – «Прикладная геология», 21.05.03 –«Технология геологической разведки», 21.05.04 – «Горное дело». – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – С. 4-10.

Особое внимание при подготовке уделяется заданию 4, которое выполняется письменно.

К Разделу 2 по указанному выше пособию необходимо сделать следующие упражнения самостоятельно в качестве тренировки и отработки навыков владения нормами литературного русского языка:

Зад. 5-12 стр. 10-19 (орфографические и пунктуационные нормы)

Зад. 13-15 стр. 19-20 (акцентологические нормы)

Зад. 16-20 стр. 20-23 (орфоэпические нормы)

Зад. 21 стр. 23 (словообразовательные нормы)

Зад. 22-29 стр. 23-26 (лексические нормы)

Зад. 30-40 стр. 27-31 (морфологические нормы)

Зад. 41-44 стр. 31-34 (синтаксические нормы)

При выполнении заданий рекомендуется обращаться к словарям и справочникам. В указанном учебном пособии есть отсылки к необходимой литературе.

Часть этих упражнений преподаватель на свое усмотрение предлагает в качестве самостоятельного письменного домашнего задания.

К Разделу 3 по указанному пособию необходимо сделать следующую работу самостоятельно:

Стр. 35-37 – конспект

Зад. 45 стр. 38-40, зад. 47 стр. 41-47 (в качестве подготовки к тестированию)

Стр. 47-50 – конспект

Зад. 48 стр. 50-56 (по вариантам в сильных группах)

Стр. 77-82 – конспект

Зад. 53 стр. 82-83, зад. 54 стр. 83-84 (в качестве подготовки к разноуровневым заданиям).

Подготовка к дискуссии

Дискуссия – это целенаправленное обсуждение конкретного вопроса, сопровождающееся обменом мнениями, идеями между двумя и более лицами. Задача дискуссии – обнаружить различия в понимании вопроса и в споре попытаться установить истину. Обсуждение проблемы (нравственной, политической, научной, профессиональной и другой, которая не имеет общепринятого, однозначного решения) происходит в аудитории коллективно. Дискуссия позволяет включить обучающихся в процесс обсуждения спорного вопроса в рамках актуальной проблематики, оценить их умение формулировать и аргументировать собственную точку зрения.

При подготовке к дискуссии необходимо выбрать актуальную тему, разбиться на три группы 1) те, кто будет отстаивать точку зрения «ЗА», 2) те, кто будет приводить контраргументы и отстаивать позицию «ПРОТИВ», и 3) сторонние наблюдатели, которые будут оценивать происходящее и объяснять, почему они склоняются в итоге к мнению первой или второй команды. Первые две группы готовят тексты своих выступлений заранее. Также заранее можно сформулировать вопросы, которые будут корректироваться по ходу дискуссии.

Подготовка к зачету

Зачет является традиционной формой проверки знаний, умений и навыков, сформированных у студентов в процессе освоения всего содержания изучаемой дисциплины.

Самостоятельная подготовка к зачету должна осуществляться в течение всего семестра. Подготовка включает следующие действия: прежде всего нужно перечитать все лекции, конспекты, а также просмотреть материалы, которые самостоятельно готовились к лекциям или практическим занятиям. Поскольку зачет проходит в форме теста, можно предварительно потренироваться выполнять тестовые задания по дисциплине «Русский язык и культура речи».

Для подготовки к тесту рекомендуется использовать учебное пособие:

Меленскова Е. С. Культура речи и деловое общение: Тестовые задания для студентов всех специальностей очной и заочной формы обучения. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011.

Тестовые задания позволяют обобщить полученные теоретические знания (часть заданий нацелена на проверку знания теории курса) и практические навыки (часть тестовых заданий составлена с опорой на упражнения, которые студенты выполняют при подготовке к занятиям).

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Основная литература

№ п/п	*Наименование*	*Кол-во экз.*
1	*Голуб И. Б.* Русский язык и культура речи [Электронный ресурс]: учебное пособие / И. Б. Голуб. – Электрон. текстовые данные. – М.: Логос, 2014. – 432 c. – 978-5-98704-534-3. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/39711.html	Электронный ресурс
2	*Культура устной и письменной речи делового человека*: Справочник. Практикум. М.: Флинта: Наука, 2012 (и другие издания).	166
3	*Меленскова Е. С.* Культура речи и деловое общение: тестовые задания для студентов всех специальностей. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. 78 с.	98
4	*Меленскова Е. С.* Русский язык делового общения: учебное пособие для студентов всех специальностей и направлений подготовки. Екатеринбург: УГГУ, 2018. 80 с.	101

2. Дополнительная литература

№ п/п	*Наименование*	*Кол-во экз.*
1.	*Введенская Л. А., Павлова Л. Г., Кашаева Е. Ю.* Русский язык и культура речи: учебное пособие для вузов. Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 544 с. (и другие стереотипные издания)	216
2.	*Введенская Л. А., Павлова Л. Г., Кашаева Е. Ю.* Русский язык и культура речи для инженеров: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. 384 с.	19
3.	*Веселкова Т. В.* Культура устной и письменной коммуникации [Электронный ресурс]: учебное пособие / Т. В. Веселкова, И. С. Выходцева, Н. В. Любезнова. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Вузовское образование, 2016. – 268 c. – 2227-8397. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/54473.html	Электронный ресурс
4.	*Карякина М. В*. Русский язык и культура речи. Подготовка к контрольному тестированию. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 71 с.	40
5.	*Лапынина Н. Н.* Русский язык и культура речи [Электронный ресурс]: курс лекций / Н. Н. Лапынина. — Электрон. текстовые данные. – Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. – 161 c. – 978-5-89040-431-2. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/22667.html	Электронный ресурс
6.	*Лыткина О. И.* Теоретический курс культуры речи [Электронный ресурс]: учебное пособие / О. И. Лыткина. – Электрон. текстовые данные. – М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2009. – 105 c. – 2227-8397. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/46332.html	Электронный ресурс
7.	*Меленскова Е. С.* Русский язык и культура речи: учебное пособие с упражнениями и контрольными работами для студентов всех специальностей очной и заочной форм обучения. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 80 с.	38
8.	*Меленскова Е. С.* Стилистика русского языка: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 86 с.	27
9.	*Миняева В. И.* Репетитор по русскому языку. Орфография. Пунктуация. Культура речи: учебное пособие. 5-е изд., испр. и доп. Екатеринбург: УГГУ, 2007. 239 с.	20
10.	*Петрова Ю. А.* Культура и стиль делового общения [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю. А. Петрова. – Электрон. текстовые данные. – М.: ГроссМедиа, 2007. – 190 c. – 5-476-003-476. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/1129.html	Электронный ресурс
11.	*Скворцов Л. И.* Большой толковый словарь правильной русской речи [Электронный ресурс]/ Скворцов Л. И. – Электрон. текстовые данные. – М.: Мир и Образование, Оникс, 2009. – 1104 c. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/14555.html. – ЭБС «IPRbooks».	Электронный ресурс
12.	*Усанова О. Г.* Культура профессионального речевого общения [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / О. Г. Усанова. – Электрон. текстовые	Электронный ресурс

	данные. – Челябинск: Челябинский государственный институт культуры, 2008. – 93 с. – 5-94839-062-4. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/56426.html	
13.	*Федосюк М. Ю., Ладыженская Т. А., Михайлова О. А., Николина Н. А.* Русский язык для студентов-нефилологов: учебное пособие. М.:Флинта: Наука, 2014 (и другие стереотипные издания)	169

ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. *ГОСТ 6.30-2003.* «Унифицированные системы документации. Унифицированная система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов» (электронная публикация http://docs.cntd.ru/document/1200031361).
2. *Грамота (сайт).* [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gramota.ru.
3. *Культура письменной речи (сайт)* [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gramma.ru.
4. *Русский язык*: *энциклопедия русского языка (сайт).* [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://russkiyyazik.ru.
5. *Стилистический энциклопедический словарь русского языка (сайт).* [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://stylistics.academic.ru.

Автор-составитель: Меленскова Е. С., кандидат филологических наук, доцент

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.Б1.09 ПСИХОЛОГИЯ ДЕЛОВОГО ОБЩЕНИЯ

Специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: ***очная, заочная***

Автор: Чащегорова Н.А., доцент, к.ф.н.

Одобрена на заседании кафедры

Управление персоналом
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)

Ветошкина Т. А.
(Фамилия И. О.)

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий	5
2	Методические рекомендации к опросу	9
3	Методические рекомендации по подготовке деловых и ролевых игр	11
4	Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям	13
5	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	15
6	Заключение	18
	Список использованных источников	19

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа студентов может рассматриваться как организационная форма обучения - система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью студентов по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные студентами работы и т. п.

Подразумевается несколько категорий видов самостоятельной работы студентов, значительная часть которых нашла отражения в данных методических рекомендациях:

- работа с источниками литературы и официальными документами (*использование библиотечно-информационной системы*);
- выполнение заданий для самостоятельной работы в рамках учебных дисциплин (*рефераты, эссе, домашние задания, решения практико-ориентированных заданий*);
- реализация элементов научно-педагогической практики (*разработка методических материалов, тестов, тематических портфолио*);
- реализация элементов научно-исследовательской практики (*подготовка текстов докладов, участие в исследованиях*).

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета /экзамена, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов online и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине.

1. Методические рекомендации по решению практико-ориентированных заданий

Практико-ориентированные задания - метод анализа ситуаций. Суть его заключается в том, что студентам предлагают осмыслить реальную жизненную ситуацию, описание которой одновременно отражает не только какую-либо практическую проблему, но и актуализирует определенный комплекс знаний, который необходимо усвоить при разрешении данной проблемы. При этом сама проблема не имеет однозначных решений.

Использование метода практико-ориентированного задания как образовательной технологии профессионально-ориентированного обучения представляет собой сложный процесс, плохо поддающийся алгоритмизации[1]. Формально можно выделить следующие этапы:

- ознакомление студентов с текстом;
- анализ практико-ориентированного задания;
- организация обсуждения практико-ориентированного задания, дискуссии, презентации;
- оценивание участников дискуссии;
- подведение итогов дискуссии.

Ознакомление студентов с текстом практико-ориентированного задания и последующий анализ практико-ориентированного задания чаще всего осуществляются за несколько дней до его обсуждения и реализуются как самостоятельная работа студентов; при этом время, отводимое на подготовку, определяется видом практико-ориентированного задания, его объемом и сложностью.

Общая схема работы с практико-ориентированное заданием на данном этапе может быть представлена следующим образом: в первую очередь следует выявить ключевые проблемы практико-ориентированного задания и понять, какие именно из представленных данных важны для решения; войти в ситуационный контекст практико-ориентированного задания, определить, кто его главные действующие лица, отобрать факты и понятия, необходимые для анализа, понять, какие трудности могут возникнуть при решении задачи; следующим этапом является выбор метода исследования.

Знакомство с небольшими практико-ориентированного заданиями и их обсуждение может быть организовано непосредственно на занятиях. Принципиально важным в этом случае является то, чтобы часть теоретического курса, на которой базируется практико-ориентированное задание, была бы прочитана и проработана студентами.

Максимальная польза из работы над практико-ориентированного заданиями будет извлечена в том случае, если аспиранты при предварительном знакомстве с ними будут придерживаться систематического подхода к их анализу, основные шаги которого представлены ниже:

1. Выпишите из соответствующих разделов учебной дисциплины ключевые идеи, для того, чтобы освежить в памяти теоретические концепции и подходы, которые Вам предстоит использовать при анализе практико-ориентированного задания.
2. Бегло прочтите практико-ориентированное задание, чтобы составить о нем общее представление.
3. Внимательно прочтите вопросы к практико-ориентированное задание и убедитесь в том, что Вы хорошо поняли, что Вас просят сделать.
4. Вновь прочтите текст практико-ориентированного задания, внимательно фиксируя все факторы или проблемы, имеющие отношение к поставленным вопросам.
5. Прикиньте, какие идеи и концепции соотносятся с проблемами, которые Вам предлагается рассмотреть при работе с практико-ориентированное заданием.

---

[1] Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

Организация обсуждения практико-ориентированного задания предполагает формулирование перед студентами вопросов, включение их в дискуссию. Вопросы обычно подготавливают заранее и предлагают студентам вместе с текстом практико-ориентированного задания. При разборе учебной ситуации преподаватель может занимать активную или пассивную позицию, иногда он «дирижирует» разбором, а иногда ограничивается подведением итогов дискуссии.

Организация обсуждения практико-ориентированных заданий обычно основывается на двух методах. Первый из них носит название традиционного Гарвардского метода - открытая дискуссия. Альтернативным методом является метод, связанный с индивидуальным или групповым опросом, в ходе которого аспиранты делают формальную устную оценку ситуации и предлагают анализ представленного практико-ориентированного задания, свои решения и рекомендации, т.е. делают презентацию. Этот метод позволяет некоторым студентам минимизировать их учебные усилия, поскольку каждый аспирант опрашивается один- два раза за занятие. Метод развивает у студентов коммуникативные навыки, учит их четко выражать свои мысли. Однако, этот метод менее динамичен, чем Гарвардский метод. В открытой дискуссии организация и контроль участников более сложен.

Дискуссия занимает центральное место в методе. Ее целесообразно использовать в том случае, когда аспиранты обладают значительной степенью зрелости и самостоятельности мышления, умеют аргументировать, доказывать и обосновывать свою точку зрения. Важнейшей характеристикой дискуссии является уровень ее компетентности, который складывается из компетентности ее участников. Неподготовленность студентов к дискуссии делает ее формальной, превращает в процесс вытаскивания ими информации у преподавателя, а не самостоятельное ее добывание.

Особое место в организации дискуссии при обсуждении и анализе практико-ориентированного задания принадлежит использованию метода генерации идей, получившего название «мозговой атаки» или «мозгового штурма».

Метод «мозговой атаки» или «мозгового штурма» был предложен в 30-х годах прошлого столетия А. Осборном как групповой метод решения проблем. К концу XX столетия этот метод приобрел особую популярность в практике управления и обучения не только как самостоятельный метод, но и как использование в процессе деятельности с целью усиления ее продуктивности. В процессе обучения «мозговая атака» выступает в качестве важнейшего средства развития творческой активности студентов. «Мозговая атака» включает в себя три фазы.

Первая фаза представляет собой вхождение в психологическую раскованность, отказ от стереотипности, страха показаться смешным и неудачником; достигается созданием благоприятной психологической обстановки и взаимного доверия, когда идеи теряют авторство, становятся общими. Основная задача этой фазы - успокоиться и расковаться.

Вторая фаза - это собственно атака; задача этой фазы - породить поток, лавину идей. «Мозговая атака» в этой фазе осуществляется по следующим принципам:

- есть идея, - говорю, нет идеи, - не молчу;
- поощряется самое необузданное ассоциирование, чем более дикой покажется идея, тем лучше;
- количество предложенных идей должно быть как можно большим;
- высказанные идеи разрешается заимствовать и как угодно комбинировать, а также видоизменять и улучшать;
- исключается критика, можно высказывать любые мысли без боязни, что их признают плохими, критикующих лишают слова;
- не имеют никакого значения социальные статусы участников; это абсолютная демократия и одновременно авторитаризм сумасшедшей идеи;
- все идеи записываются в протокольный список идей;

• время высказываний - не более 1-2 минут.

Третья фаза представляет собой творческий анализ идей с целью поиска конструктивного решения проблемы по следующим правилам:

- анализировать все идеи без дискриминации какой-либо из них;
- найти место идее в системе и найти систему под идею;
- не умножать сущностей без надобности;
- не должна нарушаться красота и изящество полученного результата;
- должно быть принципиально новое видение;
- ищи «жемчужину в навозе».

В методе мозговая атака применяется при возникновении у группы реальных затруднений в осмыслении ситуации, является средством повышения активности студентов. В этом смысле мозговая атака представляется не как инструмент поиска новых решений, хотя и такая ее роль не исключена, а как своеобразное «подталкивание» к познавательной активности.

Презентация, или представление результатов анализа практико-ориентированного задания, выступает очень важным аспектом метода ***case-study***. Умение публично представить интеллектуальный продукт, хорошо его рекламировать, показать его достоинства и возможные направления эффективного использования, а также выстоять под шквалом критики, является очень ценным интегральным качеством современного специалиста. Презентация оттачивает многие глубинные качества личности: волю, убежденность, целенаправленность, достоинство и т.п.; она вырабатывает навыки публичного общения, формирования своего собственного имиджа.

Публичная (устная) презентация предполагает представление решений практико-ориентированного задания группе, она максимально вырабатывает навыки публичной деятельности и участия в дискуссии. Устная презентация обладает свойством кратковременного воздействия на студентов и, поэтому, трудна для восприятия и запоминания. Степень подготовленности выступающего проявляется в спровоцированной им дискуссии: для этого необязательно делать все заявления очевидными и неопровержимыми. Такая подача материала при анализе практико-ориентированного задания может послужить началом дискуссии. При устной презентации необходимо учитывать эмоциональный настрой выступающего: отношение и эмоции говорящего вносят существенный вклад в сообщение. Одним из преимуществ публичной (устной) презентации является ее гибкость. Оратор может откликаться на изменения окружающей обстановки, адаптировать свой стиль и материал, чувствуя настроение аудитории.

Непубличная презентация менее эффектна, но обучающая роль ее весьма велика. Чаще всего непубличная презентация выступает в виде подготовки отчета по выполнению задания, при этом стимулируются такие качества, как умение подготовить текст, точно и аккуратно составить отчет, не допустить ошибки в расчетах и т.д. Подготовка письменного анализа практико-ориентированного задания аналогична подготовке устного, с той разницей, что письменные отчеты-презентации обычно более структурированы и детализированы. Основное правило письменного анализа практико-ориентированного задания заключается в том, чтобы избегать простого повторения информации из текста, информация должна быть представлена в переработанном виде. Самым важным при этом является собственный анализ представленного материала, его соответствующая интерпретация и сделанные предложения. Письменный отчет - презентация может сдаваться по истечении некоторого времени после устной презентации, что позволяет студентам более тщательно проанализировать всю информацию, полученную в ходе дискуссии.

Как письменная, так и устная презентация результатов анализа практико-ориентированного задания может быть групповая и индивидуальная. Отчет может быть индивидуальным или групповым в зависимости от сложности и объема задания. Индивидуальная презентация формирует ответственность, собранность, волю;

групповая - аналитические способности, умение обобщать материал, системно видеть проект.

Оценивание участников дискуссии является важнейшей проблемой обучения посредством метода практико-ориентированного задания. При этом выделяются следующие требования к оцениванию:

- объективность - создание условий, в которых бы максимально точно выявлялись знания обучаемых, предъявление к ним единых требований, справедливое отношение к каждому;
- обоснованность оценок - их аргументация;
- систематичность - важнейший психологический фактор, организующий и дисциплинирующий студентов, формирующий настойчивость и устремленность в достижении цели;
- всесторонность и оптимальность.

Оценивание участников дискуссии предполагает оценивание не столько набора определенных знаний, сколько умения студентов анализировать конкретную ситуацию, принимать решение, логически мыслить.

Следует отметить, что оценивается содержательная активность студента в дискуссии или публичной (устной) презентации, которая включает в себя следующие составляющие:

- выступление, которое характеризует попытку серьезного предварительного
- анализа (правильность предложений, подготовленность,
- аргументированность и т.д.);
- обращение внимания на определенный круг вопросов, которые требуют углубленного обсуждения;
- владение категориальным аппаратом, стремление давать определения, выявлять содержание понятий;
- демонстрация умения логически мыслить, если точки зрения, высказанные раньше, подытоживаются и приводят к логическим выводам;
- предложение альтернатив, которые раньше оставались без внимания;
- предложение определенного плана действий или плана воплощения решения;
- определение существенных элементов, которые должны учитываться при анализе практико-ориентированного задания;
- заметное участие в обработке количественных данных, проведении расчетов;
- подведение итогов обсуждения.

При оценивании анализа практико-ориентированного задания, данного студентами при непубличной (письменной) презентации учитывается:

- формулировка и анализ большинства проблем, имеющихся в практико-ориентированное задание;
- формулировка собственных выводов на основании информации о практико-ориентированное задание, которые отличаются от выводов других студентов;
- демонстрация адекватных аналитических методов для обработки информации;
- соответствие приведенных в итоге анализа аргументов ранее выявленным проблемам, сделанным выводам, оценкам и использованным аналитическим методам.

2. Методические указания по подготовке к опросу

Самостоятельная работа обучающихся включает подготовку к устному или письменному опросу на семинарских занятиях. Для этого обучающийся изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

Письменный опрос

В соответствии с технологической картой письменный опрос является одной из форм текущего контроля успеваемости студента по данной дисциплине. При подготовке к письменному опросу студент должен внимательно изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

При изучении материала студент должен убедиться, что хорошо понимает основную терминологию темы, умеет ее использовать в нужном контексте. Желательно составить краткий конспект ответа на предполагаемые вопросы письменной работы, чтобы убедиться в том, что студент владеет материалом и может аргументировано, логично и грамотно письменно изложить ответ на вопрос. Следует обратить особое внимание на написание профессиональных терминов, чтобы избегать грамматических ошибок в работе. При изучении новой для студента терминологии рекомендуется изготовить карточки, которые содержат новый термин и его расшифровку, что значительно облегчит работу над материалом.

Устный опрос

Целью устного собеседования являются обобщение и закрепление изученного курса. Студентам предлагаются для освещения сквозные концептуальные проблемы. При подготовке следует использовать лекционный материал и учебную литературу. Для более глубокого постижения курса и более основательной подготовки рекомендуется познакомиться с указанной дополнительной литературой. Готовясь к семинару, студент должен, прежде всего, ознакомиться с общим планом семинарского занятия. Следует внимательно прочесть свой конспект лекции по изучаемой теме и рекомендуемую к теме семинара литературу. С незнакомыми терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии [2].

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубина ответа.
3. Сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться профессиональной терминологией).
5. Рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели).
6. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).
8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[3].

---

[2] Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

[3]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

Ответ на каждый вопрос из плана семинарского занятия должен быть содержательным и аргументированным. Для этого следует использовать документы, монографическую, учебную и справочную литературу.

Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы. В среднем, подготовка к устному опросу по одному семинарскому занятию занимает от 2 до 4 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации обучающимся своей самостоятельной работы.

3.Методические рекомендации по подготовке деловых и ролевых игр

Основной целью проведения студенческих деловых игр во внеаудиторное время является привитие студентам навыков решения конкретных управленческих вопросов и накопление ими практического опыта в решении процедурных вопросов на основе создания конкретных деловых ситуаций, максимально приближенных к реальным жизненным условиям.

Деловая игра – это воспроизведение деятельности хозяйственных руководителей и кадров управления, игровое моделирование систем управления.

Деловые игры в отличие от других методов обучения позволяют наиболее полно воспроизводить деятельность руководителей и специалистов, выявить проблемы и причины появления, разрабатывать и оценивать варианты решения проблем, принимать решение и определять механизм его реализации. Это дает возможность рассматривать проблему не вообще, а как конкретную, вытекающую из хозяйственной деятельности конкретного предприятия (организации).

Одним из видов деловой игры является ролевые игры.

Ролевая игра – это метод, при котором участники игры с помощью проигрывания определенных ролей в свободной от риска ситуации обнаруживают свои значимые черты поведения в профессиональной ситуации, а также самостоятельно критически анализируют их, формируют и развивают. Роли, могут быть: директор, руководитель проекта, отдела, специалист и т.д.

Типичными техниками ролевых игр являются:

- самостоятельное (в пределах темы) конструирование ситуации;
- определение участниками общего количества ратей и их персональное распределение;
- обмен ролями в ходе игры;
- использование дублирования при отработке ролей;

Методические рекомендации

На первом этапе следует ознакомиться с целью игры и необходимой исходной информацией. Студенты самостоятельно выбирают определенную проблему или конкретную ситуацию и по желанию формируют команды таким образом, чтобы это была творческая группа.

Второй этап – самостоятельная работа студентов в командах. Здесь активно используется практический опыт каждого участника, уточняются позиции и вырабатываются обобщающие выводы или решения. При коллективном обсуждении в командах необходимо, чтобы свою точку зрения имел возможность высказать каждый участник. Коллективное обсуждение проблемы позволяет выявить разные подходы к решению одной и той же проблемы или задачи. Очень важно использование принципа консенсуса, т.е. единогласное принятие общих решений, но не путем голосования, а на основе предварительного согласия. Однако это не означает, что кто-либо из участников и в этом случае не может выйти на коллективное обсуждение в общей группе со своей точкой зрения.

Третий этап – дискуссия в группе. Каждая команда докладывает свой вариант разрешения рассматриваемой проблемы. Участники других команд выступают в качестве оппонентов, задают вопросы, выступают с критическими замечаниями или в поддержку предоставленного проекта.

Возможны случаи, когда участники не формируются в команды, а распределяются по определенным ролям. В этих играх для решения проблемы прежде всего определяется состав действующих лиц и устанавливаются их задачи. Дискуссия идет с учетом определенных ролей.

Для преодоления скованности участников, облегчения их вживания в роль и естественности их поведения желательна минимизация вмешательства руководителя в процесс игры. Функции руководителя сводятся главным образом к ознакомлению участников с условиями, целями и техниками игры, обеспечению ее нормального протекания, общему контролю за ее процессом и оказанию в случае необходимости методической помощи в достижении игровых целей, а также к

общему подведению итогов, включающему, если это целесообразно, индивидуальные советы и рекомендации ее участникам.

Ходе проведения ролевых и деловых игр практически не отличается от рассмотренных ранее. Разница в том, что в первом случае выступают представитель команды, а во втором участник деловой игры действует в рамках ролевой должности.

На практических занятиях, проходящих в форме деловой игры, ее участники должны приобрести необходимые знания и практические навыки:

– по постановке стратегических и оперативных целей работы организации;

– выработке экономических решений и оценки влияния факторов внешней и внутренней среды на реализацию этих решений;

– освоению и отработки навыков коллективного генерирования идей, делового общения при выработке групповых решений;

– выявление различных точек зрения на экономическую проблему

На предприятиях ролевые игры наиболее часто используются для обучения руководителей правильному ведению собеседования, распределению заданий, обеспечению поддержки сотрудниками коллективного задания, руководству командой и т.д. С их помощью сотрудники повышают свои знания и умения в области принятия самостоятельных решений, своевременного просчитывания их последствий, развития делового общения и т.п. Ролевые игры особенно эффективны при карьерном обучении, когда сотрудник проигрывает комплекс функций, вытекающих из его будущих должностных обязанностей.

Базирование ролевых игр на повседневных, личностно значимых ситуациях обеспечивает высокую ангажированность, вовлеченность их участников. Это в свою очередь облегчает личностное принятие вырабатываемых образцов поведения, идентификацию решений и рекомендаций, перенос отработанных в игре образцов поведения в повседневные практические отношения.

4.Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям

Семинар представляет собой комплексную форму и завершающее звено в изучении определенных тем, предусмотренных программой учебной дисциплины. Комплексность данной формы занятий определяется тем, что в ходе её проведения сочетаются выступления обучающихся и преподавателя: рассмотрение обсуждаемой проблемы и анализ различных, часто дискуссионных позиций; обсуждение мнений обучающихся и разъяснение (консультация) преподавателя; углубленное изучение теории и приобретение навыков умения ее использовать в практической работе.

По своему назначению семинар, в процессе которого обсуждается та или иная научная проблема, способствует:

- углубленному изучению определенного раздела учебной дисциплины, закреплению знаний;
- отработке методологии и методических приемов познания;
- выработке аналитических способностей, умения обобщения и формулирования выводов;
- приобретению навыков использования научных знаний в практической деятельности;
- выработке умения кратко, аргументированно и ясно излагать обсуждаемые вопросы;
- осуществлению контроля преподавателя за ходом обучения.

Семинары представляет собой дискуссию в пределах обсуждаемой темы (проблемы). Дискуссия помогает участникам семинара приобрести более совершенные знания, проникнуть в суть изучаемых проблем. Выработать методологию, овладеть методами анализа социально-экономических процессов. Обсуждение должно носить творческий характер с четкой и убедительной аргументацией.

По своей структуре семинар начинается со вступительного слова преподавателя, в котором кратко излагаются место и значение обсуждаемой темы (проблемы) в данной дисциплине, напоминаются порядок и направления ее обсуждения. Конкретизируется ранее известный обучающимся план проведения занятия. После этого начинается процесс обсуждения вопросов обучающимися. Завершается занятие заключительным словом преподавателя.

Проведение семинарских занятий в рамках учебной группы (20 - 25 человек) позволяет обеспечить активное участие в обсуждении проблемы всех присутствующих.

По ходу обсуждения темы помните, что изучение теории должно быть связано с определением (выработкой) средств, путей применения теоретических положений в практической деятельности, например, при выполнении функций государственного служащего. В то же время важно не свести обсуждение научной проблемы только к пересказу случаев из практики работы, к критике имеющих место недостатков. Дискуссии имеют важное значение: учат дисциплине ума, умению выступать по существу, мыслить логически, выделяя главное, критически оценивать выступления участников семинара.

В процессе проведения семинара обучающиеся могут использовать разнообразные по своей форме и характеру пособия (от доски смелом до самых современных технических средств), демонстрируя фактический, в том числе статистический материал, убедительно подтверждающий теоретические выводы и положения. В завершение обсудите результаты работы семинара и сделайте выводы, что хорошо усвоено, а над чем следует дополнительно поработать.

В целях эффективности семинарских занятий необходима обстоятельная подготовка к их проведению. В начале семестра (учебного года) возьмите в библиотеке необходимые методические материалы для своевременной подготовки к семинарам. Во время лекций, связанных с темой семинарского занятия, следует обращать внимание на то, что необходимо дополнительно изучить при подготовке к семинару (новые официальные документы, статьи в периодических журналах, вновь вышедшие монографии и т.д.).

5.Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

Экзамен - одна из важнейших частей учебного процесса, имеющая огромное значение.

Во-первых, готовясь к экзамену, студент приводит в систему знания, полученные на лекциях, семинарах, практических и лабораторных занятиях, разбирается в том, что осталось непонятным, и тогда изучаемая им дисциплина может быть воспринята в полном объеме с присущей ей строгостью и логичностью, ее практической направленностью. А это чрезвычайно важно для будущего специалиста.

Во-вторых, каждый хочет быть волевым и сообразительным., выдержанным и целеустремленным, иметь хорошую память, научиться быстро находить наиболее рациональное решение в трудных ситуациях. Очевидно, что все эти качества не только украшают человека, но и

делают его наиболее действенным членом коллектива. Подготовка и сдача экзамена помогают студенту глубже усвоить изучаемые дисциплины, приобрести навыки и качества, необходимые хорошему специалисту.

Конечно, успех на экзамене во многом обусловлен тем, насколько систематически и глубоко работал студент в течение семестра. Совершенно очевидно, что серьезно продумать и усвоить содержание изучаемых дисциплин за несколько дней подготовки к экзамену просто невозможно даже для очень способного студента. И, кроме того, хорошо известно, что быстро выученные на память разделы учебной дисциплины так же быстро забываются после сдачи экзамена.

При подготовке к экзамену студенты не только повторяют и дорабатывают материал дисциплины, которую они изучали в течение семестра, они обобщают полученные знания, осмысливают методологию предмета, его систему, выделяют в нем основное и главное, воспроизводят общую картину с тем, чтобы яснее понять связь между отдельными элементами дисциплины. Вся эта обобщающая работа проходит в условиях напряжения воли и сознания, при значительном отвлечении от повседневной жизни, т. е. в условиях, благоприятствующих пониманию и запоминанию.

Подготовка к экзаменам состоит в приведении в порядок своих знаний. Даже самые способные студенты не в состоянии в короткий период зачетно-экзаменационной сессии усвоить материал целого семестра, если они над ним не работали в свое время. Для тех, кто мало занимался в семестре, экзамены принесут мало пользы: что быстро пройдено, то быстро и забудется. И хотя в некоторых случаях студент может «проскочить» через экзаменационный барьер, в его подготовке останется серьезный пробел, трудно восполняемый впоследствии.

Определив назначение и роль экзаменов в процессе обучения, попытаемся на этой основе пояснить, как лучше готовиться к ним.

Экзаменам, как правило, предшествует защита курсовых работ (проектов) и сдача зачетов. К экзаменам допускаются только студенты, защитившие все курсовые работы проекты) и сдавшие все зачеты. В вузе сдача зачетов организована так, что при систематической работе в течение семестра, своевременной и успешной сдаче всех текущих работ, предусмотренных графиком учебного процесса, большая часть зачетов не вызывает повышенной трудности у студента. Студенты, работавшие в семестре по плану, подходят к экзаменационной сессии без напряжения, без излишней затраты сил в последнюю, «зачетную» неделю.

Подготовку к экзамену следует начинать с первого дня изучения дисциплины. Как правило, на лекциях подчеркиваются наиболее важные и трудные вопросы или разделы дисциплины, требующие внимательного изучения и обдумывания. Нужно эти вопросы выделить и обязательно постараться разобраться в них, не дожидаясь экзамена, проработать их, готовясь к семинарам, практическим или лабораторным занятиям, попробовать самостоятельно решить несколько типовых задач. И если, несмотря на это, часть материала осталась неусвоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на то, что это не попадется на экзамене. Факты говорят об обратном; если те или другие вопросы учебной дисциплины не вошли в экзаменационный билет, преподаватель может их задать (и часто задает) в виде дополнительных вопросов.

Точно такое же отношение должно быть выработано к вопросам и задачам, перечисленным в программе учебной дисциплины, выдаваемой студентам в начале семестра. Обычно эти же вопросы и аналогичные задачи содержатся в экзаменационных билетах. Не следует оставлять без внимания ни одного раздела дисциплины: если не удалось в чем-то разобраться самому, нужно обратиться к товарищам; если и это не помогло выяснить какой-либо вопрос до конца, нужно обязательно задать этот вопрос преподавателю на предэкзаменационной консультации. Чрезвычайно важно приучить себя к умению самостоятельно мыслить, учиться думать, понимать суть дела. Очень полезно после проработки каждого раздела восстановить в памяти содержание изученного материала. кратко записав это на листе бумаги. создать карту памяти (умственную карту), изобразить необходимые схемы и чертежи (логико-графические схемы), например,

отобразить последовательность вывода теоремы или формулы. Если этого не сделать, то большая часть материала останется не понятой, а лишь формально заученной, и при первом же вопросе экзаменатора студент убедится в том, насколько поверхностно он усвоил материал.

В период экзаменационной сессии происходит резкое изменение режима работы, отсутствует посещение занятий по расписанию. При всяком изменении режима работы очень важно скорее приспособиться к новым условиям. Поэтому нужно сразу выбрать такой режим работы, который сохранился бы в течение всей сессии, т. е. почти на месяц. Необходимо составить для себя новый распорядок дня, чередуя занятия с отдыхом. Для того чтобы сократить потерю времени на включение в работу, рабочие периоды целесообразно делать длительными, разделив день примерно на три части: с утра до обеда, с обеда до ужина и от ужина до сна.

Каждый рабочий период дня надо заканчивать отдыхом. Наилучший отдых в период экзаменационной сессии - прогулка, кратковременная пробежка или какой-либо неутомительный физический труд.

При подготовке к экзаменам основное направление дают программа учебной дисциплины и студенческий конспект, которые указывают, что наиболее важно знать и уметь делать. Основной материал должен прорабатываться по учебнику (если такой имеется) и учебным пособиям, так как конспекта далеко недостаточно для изучения дисциплины, Учебник должен быть изучен в течение семестра, а перед экзаменом сосредоточьте внимание на основных, наиболее сложных разделах. Подготовку по каждому разделу следует заканчивать восстановлением по памяти его краткого содержания в логической последовательности.

За один - два дня до экзамена назначается консультация. Если ее правильно использовать, она принесет большую пользу. Во время консультации студент имеет полную возможность получить ответ на нее ни ясные ему вопросы. А для этого он должен проработать до консультации все темы дисциплины. Кроме того, преподаватель будет отвечать на вопросы других студентов, что будет для вас повторением и закреплением знаний. И еще очень важное обстоятельство: преподаватель на консультации, как правило, обращает внимание на те вопросы, по которым на предыдущих экзаменах ответы были неудовлетворительными, а также фиксирует внимание на наиболее трудных темах дисциплины. Некоторые студенты не приходят на консультации либо потому, что считают, что у них нет вопросов к преподавателю, либо полагают, что у них и так мало времени и лучше самому прочитать материал в конспекте или и учебнике. Это глубокое заблуждение. Никакая другая работа не сможет принести столь значительного эффекта накануне экзамена, как консультация преподавателя.

Но консультация не может возместить отсутствия длительной работы в течение семестра и помочь за несколько часов освоить материал, требующийся к экзамену. На консультации студент получает ответы на трудные или оставшиеся неясными вопросы и, следовательно, дорабатывается материал. Консультации рекомендуется посещать, подготовив к ним все вопросы, вызывающие сомнения. Если студент придет на консультацию, не проработав всего материала, польза от такой консультации будет невелика.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальным сон. Подготовка к экзамену не должна идти в ущерб сну, иначе в день экзамена не будет чувства свежести и бодрости, необходимых для хороших ответов. Вечер накануне экзамена рекомендуем закончить небольшой прогулкой.

Итак, *основные советы* для подготовки к сдаче зачетов и экзаменов состоят в следующем:

- лучшая подготовка к зачетам и экзаменам - равномерная работа в течение всего семестра;
- используйте программы учебных дисциплин - это организует вашу подготовку к зачетам и экзаменам;
- учитывайте, что для полноценного изучения учебной дисциплины необходимо время;
- составляйте планы работы во времени;
- работайте равномерно и ритмично;

- курсовые работы (проекты) желательно защищать за одну - две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии;
- все зачеты необходимо сдавать до начала экзаменационной сессии;
- помните, что конспект не заменяет учебник и учебные пособия, а помогает выбрать из него основные вопросы и ответы;
- при подготовке наибольшее внимание и время уделяйте трудным и непонятным вопросам учебной дисциплины;
- грамотно используйте консультации;
- соблюдайте правильный режим труда и отдыха во время сессии, это сохранит работоспособность и даст хорошие результаты;
- учитесь владеть собой на зачете и экзамене;
- учитесь точно и кратко передавать свои мысли, поясняя их, если нужно, логико-графическими схемами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильная организация самостоятельной работы позволяет обучающимся развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, способствует формированию навыков совершенствования профессионального мастерства. Также внеаудиторное время включает в себя подготовку к аудиторным занятиям и изучение отдельных тем, расширяющих и углубляющих представления обучающихся по разделам изучаемой дисциплины.

Таким образом, обучающийся используя методические указания может в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

1) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;

2) добросовестное выполнение заданий;

3) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;

4) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам; выявление неточностей и некорректного изложения материала в периодической и специальной литературе;

5) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области управления персоналом;

6) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам для *HR*;

7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе студенческих научных обществ, круглых столах и диспутах по проблемам управления персоналом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Брандес М. П. Немецкий язык. Переводческое реферирование: практикум. М.: КДУ, 2008. – 368 с.

2. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально -ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

3. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

4. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности (на материале немецкого языка): Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

О. В. Садырева, И. Г. Коршунов

Ф И З И К А

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ВСЕХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ

Екатеринбург

2020

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Учебно-методическим советом УГГУ

Председатель совета
_____Упоров С.А.

ФИЗИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
СТУДЕНТОВ ВСЕХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ

Екатеринбург, 2019

Методические указания составлены в соответствии с программами по курсу физики для студентов всех направлений подготовки в УГГУ. Они содержат условия задач для самостоятельной работы, при выполнении контрольных работ студентами по следующим темам курса физики: механика; молекулярная физика и термодинамика; электричество и магнетизм; механические и электромагнитные колебания и волны; волновая и квантовая оптика; квантовая физика и физика атома; элементы ядерной физики. Также в них содержатся методические указания к решению задач, их оформлению, список рекомендуемой литературы и справочные данные, необходимые для решения задач.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНИХ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

1. Номера задач, которые студент должен включить в свою контрольную работу, определяются преподавателем в начале соответствующего семестра.
2. Контрольные работы нужно выполнять чернилами в школьной тетради, на обложке указывается фамилия и инициалы студента, номер группы.
3. Условия задач в контрольной работе необходимо переписать полностью без сокращений. Для замечаний преподавателя на страницах тетради нужно оставлять поля.
4. Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить ее на повторную рецензию, включив в нее те задачи, при решении которых допущены ошибки.
5. При решении задач необходимо пользоваться следующей схемой:

- Внимательно прочитать условие задачи.
- Выписать столбиком все величины, входящие в условие, и выразить их в одних единицах (преимущественно в Международной системе единиц СИ).
- Если это возможно, представить условие задачи в виде четкого рисунка. Правильно сделанный рисунок – это наполовину решенная задача.
- Уяснить физическую сущность задачи, установить основные законы и формулы, на которых базируется условие задачи.
- Если при решении задачи применяется формула, полученная для частного случая, не выражающая какой-нибудь физический закон или не являющаяся определением какой-нибудь физической величины, то ее следует вывести.
- Если равенства векторные, то их необходимо спроектировать но оси координат и записать в скалярной форме.
- Решить задачу сначала в общем виде, то есть, в буквенных обозначениях, заданных в условии задачи. При таком способе решения не производятся вычисления промежуточных величин.
- После получения расчетной формулы для проверки ее правильности следует подставить в правую часть формулы вместо символов величин их размерности, произвести с ними необходимые действия и убедиться в том, что полученная при этом единица соответствует искомой величине. Если такого соответствия нет, то это означает, что задача решена неверно.
- Подставить в конечную формулу числовые значения, выраженные в единицах СИ. В виде исключения допускается выражать в любых, но одинаковых единицах числовые значения однородных величин, стоящих в числителе и знаменателе дроби и имеющих одинаковые степени.

- При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3520 надо записать $3{,}52 \cdot 10^3$, вместо 0,00129 записать $1{,}29 \cdot 10^{-3}$ и т. п.
- Вычисления по расчетной формуле надо проводить с соблюдением правил приближенных вычислений. Как правило, окончательный ответ следует записывать с тремя значащими цифрами. Это относится и к случаю, когда результат получен с применением калькулятора.
- Решение задачи должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями и комментариями.

1. МЕХАНИКА

1. Расстояние между двумя станциями метрополитена 1,5 км. Первую половину этого расстояния поезд проходит равноускоренно, вторую - равнозамедленно с тем же по модулю ускорением. Максимальная скорость поезда 50 км/ч. Найти ускорение и время движения поезда между станциями.

2. Шахтная клеть поднимается со скоростью 12 м/с. После выключения двигателя, двигаясь с отрицательным ускорением 1,2 м/с2 , останавливается у верхней приемной площадки. На каком расстоянии от нее находилась клеть в момент выключения двигателя и сколько времени двигалась до остановки?

3. С башни высотой 30 м в горизонтальном направлении брошено тело с начальной скоростью 10 м/с. Определить уравнение траектории тела, скорость тела в момент падения.

4. Для добывания руды открытым способом произвели взрыв породы. Подъем кусков породы, выброшенных вертикально вверх, длился 5 с. Определить их начальную скорость и высоту подъема.

5. При взрыве серии скважин камень, находящийся на уступе высотой 45 м, получил скорость 100 м/с в горизонтальном направлении. Какова дальность полета камня, сколько времени он будет падать, с какой скоростью упадет на землю?

6. Рассчитать скорость движения и полное ускорение шахтного электровоза в момент времени 5 с, если он движется по криволинейному участку радиусом 15 м. Закон движения электровоза выражается формулой $S = 800 + 8t - 0{,}5\,t^2$, м.

7. Во сколько раз тангенциальное ускорение точки, лежащей на ободе вращающегося колеса, больше ее нормального ускорения для того момента времени, когда вектор полного ускорения этой точки составляет угол 30° с вектором ее линейной скорости?

8. Под действием постоянной силы 118 Н вагонетка приобрела скорость 2 м/с, пройдя путь 10 м. Определить силу трения и коэффициент трения, если масса вагонетки 400 кг.

9. В шахте опускается равноускоренно лифт массой 280 кг, в первые 10 с он проходит 35 м. Найти натяжение каната, на котором висит лифт.

10. На горизонтальной платформе шахтной клети находится груз 60 кг. Определить силу давления груза на платформу: при равномерном подъеме и спуске, при подъеме и спуске с ускорением 3 м/^{2} , при спуске с ускорением 9,8 м/с^2.

11. Тело скользит по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол 45° . Пройдя путь 36,4 см, тело приобретает скорость 2 м/с. Найти коэффициент трения тела о плоскость.

12. Найти закон движения (зависимость пройденного расстояния от времени) куска антрацита при скольжении его с нулевой начальной скоростью по стальному желобу с углом наклона 30° . Коэффициент трения 0,3.

13. Рудничный поезд массой 450 т движется со скоростью 30 км/ч, развивая мощность 150 л. с. (1 л. с. =736 Вт). Определить коэффициент трения.

14. Определить силу тяги, которую развивает лебедка при подъеме вагонетки массой 2 т с ускорением 0,5 м/^{2}, если коэффициент трения 0,03, а угол наклона железнодорожного полотна 30°.

15. Вагонетка скатывается по наклонной горке длиной 5 м. Определить путь, проходимый вагонеткой по горизонтали до остановки, и наибольшую скорость движения, если коэффициент сопротивления 0,0095. Угол наклона 5°.

16. Маховик, приведенный в равноускоренное вращение, сделав 40 полных оборотов, стал вращаться с частотой 480 мин$^{-1}$.Определить угловое ускорение маховика и продолжительность равноускоренного вращения.

17. Ротор шахтного электродвигателя совершает 960 об/мин. После выключения он останавливается через 10с. Считая вращение равнозамедленным, найти угловое ускорение ротора. Сколько оборотов сделал ротор до остановки?

18. Крутящий момент двигателя электрической лебедки 1,2 кН·м. Для остановки двигателя служат тормозные деревянные колодки, прижимающиеся с двух сторон к тормозному чугунному диску радиусом 0,6 м, жестко связанному с ротором двигателя. Найти силу давления, необходимую для остановки ротора, если коэффициент трения равен 0,5.

19. Двигатель мощностью 3 кВт за 12 с разогнал маховик до 10 об/с. Найти момент инерции маховика.

20. Была произведена работа в 1 кДж, чтобы из состояния покоя привести маховик во вращение с частотой $8с^{-1}$.Какой момент импульса (количества движения) приобрел маховик?

21. Шар и цилиндр имеют одинаковую массу 5кг и катятся со скоростью 10 м/с по горизонтальной плоскости. Найти кинетическую энергию этих тел.

22. Какую работу надо произвести, чтобы раскрутить маховик массой 80 кг до 180об/мин? Массу маховика считать равномерно распределенной по ободу с диаметром 1м.

23. Ротор шахтного электродвигателя совершает 960 об/мин. После выключения он останавливается через 10с. Считая вращение равнозамедленным, найти угловое ускорение ротора. Сколько оборотов сделал ротор до остановки?

24. Шар и сплошной цилиндр катятся по горизонтальной плоскости. Какую часть энергия поступательного движения каждого тела составляет от общей кинетической энергии?

25. Маховик, выполненный в виде диска радиусом 0,4м и имеющий массу 100 кг, был раскручен до 480 оборотов в минуту и предоставлен самому себе. Под действием трения вала о подшипники маховик остановился через 80 с. Определить момент сил трения.

2.МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

26. Какой объем занимает 1 кг водорода при давлении 106 Па и температуре 20°С? Молярная масса водорода $2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

27. Для автогенной сварки привезли баллон кислорода вместимостью 100 л. Найти массу кислорода, если его давление 12 МПа и темпера-тура 16°С. Молярная масса кислорода $32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

28. Определить среднюю плотность сжатого воздуха в рудничной воздухопроводной сети, если давление воздуха в компрессоре составляет $7 \cdot 10^5$ Па, а давление у воздухоприемников $6 \cdot 10^5$ Па. Температура воздуха в начале и конце сети равна 27°С и 7°С. Молярная масса воздуха равна 0,029 кг/моль.

29. Стальной баллон емкостью 25 л наполнен ацетиленом $C_2 H_2$ при температуре 27° С до давления 20 МПа. Часть ацетилена использовали для автогенной сварки подкрановых путей в шахте. Какая масса ацетилена из-расходована, если давление в баллоне при температуре 23°С стало равным 14 МПа ? Молярная масса ацетилена 0,026 кг/моль.

30. Сжатый воздух в баллоне имеет температуру 15°С. Во время пожара температура воздуха в баллоне поднялась до 450° С. Взорвется ли баллон, если известно, что при этой температуре он может выдержать давление не более 9,8 МПа? Начальное давление в баллоне 4,8 МПа.

31. Температура взрыва гремучей смеси, то есть температура, до которой нагреты в первый момент газообразные продукты взрыва, достигает в среднем 2600° С, если взрыв происходит внутри замкнутого пространства. Во сколько раз давление при взрыве гремучего газа превосходит давление смеси до взрыва, если последнее равно 10^5 Па, а начальная температура 17° С?

32. Компрессор, обеспечивающий работу отбойных молотков в забое, засасывает из атмосферы 100 л воздуха в секунду при давлении 1 атм. Сколько отбойных молотков может работать от этого компрессора, если для каждого молотка необходимо 100 $см^3$ воздуха в секунду при давлении 50 атм ?

33. В двигателе Дизеля сжимается адиабатически воздух, в результате чего его температура поднимается, достигая температуры воспламенения нефти 800° С. До какого давления сжимается при этом воздух и во сколько раз уменьшается его объем, если начальное давление 1 атм, начальная температура 80°С, γ=1,4?

34. Современные вакуумные насосы позволяют понижать давление до 10^{-15} мм рт. ст. Сколько молекул газа содержится в объеме 1 $см^3$ при указанном давлении и температуре 27° С ?

35. Определить средние квадратичные скорости молекул метана CH_4 до взрыва и после него, если температура до взрыва равна 20° С, а после него 2600° С. Молярная масса 0,016 кг/моль.

36. Найти среднюю кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре 350 К, а также кинетическую энергию вращательного движения всех молекул, содержащихся в 4 г кислорода.

37. Вычислить удельные теплоемкости при постоянном объеме и при постоянном давлении окиси углерода CO, принимая этот газ за идеальный.

38. На сжатие азота при постоянном давлении была затрачена работа 12 кДж. Найти изменение внутренней энергии и затраченное количество теплоты.

39. Какое количество теплоты для нагревания от 50°C до 100° C надо сообщить азоту массой 28 г, который находится в цилиндре с подвижным поршнем? Чему равна при этом процессе работа расширения?

40. При адиабатическом процессе расширения внутренняя энергия кислорода уменьшилась на 8,38 кДж. Вычислить массу кислорода, если начальная температура его 47° C, а объем увеличился в 10 раз.

41. В двигателе внутреннего сгорания температура газообразных продуктов сгорания поднимается от 600° C до 2000° C. Найти количество теплоты, подведенное к 1 кг газа при постоянном давлении, изменение его внутренней энергии и совершенную работу, если удельные теплоемкости при постоянных давлении и объеме соответственно равны 1,25 кДж/(кг·К) и 0,96 кДж/(кг·К).

42. Определить мощность на валу компрессора производительностью 25 $м^3$ в минуту, работающего на подземную воздушную сеть, если первоначальное давление 1 атм, а давление, развиваемое компрессором в конце изотермического сжатия, составляет 7 атм.

43. Тепловая машина работает по обратимому циклу Карно. Температура нагревателя 227° C. Определить термический коэффициент полезного действия цикла и температуру охладителя, если за счет каждого килоджоуля теплоты, полученной от нагревателя, машина совершает работу 350 Дж.

44. От идеальной теплосиловой установки, работающей по циклу Карно, отводится ежечасно 270 МДж теплоты с помощью холодильника при 9° C. Определить полезную мощность установки, если количество подводимой в час теплоты равно 900 МДж. При какой температуре подводится теплота?

45. Газ совершает цикл Карно. Абсолютная температура нагревателя в три раза выше, чем температура холодильника. Нагреватель передал газу 42 кДж теплоты. Какую работу совершил газ?

46. При прямом цикле Карно тепловая машина совершает работу, равную 200 Дж. Температура нагревателя 375 К, холодильника 300 К. Найти количество теплоты, получаемое машиной от нагревателя.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

47. Вследствие трения о шкив ремень заряжается, причем каждый квадратный метр ремня содержит 0,02Кл заряда. Ширина ремня 0,3м, скорость его движения 20 м/с. Какой заряд проходит ежесекундно через любую неподвижную плоскость, перпендикулярную ремню?

48. Определить заряд, емкость и потенциал Земли, считая ее шаром радиусом $6 \cdot 10^3$ км и зная, что напряженность поля около поверхности равна 100 В/м.

49. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора 6 кВ, заряд каждой пластины 10 нКл. Найти энергию конденсатора и силу взаимного притяжения пластин, если расстояние между ними 2 см.

50. Какое количество теплоты выделится при разрядке плоского конденсатора, если разность потенциалов между пластинами 15 кВ, расстояние 1 мм, диэлектрик слюда ($\varepsilon = 6$), площадь каждой пластины 300 $см^2$?

51. Какую работу надо совершить , чтобы увеличить расстояние между пластинами воздушного конденсатора от 0,03 м до 0,1 м? Площадь пластин 100 $см^2$. Конденсатор подключен к источнику напряжения 220 В.

52. Камнедробилка должна работать под напряжением 100 В, потребляя ток в 40 А. Напряжение на электростанции 120 В, а расстояние до нее 1 км. Определить сечение медных соединительных проводов ($\rho = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом м).

53. Какой длины надо взять нихромовый проводник диаметром 1,5 мм для изготовления спирали вулканизатора , применяемого при сращивании кабелей, если сопротивление спирали 5,5 Ом, а удельное сопротивление нихрома $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом м?

54. Цена деления прибора $1,5 \cdot 10^{-5}$ А /дел. Шкала прибора имеет 200 делений, его внутреннее сопротивление 100 Ом. Какие сопротивления нужно подключить к этому прибору и каким образом, чтобы можно было измерять напряжение до 200 В или ток до 4 А?

55. Определить сопротивление медных магистральных проводов при температуре 30^0 С. Расстояние от места расположения проводов до взрывной станции 400 м. Площадь сечения проводов 0,8 $мм^2$, $\rho = 0{,}017$(Ом· $мм^2$ /м), $\alpha = 0{,}0044$ град-1.

56. ЭДС батареи 12 В, ток короткого замыкания 5 А. Какую наибольшую мощность может дать батарея во внешней цепи?

57. Найти ток короткого замыкания для аккумуляторной батареи, если при токе 5 А она дает во внешнюю цепь мощность 9,5 Вт, а при токе 8 А мощность 14,4 Вт.

58. Ток в проводнике сопротивлением 100 Ом равномерно нарастает от 0 до 10 А в течение 30 с. Чему равно количество теплоты, выделившееся за это время в проводнике?

59. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток 50 А. Найти магнитную индукцию в точке, удаленной на расстояние 5 см от проводника.

60. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут токи 50 А и 100 А в противоположных направлениях. Расстояние между проводами 20 см. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной на 25 см от первого и на 40 см от второго провода.

61. Найти число витков в катушке диаметром 10 см, если магнитная стрелка, помещенная в ее центре, отклонилась от плоскости магнитного меридиана на 38° при токе 0,2 А. Горизонтальная составляющая земного магнитного поля 12,8 А /м . Плоскость катушки совпадает с плоскостью магнитного меридиана.

62. Определить горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли,
если обмотка тангенс–буссоли имеет 10 витков радиусом 25 см. При токе 0,64 А стрелка отклоняется на угол 45°.

63. Плоский контур площадью 20 см ² находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,03 Тл. Найти магнитный поток, пронизывающий контур, если его плоскость составляет угол 60° с линиями индукции.

64. Электромагнит изготовлен в виде тороида со средним диаметром 51 см и вакуумным зазором 2 мм. Обмотка тороида равномерно распределена по всей его длине. Во сколько раз уменьшится напряженность магнитного поля в зазоре, если при неизменном токе в обмотке зазор увеличить в три раза? Магнитная проницаемость сердечника тороида 800.

65. Найти напряженность магнитного поля между полюсами электромагнита , если проводник массой 10 г и длиной 1м при токе в нем 19,6 А висит в поле , не падая.

66. В однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл движется проводник длиной 10 см со скоростью 15 м /с, направленной перпендикулярно к магнитному полю. Найти ЭДС, индуцированную в проводнике.

67. Обмотка электромагнита содержит 800 витков. Площадь сечения сердечника 15 $см^2$, Индукция магнитного поля в сердечнике 1,4 Тл. Вычислить величину средней ЭДС , возникающей в обмотке при размыкании тока, если ток уменьшается до нуля в течение 0,001с.

68. На железное кольцо намотано в один слой 200 витков провода. Чему равна энергия Магнитного поля, если при токе 2,5 А магнитный поток в железе 0,5 мВб?

69. Замкнутый соленоид намотан на немагнитный каркас и содержит 20 витков на каждый сантиметр длины. Найти объемную плотность энергии поля при токе 1 А.

70. С какой скоростью должен нарастать ток в катушке с числом витков 800, площадью поперечного сечения 10 $см^2$, длиной 30 см, чтобы величина ЭДС самоиндукции, возникшей в ней, была равна 25 мВ?

4. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

71. Маятник для гравиметрической съемки за сутки совершил 57600 колебаний. Найти ускорение свободного падения, если длина маятника
0,56м.

72. Днище вибролюка, применяемого для погрузки руды в бункер поезда из очистной камеры, совершает гармоническое колебательное движение с амплитудой 5 мм и частотой 1500 $мин^{-1}$. Написать уравнение колебаний, если начальная фаза равна нулю.

73. Стол питателя, предназначенного для погрузки руды в вагонетки, колеблется с частотой 45 $мин^{-1}$. Определить максимальные скорость и ускорение стола, полную энергию колебаний, если масса питателя 1000 кг, амплитуда колебаний 72 мм.

74. Решето рудообогатительного грохота совершает вертикальное колебательное движение с амплитудой 5 см. Найти наименьшую частоту колебаний, при которой куски руды, лежащие на решете, будут отделяться от него и подбрасываться вверх.

75. Для погружения обсадных труб в глинистые отложения применяется вибровозбудитель ВО-10, амплитуда колебаний которого 0,13 см, частота вращения дебалансов 1200 $мин^{-1.}$ Определить максимальные скорость и ускорение, написать уравнение колебаний, если начальная фаза равна нулю.

76. Определить полную энергию колебаний и максимальную силу взаимодействия между подъемным сосудом массой 90 тонн и армировкой ствола шахты, если амплитуда горизонтальных колебаний сосуда 3 см, а циклическая частота 7 $с^{-1}$.

77. Точка одновременно совершает два гармонических колебания, происходящих по взаимно перпендикулярным направлениям и выражаемых уравнениями: $x = 0{,}5\sin t$, $y = 2\cos t$. Найти уравнение траектории точки, построить график ее движения.

78. Два одинаково направленных гармонических колебания одного периода с амплитудами 10 см и 6 см складываются в одно колебание с амплитудой 14 см. Определить разность фаз складываемых колебаний.

79. Груз, подвешенный к пружине, гармонически колеблется по вертикали с периодом 0,5 с. Коэффициент упругости пружины 4 Н/м. Определить массу груза.

80. Амплитуда затухающих колебаний маятника за 5 мин уменьшилась в два раза. За какое время, считая от начального момента, амплитуда уменьшится в восемь раз?

81. Источник незатухающих гармонических колебаний подчиняется закону $x = 5\sin 3140t$ (м). Определить смещение, скорость и ускорение точки, находящейся на расстоянии 340м от источника, через 1 с от начала колебаний, если скорость волны 340 м/с.

82. Уравнение незатухающих колебаний $y = 0{,}1\sin 0{,}5\pi t$ (м). Скорость волны 300 м/с. Написать уравнение колебаний для точек волны в момент времени 4 с после начала колебаний. Найти разность фаз для источника и точки на расстоянии 200 м от него.

83. Звуковые колебания с частотой 500 Гц и амплитудой 0,25 мм, распространяются в воздухе. Длина волны 70 см. Определить скорость распространения волны и наибольшую скорость колебаний частиц воздуха.

84. Определить коэффициент сжатия горной породы - величину, обратную модулю Юнга, если скорость распространения звуковых волн в горной породе равна 4500 м/с, а плотность породы составляет $2{,}3\cdot 10^3$ кг/м^3.

85. К одному из концов длинного стержня прикреплен вибратор, колеблющийся по закону $y = 10^{-6}\sin 10^4\pi t$ (м). Найти скорость точек в сечении стержня, отстоящем от вибратора на расстоянии 25см, в момент времени 10^{-4} с. Скорость волны $5\cdot 10^3$ м/с.

86. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 2 мГн и конденсатора емкостью 888 пФ. На какую длину волны настроен контур?

87. Найти частоту собственных колебаний в контуре, состоящем из катушки индуктивности и плоского конденсатора. Площадь каждой пластины конденсатора 30 см^2 и расстояние между ними 0,1 см. Число витков катушки 1000, длина ее 30 см, сечение 1 см^2.

88. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью 1,02 Гн и конденсатора емкостью 0,025 мкФ. Заряд на конденсаторе равен $2{,}5\cdot^{10\text{-}6}$ Кл. Какова зависимость разности потенциалов на конденсаторе от времени?

89. Катушка (без сердечника) длиной 50 см и площадью поперечного сечения 3 см^2 имеет 1000 витков и соединена параллельно с конденсатором. Он состоит из двух

пластин площадью 75 см^2 каждая, рас-стояние между пластинами 5 мм, диэлектрик - воздух. Найти период колебаний контура и длину волны, на которую он настроен.

90. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 1,02 Гн и конденсатора емкостью 25 нФ. На обкладках конденсатора сосредоточен заряд 2,5 мкКл. Написать уравнение изменения тока в цепи в зависимости от времени.

91. Разность потенциалов на конденсаторе в контуре за 1 мс уменьшается в три раза. Найти коэффициент затухания.

92. Электромагнитные волны распространяются в некоторой однородной среде со скоростью $2{,}5\cdot10^8$ м/с. Какую длину волны имеют электромагнитные колебания в данной среде, если частота колебаний 1 МГц?

93. Катушка с индуктивностью 30 мкГн присоединена к плоскому конденсатору с площадью пластин 0,01 м^2 и расстоянием между ними 0,1 мм. Найти диэлектрическую проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами, если контур настроен на длину волны 750 м.

94. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 80 пФ и катушки индуктивностью 0,5 мГн. Найти максимальный ток в контуре, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора 300 В. На какую длину волны резонирует данный контур?

95. Закон изменения разности потенциалов на обкладках конденсатора в контуре задан уравнением $U = 50\cos10^4\pi t$(В). Емкость конденсатора равна 0,1 мкФ. Найти период колебаний, индуктивность, длину волны. Написать закон изменения тока в контуре.

96. Колебательный контур состоит из конденсатора переменной емкости от 12 пФ до 80пФ и катушки с индуктивностью 1,2 мГн. Найти диапазон длин электромагнитных волн, которые могут вызывать резонанс в этом контуре.

97. Индуктивность колебательного контура 0,5 мГн. Какова должна быть электроемкость контура, чтобы он резонировал на длину волны 300 м?

98. Катушка (без сердечника) длиной 50 см и площадью поперечного сечения 3 см^2 имеет 1000 витков и соединена параллельно с конденсатором. Он состоит из двух пластин площадью 75 см^2 каждая, расстояние между пластинами 5 мм, диэлектрик - воздух. Найти период колебаний контура и длину волны, на которую он настроен.

99. Какую индуктивность надо включить в колебательный контур, чтобы при емкости 2 мкФ получить частоту 1000 Гц?

100. Индуктивность катушки в колебательном контуре 20 мкГн. Требуется настроить этот контур на частоту 5 МГц. Какую емкость следует выбрать?

101. Колебательный контур, состоящий из воздушного конденсатора с двумя пластинами по 100 $см^2$ каждая и катушки с индуктивностью 1 мкГн резонирует на волну длиной 10м. Найти расстояние между пластинами конденсатора.

5. ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА

102. Расстояние между двумя щелями в опыте Юнга I мм, расстояние от щелей до экрана 3м, расстояние между соседними интерференционными максимумами на экране 1,5 мм. Найти длину волны источника монохроматического света.

103. Оранжевые лучи с длиной волны 650 нм от двух когерентных источников, расстояние между которыми 120 мкм, падают на экран. Расстояние от источников до экрана 3,6 м. Найти расстояние между центрами соседних темных полос на экране.

104. Какую наименьшую толщину должна иметь пластинка, сделанная из материала с показателем преломления 1,54, чтобы при освещении ее лучами с длиной волны 750 нм, перпендикулярными к пластинке, она в отраженном свете казалась красной?

105. Между двумя плоскопараллельными пластинками лежит проволочка, отчего образовался воздушный клин. Пластинки освещаются светом с длиной волны 500 нм. Угол падения лучей 0°, длина пластинки 10 см. Расстояние между интерференционными полосами в отраженном свете 1,8 мм. Найти толщину проволочки.

106. Плосковыпуклая линза (n=1,5) с оптической силой 0,5 диоптрий выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Найти радиус пятого темного кольца Ньютона в проходящем свете (λ =600 нм).

107. Радиус кривизны плосковыпуклой линзы 4 м. Чему равна длина волны падающего света, если радиус 5-го светлого кольца Нью-она в отраженном свете равен 3,6 мм?

108. На щель шириной 0,2 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 640 нм. Определить угол отклонения лучей, соответствующих первой светлой дифракционной полосе.

109. На пластинку со щелью падает нормально монохроматический свет. Угол отклонения лучей, соответствующих второму дифракционному минимуму, равен 1°. Сколько длин волн падающего света составляет ширина щели?

110. На щель шириной 0,05 мм падает нормально монохроматический свет (λ=0,6 мкм). Найти угол между первоначальным направлением пучка света и направлением на четвертую темную дифракционную полосу.

111. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия с длиной волны 670 нм спектра второго порядка?

112. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядка накладываются друг на друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница (400 нм) спектра третьего порядка?

113. На дифракционную решетку, имеющую 800 штрихов на I мм, падает параллельный пучок белого света. Какова разность углов отклонения конца первого и начала второго спектров? Принять длину волны красного света 760 нм, фиолетового 400 нм.

114. На дифракционную решетку, содержащую 50 штрихов на миллиметр, падает в направлении нормали к ее поверхности белый свет. Спектр проектируется на экран с помощью линзы, помещенной вблизи решетки. Определить длину спектра первого порядка на экране, если расстояние от линзы до экрана 3 м. Границы видимого спектра 400 нм и 760 нм.

115. Угол преломления луча света в жидкости равен 35°. Определить показатель преломления этой жидкости, если отраженный луч максимально поляризован.
116. Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы его лучи, отраженные от поверхности озера, были бы наиболее полно поляризованы.

117. Предельный угол полного внутреннего отражения луча на границе жидкости с воздухом равен 43°. Каков должен быть угол падения луча из воздуха на поверхность жидкости, чтобы отраженный луч был максимально поляризован?

118. Угол максимальной поляризации при отражении света от кристалла каменной соли равен 57°. Определить скорость распространения света в этом кристалле.

119. Угол между плоскостями поляризации двух призм Николя равен 45°. Во сколько раз
уменьшится интенсивность света, прошедшего через николи, если этот угол увеличить до 60°?

120. Температура «голубой» звезды $3 \cdot 10^4$К. Определить интегральную интенсивность излучения и длину волны, соответствующую максимуму излучательной способности.

121. Приняв температуру поверхности Солнца равной 6000 К, определить энергию, излучаемую с одного квадратного метра за секунду и длину волны, соответствующую максимуму излучательной способности.

122. Поток энергии, излучаемой из смотрового окошка печи за секунду, равен 34 Вт. Найти температуру печи, если площадь отверстия 6 $см^2$.

123. Средняя величина энергии, теряемой вследствие излучения с одного квадратного сантиметра поверхности Земли за минуту, равна 0,55 Дж. Какую температуру должно иметь абсолютно черное тело, излучающее такое же количество энергии?

124. Печь при температуре 1100 К посылает на измерительный прибор некоторое тепловое излучение. Какова должна быть температура печи, чтобы получаемое прибором излучение увеличилось в два, четыре и шестнадцать раз?

125. Максимальная лучеиспускательная способность абсолютность черного тела приходится на длину волны 800 нм. Какая мощность должна быть подведена к этому телу, поверхность которого 100 $см^2$, чтобы поддерживать его при постоянной температуре.

126. Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела, максимум испускательной способности сместился с 500 нм на 750 нм. Во сколько раз уменьшилась суммарная мощность излучения?

127. Какая доля энергии фотона израсходована на работу вырывания фотоэлектрона, если красная граница фотоэффекта равна 307 нм и кинетическая энергия фотоэлектрона I эВ?

128. Калий (работа выхода 2 эВ) освещается монохроматическим светом с длиной волны 509 нм. Определить максимально возможную кинетическую энергию фотоэлектронов.

129. Определить работу выхода электрона из цезия и серебра, если красная граница фотоэффекта у этих металлов составляет соответственно 660 нм и 260 нм.

130. Определить энергию, импульс и массу фотона, длина волны которого соответствует видимой части спектра с длиной волны 500 нм.

131. Определить давление света на стенки электрической стоваттной лампы. Колба лампы представляет собой сферический сосуд радиусом 5 см. Стенки лампы

отражают 10 % падающего на них света. Считать, что вся потребляемая мощность идет на излучение.

132. На поверхность площадью 100 $см^2$ ежеминутно падает 63 Дж световой энергии. Найти величину светового давления, если поверхность полностью отражает все лучи и если полностью поглощает все лучи.

133. Давление света с длиной волны 600 нм на черную поверхность равно $2,2 \cdot 10^{-7}$ $Н/м^2$. Сколько фотонов падает на I $см^2$ за одну секунду?

6. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ФИЗИКА АТОМА

134. Определить длину волны, соответствующую границе серии Бальмера для водорода. Выделить эту спектральную линию на схеме энергетических уровней атома водорода. Постоянная Ридберга равна $1,097 \cdot 107 м^{-1}$.

135. Найти наибольшую и наименьшую длины волн в первой инфракрасной серии спектра водорода (серии Пашена). Начертить схему энергетических уровней атома водорода.

136. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны 121,5 нм. Определить радиус электронной орбиты возбужденного атома водорода.

137. Вычислить энергию фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на первый.

138. Определить длины волн де Бройля для электрона и протона, движущихся со скоростью 1000 км/с. Масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$кг, масса протона $1,67 \cdot 10^{-27кг}$.

139. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы длина волны де Бройля была равна 0,10 нм ?

140. Определить длину волны де Бройля для электрона, движущегося по круговой орбите атома водорода, находящегося в основном состоянии.

141. Электрон, движущийся со скоростью $6 \cdot 10^6$м/с, попадает в продольное ускоряющее однородное электрическое поле напряженностью 5 В/см. Какое расстояние должен пройти электрон в таком поле, чтобы его длина волны стала равной 0,10 нм?

142. Рассчитать дебройлевскую длину волны для протона с кинетической энергией, равной энергии покоя электрона 0,51МэВ.

143. Найти коротковолновую границу непрерывного рентгеновского спектра, если известно, что уменьшение приложенного к рентгеновской трубке напряжения на 23 кВ увеличивает искомую длину волны в два раза.

144. Найти длину волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра, если скорость электронов, подлетающих к антикатоду трубки, составляет 0,85 скорости света.

145. Для определения постоянной Планка к рентгеновской трубке приложили напряжение 16 кВ и определили минимальную длину волны сплошного рентгеновского излучения (λмин =77,6 пм). Вычислить по этим данным постоянную Планка.

146. Частица в потенциальной яме шириной *l* находится в возбужденном состоянии (n=2).
Вычислить вероятность нахождения частицы в крайней четверти ямы.
46. Частица в потенциальной яме находится в основном состоянии. Какова вероятность обнаружить частицу в крайней трети ямы?
147. В одномерной потенциальной яме шириной *l* находится электрон. Найти вероятность нахождения электрона на первом энергетическом уровне в интервале *l*/4, равноудаленном от стенок ямы.

148. Вычислить величину момента импульса L орбитального движения электрона, находящегося в атоме водорода в s-состоянии и в p-состоянии.

149. Частица в потенциальной яме шириной *l* находится в низшем возбужденном состоянии. Определить вероятность нахождения частицы в интервале *l*/4, равноудаленном от стенок ямы.

150. Определить возможные значения проекции момента импульса L_Z орбитального движения электрона в атоме водорода на направление внешнего магнитного поля. Электрон находится в d-состоянии.

151. Электрон находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной *l*
с бесконечно высокими стенками. Определить вероятность обнаружения электрона в средней трети ямы, если электрон находится в возбужденном состоянии (n=3).

7. ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

152. Активность препарата пропорциональна числу ядер, распадающихся за секунду. Во сколько раз уменьшится активность препарата стронция $_{38}Sr^{90}$ через 100 лет? Период полураспада равен 28 лет.

153. Сколько β-частиц испускает в течение одного часа 1 мкг изотопа $_{11}Na^{24}$, период полураспада которого составляет 15 часов?

154. Препарат $_{92}U^{238}$ массой 1 г излучает $1{,}24 \cdot 10^4$ α -частиц в секунду. Найти период полураспада этого изотопа урана и активность препарата.

155. Найти число распадов за одну секунду в 1 г радия, период полураспада которого 1590 лет. Молярная масса радия 0,226 кг/моль.

156. Активность препарата пропорциональна числу ядер, распадающихся за одну секунду. Во сколько раз уменьшится активность иода $_{53}J^{124}$ спустя 12 суток? Период полураспада равен четырем суткам.

157. Сколько β-частиц испускается в течение суток при распаде изотопа фосфора $_{15}P^{32}$ массой 1 мкг? Период полураспада 14,3 суток.
158. Активность препарата уменьшилась в 256 раз. Сколько периодов полураспада составляет промежуток времени, за который произошло такое уменьшение активности?

159. За один год начальное количество радиоактивного вещества уменьшилось в три раза. Во сколько раз оно уменьшится за два года?
60. Какая доля начального количества радиоактивного вещества останется нераспавшейся через промежуток времени, равный двум периодам полураспада?

160. Дефект массы ядра $_7N^{15}$ равен 0,12396 а.е.м. Определить массу атома. ($m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.; $m\ _0n^1 = 1{,}00867$ а.е.м.).

161. Найти удельную энергию связи ядра $_6C^{12}$, если известно, что $m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.; $m\ _0n1 = 1{,}00867$ а.е.м.; $m\ _{12}C^6 = 12{,}00000$ а.е.м.

162. Рассчитать массу нейтрального атома, если ядро его состоит из трех протонов и двух нейтронов, а энергия связи ядра равна 26,3 Мэв. ($m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.; $m\ _0n^1 = 1{,}00867$ а.е.м.).

163. Определить энергию связи ядра изотопа кислорода $_8O^{16}$, если $m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.;
$m\ _0n^1 = 1{,}00867$ а.е.м.; $m\ _8O^{16} = 1\ 5{,}99491$ а.е.м.

164. Определить энергию связи, приходящуюся на один нуклон ядра атома $_{11}Na^{23}$, если $m\ _{11}Na^{23} = 22{,}98977$а.е.м.; $m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.; $m\ _0n^1 = 1{,}00867$ а.е.м.

165. Найти дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра $_3Li^7$, если известно, что $m\ _3Li^7 = 7{,}01601$ а.е.м.; $m\ _1H^1 = 1{,}00783$ а.е.м.; $m\ _0n^1 = 1{,}00867$ а.е.м.

166. Энергия связи электрона с ядром невозбужденного атома водорода $_1H^1$ равна 13,6 эВ. Определить, насколько масса атома водорода меньше суммы масс свободных протона и электрона.

167. Вычислить дефект массы и энергию связи ядра $_5B^{11}$,если известны следующие массы: m $_5B^{11}$ = 11,00931 а.е.м.; m $_1H^1$ = 1,00783 а.е.м.; m $_0n^1$ = 1,00867 а.е.м.

168. Найти энергию, которую нужно затратить для отрыва нейтрона от ядра $_{11}Na^{23}$, если известны следующие массы: m $_0n^1$ = 1,00867 а.е.м.; m $_{11}Na^{23}$ = 22,98977 а.е.м.; m $_{11}Na^{22}$ = 21,99444 а.е.м.

169. Найти энергию отрыва нейтрона от ядра $_2He^4$,если известны массы: m $_0n^1$ = 1,00867 а.е.м.; m $_2He^4$ = 4,00260 а.е.м.; m $_2He^3$ = 3,01603 а.е.м.

170. Найти энергию, необходимую для удаления одного протона из ядра $_8O^{16}$ ($_8O^{16} \rightarrow {}_7N^{15} + {}_1H^1$). m $_1H^1$ = 1,00783 а.е.м.; m $_8O^{16}$ = 15,99491 а.е.м.; m $_7N^{15}$ = 15,00011 а.е.м.

171. Найти изменение массы при следующей ядерной реакции:
$_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \rightarrow {}_{15}P^{30} + {}_0n^1$, если m $_{13}Al^{27}$ =2 6,98154 а.е.м.; m $_2He^4$ = 4,00260 а.е.м.; m $_{15}P^{30}$= 29,97263 а.е.м.; m $_0n^1$= 1,00867 а.е.м.

172.Вычислить энергетический эффект ядерной реакции: $1H^2 + {}_1H3 \rightarrow {}_2He^4 + {}_0n^1$, если m $_1H^2$ = 2,01410 а.е.м.; m $_1H^3$ =3,01605 а.е.м.; m $_0n^1$ =1,00867 а.е.м.; m $_2He^4$ = 4,00260 а.е.м.

173. В термоядерном реакторе с дейтериевым горючим может происходить вторичная термоядерная реакция $_2He^3 + {}_1H^2 \rightarrow {}_2He^4 + {}_1H^1$. Вычислить энергию этой реакции. (m $_2He^3$ = 3,01603 а.е.м.; m $_1H^2$ = 2,01410 а.е.м.; m $_2He^4$ = 4,00260 а.е.м.; m $_1H^1$ = 1,00783 а.е.м.).

174. Вычислить энергию ядерной реакции $_7N^{14} + {}_0n^1 \rightarrow {}_6C^{14} + {}_1H^1$. (m $_7N^1$ ^{4}= 14,00307а.е.м.; m $_0n^1$ =1,00867 а.е.м ; m $_6C^{14}$= 14,00324 а.е.м.; m $_1H^1$= 1,00783 а.е.м.).

175. Определить энергию ядерной реакции $_3Li6 + {}_1H^2 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4$. (m $_3Li^6$ = 6,01513 а.е.м.; m $_1H^2$= 2,01410 а.е.м.; m $_2He^4$ =4 ,00260 а.е.м.).

176. Какую минимальную энергию должен иметь квант для вырывания нейтрона из ядра $_6C^{14}$? Известны массы: m $_6C^{14}$ = 14,00324 а.е.м.; m $_0n^1$= 1,00867 а.е.м.; m $_6C^{13}6$ = 13,00335а.е.м.

177. Какую минимальную энергию необходимо затратить, чтобы разделить $_6C^{12}$ на три равные части.(m $_6C^{12}$= 12,00000 а.е.м.; m $_2He^4$= 4,00260 а.е.м.).

178. Определить энергию ядерной реакции $_{20}Ca^{14} + {}_1H^1 \rightarrow {}_{19}K^{41} + 2He^4$. ($m\ {}_{20}Ca^{4\,4}$= 43,95549 а.е.м.; $m\ {}_1H^1$ = 1,00783 а.е.м.; $m\ {}_2He^4$ = 4,00260 а.е.м.; $m\ {}_{19}K^{41}$= 40,96184 а.е.м.)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

8.1 Основная литература

.

1.	И.Г. Коршунов. Физика. – Екатеринбург: Ид-во УГГУ, 2014. – 341 с.
2.	В.И. Горбатов, В.Ф. Полев. Физика. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ (Ч.1, 2012.-105 с.; Ч.2, 2013.-115 с.; Ч.3.- 2014.-147 с.)
3.	Михайлов В.К. Физика: учебное пособие/ Михайлов В.К.— Электрон. текстовые данные.- М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2013.-120 с.-Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/23753.html - ЭБС «IPRbooks».
4.	Михайлов В.К. Волны. Оптика. Атомная физика. Молекулярная физика: учебное пособие/ Михайлов В.К., Панфилова М.И.-Электрон. текстовые данные.-М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2016.-144 с.-Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/62614.html -ЭБС «IPRbooks».
5.	Трофимова Т.М. Курс физики. Академия, 2010.- 560 с.

Дополнительная литература

1. И..Г. Коршунов. Основы физики.- Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. - 312 с.
2. Ветрова В.Т. Физика. Сборник задач: учебное пособие/ Ветрова В.Т.- Электрон. текстовые данные.- Минск: Вышэйшая школа, 2015.-446 с.- Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/48021.html -ЭБС «IPRbooks».
3. Чакак А.А. Физика. Краткий курс: учебное пособие для студентов очно-заочной формы обучения вузов, слушателей курсов повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов, для студентов факультета дистанционных образовательных технологий/ Чакак А.А., Летута С.Н. Электрон. текстовые данные. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2011.-541 с. - Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/30092.html - ЭБС «IPRbooks».
4. Сарина М.П. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. Часть 1. Механика: учебное пособие/ Сарина М.П.- Электрон. текстовые данные.- Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014.- 187 с.- Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/45392.html - ЭБС «IPRbooks».

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Некоторые физические постоянные

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Скорость света в вакууме	c	$3.00 \cdot 10^{8}$ м/с
Гравитационная постоянная	G	$6.67 \cdot 10^{-11}$ м^3/(кг·с^2)
Число Авогадро	N_A	$6.02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Молярная газовая постоянная	R	8.31 Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k	$1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Атомная единица массы	*1а.е.м.*	$1.660 \cdot 10^{-27}$ кг
Элементарный заряд	e	$1.60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	m_e	$9.11 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса покоя протона	m_p	$1.67 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ε_0	$8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Постоянная Планка	h $\hbar$	$6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж/с $1.05 \cdot 10^{-34}$ Дж/с

Приложение 2

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка			Множитель	Приставка			Множитель
Наименование	Обозначение			Наименование	Обозначение		
	русское	международное			русское	международное	
экса	Э	E	10^{18}	деци	д	d	10^{-1}
пэта	П	P	10^{15}	санти	с	c	10^{-2}
тера	Т	T	10^{12}	милли	м	m	10^{-3}
гига	Г	G	10^{9}	микро	мк	μ	10^{-6}
мега	М	M	10^{6}	нано	н	n	10^{-9}
кило	к	k	10^{3}	пико	п	p	10^{-12}
Гекто	г	h	10^{2}	фемто	ф	f	10^{-15}
Дека	да	da	10^{1}	атто	а	a	10^{-18}
П р и м е ч а н и е: Приставки гекто, дека, деци и санти допускается применять только в наименованиях кратных и дольных единиц, уже получивших широкое распространение (гектар, декалитр, дециметр, сантиметр и др.)							

Приложение 3

Единицы физических величин, имеющие собственные наименования

Величина	Единица	
	Наименование	Обозначение
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	ср
Сила, вес	ньютон	Н
Давление	паскаль	Па
Напряжение (механическое)	паскаль	Па
Модуль упругости	паскаль	Па
Работа, энергия	джоуль	Дж
Мощность	ватт	Вт
Частота колебаний	герц	Гц
Термодинамическая температура	кельвин	К
Разность температур	кельвин	К
Теплота, количество теплоты	джоуль	Дж
Количество вещества	моль	моль
Электрический заряд	кулон	Кл
Сила тока	ампер	А
Потенциал электрического поля, электрическое напряжение	вольт	В
Электрическая емкость	фарад	Ф
Электрическое сопротивление	ом	Ом
Электрическая проводимость	сименс	См
Магнитная индукция	тесла	Тл
Магнитный поток	вебер	Вб
Индуктивность	генри	Гн
Сила света	кандела	кд
Световой поток	люмен	лм
Освещенность	люкс	лк
Поток излучения	ватт	Вт
Поглощенная доза излучения (доза излучения)	грэй	Гр
Активность изотопа	беккерель	Бк

Приложение 4

Внесистемные единицы

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
Масса	тонна атомная единица массы	т а.е.м.	10^3 кг $1.66 \cdot 10^{-27}$ кг
Время	минута час сутки	мин ч сут	60 с 3600 с 86400 с
Плоский угол	градус минута секунда град	…• …′ …″ град	$1.74 \cdot 10^{-2}$ рад $2.91 \cdot 10^{-4}$ рад $4.85 \cdot 10^{-6}$ рад $(\pi/200)$ рад
Объем, вместимость	литр	Л	10^{-3} м^3
Длина	астрономическая единица световой год парсек	а.е. св. год пк	$1.50 \cdot 10^{11}$ м $9.46 \cdot 10^{15}$ м $3.08 \cdot 10^{16}$ м
Оптическая сила	диоптрия	Дптр	1 м$^{-1}$
Площадь	гектар	Га	10^4 м^2
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1.60 \cdot 10^{-19}$ Дж
Полная мощность	вольт-ампер	В·А	
П р и м е ч а н и е: Единицы времени (минуту, час, сутки), плоского угла (градус, минуту, секунду), астрономическую единицу, световой год, диоптрию и атомную единицу массы не допускается применять с приставками.			

Приложение 5

Плотность некоторых твердых тел

Твердое тело	Плотность, г/см^3	Твердое тело	Плотность, г/см^3
Алюминий	2.70	Цезий	1.90
Барий	3.50	Каменная соль	2,2
Ванадий	6.02	Латунь	8,55
Висмут	9.80	Марганец	7,40
Железо (чугун, сталь)	7.88	Платина	21,4
Литий	0.53	Золото	19,3
Медь	8.93	Висмут	9,8◌
Никель	8.90	Уран	18,7
Свинец	11.3	Цинк	7.15
Серебро	10.5	Вольфрам	19,3

Приложение 6

Плотность некоторых жидкостей и газов

Жидкость (при 15° С)	Плотность, г·/см^3	Газ (при нормальных условиях	Плотность, кг/м^3
Вода (дистиллированная при 4°С)	1.00	Водород	0.09
Глицерин	1.26	Воздух	1.29
Керосин	0.8	Гелий	0.18
Ртуть	13.6	Аргон	1,78
Масло (оливковое, смазочное)	0.9	Азот	1,25
Масло касторовое	0.96	Кислород	1.43
Сероуглерод	1.26		
Эфир	0.7		
Спирт	0.80		

Приложение 7

Удельное сопротивление ρ некоторых материалов

Материал	Удельное сопротивление, Ом·м	Материал	Удельное сопротивление, Ом·м
Алюминий	$2{,}53\cdot10^{-8}$	Ртуть	$9{,}6\cdot10^{-7}$
Алюминий провод	$2{,}87\cdot10^{-8}$	Свинец	$2{,}08\cdot10^{-7}$
Бумага	10^{15}	Серебро	$1{,}6\cdot10^{-8}$
Вода дистиллированная	10^{4}	Сталь литая	$1{,}3\cdot10^{-7}$
Вода морская	0,3	Сталь чистая	$1{,}01\cdot10^{-7}$
Вольфрам	$5{,}5\cdot10^{-8}$	Стекло	10^{11}
Графит	$3{,}9\cdot10^{-6}$	Стекло кварцевое	10^{16}
Железо чистое	$9{,}8\cdot10^{-8}$	Угольные щётки	$4\cdot10^{-5}$
Железо	$8{,}7\cdot10^{-8}$	Цинк	$5{,}9\cdot10^{-8}$
Золото	$2{,}2\cdot10^{-8}$	Чугун серый	$1\cdot10^{-6}$
Константан	$5\cdot10^{-7}$	Никель	$8{,}7\cdot10^{-8}$
Масло парафиновое	10^{14}	Нихром	$1{,}12\cdot10^{-6}$
Магний	$4{,}4\cdot10^{-8}$	Олово	$1{,}2\cdot10^{-7}$
Манганин	$4{,}3\cdot10^{-7}$	Платина	$1{,}07\cdot10^{-7}$
Медь	$1{,}72\cdot10^{-8}$	Медь провод	$1{,}78\cdot10^{-8}$

Приложение 8

Диэлектрическая проницаемость некоторых веществ

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Ацетон	21,4	Парафин	2,0
Вакуум	1,0	Парафинированная бумага	2,0
Воздух	1,000594	Полиэтилен	2,2
Вода	81	Слюда	7,0
Вода дистиллированная	31	Спирт этиловый	25,1
Воск	7,8	Спирт метиловый	33,5
Керосин	2,0	Стекло	7,0
Масло	5,0	Фарфор	5,0
Масло трансформаторное	2,2	Эбонит	2,6

Приложение 9

Греческий алфавит

Обозначения букв	Название букв	Обозначения букв	Название букв
A, α	Альфа	N, ν	ню
B, β	Бета	Ξ, ξ	кси
Γ, γ	Гамма	O, o	омикрон
Δ, δ	Дэльта	Π, π	пи
E, ε	Эпсилон	P, ρ	ро
Z, ς	Дзета	Σ, σ	сигма
H, η	Эта	T, τ	тау
Θ, θ	Тэта	Y, υ	ипсилон
J, i	Иота	Φ, φ	фи
K, κ	Каппа	X, χ	хи
Λ, λ	Ламбда	Ψ, ψ	пси
M, μ	Ми	Ω, ω	омега

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания к решению задач и выполнению домашних контрольных работ	3
1. Механика	4
2. Молекулярная физика и термодинамика	7
3. Электричество и магнетизм	10
4. Механические и электромагнитные колебания и волны	12
5. Волновая и квантовая оптика	15
6. Квантовая физика и физика атома	18
7. Элементы ядерной физики	19
Список литературы	23
Приложения	24



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Н. А. Зайцева

КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных и контрольных работ курсов «Химия» и «Неорганическая химия» для студентов всех специальностей

Екатеринбург
2020

З17

Рецензент: Т. И. Красненко, д-р химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории оксидных систем ИХТТ УрО РАН

Зайцева Н. А.
З17 КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ: учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных и контрольных работ курсов «Химия» и «Неорганическая химия» для студентов всех специальностей / Н. А. Зайцева. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. – 35 с.

В учебно-методическом пособии изложены краткие сведения о качественных реакциях в неорганической химии. Пособие содержит необходимые сведения для выполнения лабораторных работ по качественному анализу катионов и решения задач.

Пособие предназначено для студентов всех специальностей.

© Зайцева Н. А., 2017

© Уральский государственный горный университет, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Качественная реакция – химическая реакция, с помощью которой можно определить наличие в растворе того или иного вещества или его фрагмента (катиона, аниона, функциональной группы). Качественная реакция на ионы позволяет обнаружить («открыть») в растворе присутствие соответствующих ионов. При обнаружении открываемого иона обычно фиксируют появление аналитического сигнала — образование осадка, изменение окраски раствора, появление запаха и т. д.

Требования к качественным реакциям

1. Экспрессность (реакция должна протекать быстро).
2. Высокая чувствительность.
3. Селективность или специфичность.
4. Необратимость.

Чувствительность реакции определяется наименьшим количеством искомого вещества, которое может быть обнаружено данным реактивом в капле раствора.

Существенной характеристикой анализа является селективность (избирательность).

По избирательности реагенты можно разделить на три группы:

1. *Специфические реагенты* – реактивы, с помощью которых в данных условиях можно обнаружить только одно вещество (ион),

например: крахмал для обнаружения I_2 (синяя окраска); щёлочь для обнаружения NH^{4+} (запах аммиака).

Специфические реакции – реакции, которые дают возможность открывать одни ионы в присутствии различных других ионов.

2. *Селективные реагенты* – реактивы, с помощью которых в данных условиях можно обнаружить небольшое число веществ. Например, диметилглиоксим в аммиачном буферном растворе реагирует с Fe (II), Co (II), Ni (II), Zr (IV), Th (IV).

3. *Групповые реагенты* – используются в систематическом анализе смеси катионов и взаимодействуют со всеми катионами одной аналитической группы.

Реакции, позволяющие обнаружить искомые ионы в отдельных порциях сложной смеси при условии устранения влияния других ионов, называют **дробными реакциями**, а метод анализа, основанный на применении дробных реакций, называют **дробным анализом.** При этом порядок обнаружения катионов и анионов не имеет особого значения. При **систематическом анализе**, в отличие от дробного, соблюдается определенный порядок разделения и последующего открытия ионов. К обнаружению ионов приступают лишь после удаления из раствора всех других ионов, мешающих открытию. Систематический (групповой) анализ применяют при невозможности использования дробного анализа. На основе растворимости их солей или других соединений ионы делят на аналитические группы, на основании различных классификаций катионов разработаны разные методы систематического анализа катионов.

Методы систематического анализа

1. Сероводородный – основан на разной растворимости сульфидов и хлоридов в зависимости от *pH*-среды.

2. Аммиачно-фосфатный – основан на разной растворимости фосфатов.

3. Кислотно-основной – основан на разной растворимости в кислотах и основаниях гидроксидов и солей (табл. 1).

Таблица 1

Классификация катионов по кислотно-основному методу

Группа	Катионы	Групповой реактив	Характеристика группы
I	Na^+, K^+, NH_4^+	–	Хлориды, сульфаты и гидроксиды растворимы в воде
II	Ag^+, Pb^{2+}, Hg_2^{2+}	2M HCl	Хлориды нерастворимы в воде и разбавленных кислотах
III	Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+}	2M H_2SO_4	Сульфаты нерастворимы в воде, кислотах и щелочах
IV	$A1^{3+}$, Cr^{3+}, Zn^{2+}, $^*As^{3+}$, $^*As^{5+}$, Sn^{2+}, Sn^{4+}	4M NaOH (избыток)	Гидроксиды амфотерны, растворимы в избытке щелочи
V	Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Mg^{2+}, Bi^{3+}, Sb^{3+}, Sb^{5+}	2M NaOH (25 % NH_4OH)	Гидроксиды нерастворимы в избытке щелочи и аммиаке
VI	Cu^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Hg^{2+}, Cd^{2+}	25% NH_4OH (избыток)	Гидроксиды растворимы в избытке аммиака с образованием аммиакатов

$^*As^{3+}$ и As^{5+} гидроксидов не образуют.

Лабораторная работа № 1

КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА КАТИОНЫ ЖЕЛЕЗА

Цель работы: познакомиться с качественными реакциями на катионы железа, определить наиболее подходящие реактивы для открытия Fe^{3+} и Fe^{2+}.

Для получения аналитического сигнала в качественном анализе используют химические реакции разных типов: реакции ионного обмена (осаждение, нейтрализация), окислительно-восстановительные, комплексообразование. Для обнаружения ионов железа возможно использование всех типов реакций.

Реакции ионного обмена в качественном анализе

Опыт 1. Действие щелочей на катионы Fe^{3+} и Fe^{2+}

В две пробирки налейте по 1 мл растворов $FeCl_3$ и $FeSO_4$, добавьте по 1 мл раствора щёлочи в каждую пробирку. Сравните полученные осадки $Fe(OH)_3$ и $Fe(OH)_2$, составьте уравнения обеих реакций. Растворимы ли полученные гидроксиды железа в избытке щёлочи?

Опыт 2. Действие раствора аммиака на катионы Fe^{3+} и Fe^{2+}

В две пробирки налейте по 1 мл растворов солей железа (III) и железа (II), добавьте по 1 мл разбавленного раствора гидроксида аммония в каждую пробирку. Сравните полученные осадки с

осадками из первого опыта. Составьте уравнения реакций. Проверьте действие избытка концентрированного гидроксида аммония на оба осадка: образуют ли ионы железа аммиачные комплексы?

Реакции окисления-восстановления

Опыт 3. Действие окислителей на катионы Fe^{3+} и Fe^{2+}

а) В две пробирки налейте по 1 мл растворов солей Fe^{2+} и Fe^{3+}, добавьте по 2 мл раствора серной кислоты. В обе пробирки прилейте раствор перманганата калия, в какой из них наблюдается обесцвечивание $KMnO_4$? Запишите уравнение реакции, учитывая, что в кислой среде перманганат-ионы восстанавливаются до ионов Mn^{2+}, уравняйте его методом электронно-ионного баланса.

б) В две пробирки налейте по 1 мл растворов солей Fe^{2+} и Fe^{3+}, добавьте по 2 мл раствора серной кислоты. В обе пробирки прилейте раствор бихромата калия, в какой из них наблюдается изменение окраски раствора? Запишите уравнение реакции, учитывая, что бихромат-ионы $Cr_2O_7^{2-}$ восстанавливаются до ионов Cr^{3+}, уравняйте его методом электронно-ионного баланса.

Опыт 4. Действие восстановителей на катионы Fe^{3+} и Fe^{2+}

В две пробирки налейте по 1 мл растворов солей Fe^{2+} и Fe^{3+}, добавьте по 1 мл раствора йодида калия. Какая из солей железа проявила окислительный свойства? Запишите уравнение реакции, расставьте коэффициенты методом электронно-ионного баланса.

Реакции с участием комплексных ионов

Опыт 5. Реакция ионов железа с роданидом аммония

В две пробирки налейте по 1 мл раствора $FeCl_3$ и $FeSO_4$, добавьте по 1 мл раствора роданида аммония NH_4SCN в каждую пробирку. В какой из пробирок наблюдается образование роданида железа красного цвета? Составьте уравнение реакции.

Опыт 6. Реакция ионов железа с реактивом Чугаева

В две пробирки налейте по 1 мл раствора соли железа (III) и железа (II), добавьте по 1 мл раствора аммиака и по 1 капле раствора диметилглиоксима ($C_4H_8N_2O_2$). Для какого иона железа наблюдается образование окрашенного внутрикомплексного соединения с реактивом Чугаева? Составьте уравнение реакции образования диметилглиоксимата железа [Fe $(C_4H_7O_2N_2)_2$].

Опыт 7. Берлинская лазурь и турнбуллева синь

На растворы $FeCl_3$ и $FeSO_4$ подействуйте каплей раствора жёлтой кровяной соли (гексацианоферрата (II) калия). В каком случае наблюдается выпадение синего осадка? Запишите уравнение реакции, предполагая, что выпавший осадок берлинской лазури имеет состав $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$.

На растворы $FeCl_3$ и $FeSO_4$ подействуйте каплей раствора красной кровяной соли (гексацианоферрата (III) калия). В каком случае наблюдается выпадение синего осадка? Запишите уравнение реакции, предполагая, что выпавший осадок турнбуллевой сини

имеет состав Fe_3 [Fe $(CN)_6]_3$. Сделайте вывод, какой кровяной солью можно открыть ион Fe^{2+}, и с помощью какой обнаруживается ион Fe^{3+}.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что произойдет с зеленоватым осадком Fe $(OH)_2$ при добавлении к нему раствора перекиси водорода H_2O_2? Запишите уравнение реакции, уравняйте его методом электронно-ионного баланса.

2. Выпадет ли осадок при смешивании равных объемов растворов $FeCl_3$ и NaOH, если ПР (Fe $(OH)_3$) = $3{,}8 \cdot 10^{-38}$, а концентрации растворов 0,001 моль/л? Выпадет ли осадок при смешивании равных объемов растворов $FeSO_4$ и NaOH, если ПР (Fe $(OH)_2$) = $4{,}8 \cdot 10^{-16}$, а концентрации обоих растворов 0,001 моль/л?

3. Какой объём соляной кислоты с концентрацией 0,01 моль/л требуется для полного растворения осадка Fe $(OH)_3$ массой 0,5 г?

4. Реакция образования окрашенного роданида железа (опыт 3) является обратимой. Запишите выражение для константы равновесия этой реакции. Какими способами, согласно принципу Ле-Шателье, можно сместить равновесие в сторону образования окрашенного продукта?

5. Запишите уравнения реакций первичной и вторичной диссоциации красной и жёлтой кровяных солей. Почему чаще всего именно цианид-ионы используются для маскирования ионов железа в растворах?

6. Подвергаются ли соли железа гидролизу? Запишите уравнения взаимодействия с водой для $FeCl_3$ и $FeSO_4$, определите тип гидролиза и кислотность среды раствора. Какую окраску приобретёт лакмус в этих растворах?

Лабораторная работа № 2

КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА ИОНЫ Co^{2+}, Ni^{2+} и Cu^{2+}

Цель работы: познакомиться с качественными реакциями на ионы **Co^{2+}, Ni^{2+} и Cu^{2+}**, выполняемыми пробирно, капельно, и с использованием экстракции, определить наиболее подходящие реакции для открытия каждого иона.

Предел обнаружения – минимальная концентрация или минимальное количество вещества, которое может быть обнаружено данным методом допустимой погрешностью. Предел обнаружения в значительной степени зависит от условий протекания реакции. Обычно для обнаружения ионов применяют реакции с пределом обнаружения 10^{-7} г (0,1мкг) в 1 мл раствора.

Приемы для обеспечения низкого предела обнаружения

1. *Капельный анализ* – метод микрохимического анализа, в котором качественную реакцию проводят с использованием капли раствора. Реакции выполняют на стеклянной или фарфоровой пластинке, фильтровавальной бумаге (иногда предварительно пропитанной раствором реагента и высушенной). Пределы обнаружения веществ 0,1–0,001 мкг в капле объемом 50 мм^3. Минимальные пределы обнаружения достигаются при выполнении анализа на фильтровальной бумаге.

2. *Микрокристаллоскопический анализ* – метод анализа, основанный на реакциях образования кристаллических осадков с

характерной формой кристаллов, для рассмотрения которых используется микроскоп.

3. *Экстракция* – процесс переведения вещества из водной фазы в органическую, используется для разделения и концентрирования веществ.

4. *Флотация* – процесс разделения мелких твёрдых частиц в водной суспензии или растворе, основанный на их избирательной адсорбции на границах раздела фаз в соответствии с их смачиваемостью, используется для разделения и концентрирования.

5. *Метод «умножающихся реакций»* – ряд последовательных реакций, в результате которых получается новое вещество в количестве, во много раз превышающем первоначальное количество обнаруживаемого вещества.

6. *Каталитические реакции*.

Реакции в пробирке (в растворе)

Опыт 1. Действие щелочей на катионы Co^{2+}, Ni^{2+} и Cu^{2+}

В три пробирки налейте по 1 мл растворов солей Co^{2+}, Ni^{2+} и Cu^{2+}, добавьте по 1 мл разбавленного раствора щёлочи в каждую пробирку. Составьте уравнения реакций образования синего CoOHCl, голубого CuOHCl и зелёного NiOHCl. Подействуйте на каждый полученный осадок избытком концентрированной щёлочи, составьте уравнения реакций образования гидроксидов кобальта (II), никеля (II) и меди (II).

Опыт 2. Действие раствора аммиака на Co^{2+}, Ni^{2+} и Cu^{2+}

В три пробирки налейте по 1 мл растворов солей Co^{2+}, Ni^{2+} и Cu^{2+}, добавьте по 1 мл разбавленного раствора аммиака в каждую пробирку. Сравните полученные осадки с осадками из первого опыта. Составьте уравнения реакций.

Проверьте действие избытка концентрированного гидроксида аммония на полученные осадки, запишите уравнения реакций, учитывая, что в аммиачных комплексах кобальта и никеля координационное число комплексообразователя равно шести, а медь удерживает только четыре лиганда.

Разрушаются ли полученные аммиакаты раствором кислоты?

Опыт 3. Реакции с желтой кровяной солью

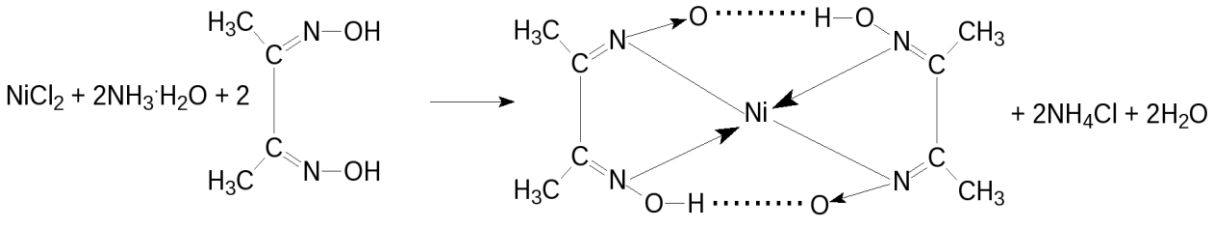
В три пробирки налейте по 1 мл растворов солей Co^{2+}, Ni^{2+} и Cu^{2+}, добавьте по 1 мл разбавленного раствора гексацианоферрата (II) калия в каждую пробирку. Что наблюдается? Составьте уравнения реакций, учитывая, что все осадки получены в результате полного ионного обмена.

Капельные реакции на фильтровальной бумаге

Опыт 4. Реакция катионов Ni^{2+} с реактивом Чугаева

На сухую фильтровальную бумагу поместите несколько капель раствора соли никеля (II), добавьте каплю раствора аммиака и каплю раствора диметилглиоксима $C_4H_8N_2O_2$ (реактив Чугаева). Сравните наблюдаемый аналитический сигнал с реакцией образования

диметилглиоксимата железа (II), выполненной в предыдущей работе. Запишите уравнение реакции



Проведите аналогичную реакцию с растворами меди (II) и кобальта (II). Какой из этих ионов может мешать определению ионов никеля и почему?

Опыт 5. Капельная реакция ионов Co^{2+}с роданидом аммония

Поместите на сухую фильтровальную бумагу несколько капель раствора хлорида кобальта (II), добавьте кристаллы сухой соли NH_4SCN, при необходимости добавьте ещё одну каплю раствора. Как изменилась окраска кристаллов? Составьте уравнение реакции образования комплексного соединения $(NH_4)_2[Co(SCN)_4]$.

Обнаружение катионов с использованием экстракции

Опыт 6. Реакция ионов Co^{2+} с роданидом аммония

Поместите в пробирку несколько капель раствора хлорида кобальта (II), добавьте кристаллы сухой соли тиоцианата (роданида) аммония. Как изменилась окраска раствора?

Чувствительность этой реакции можно повысить с помощью экстракции окрашенного комплекса $(NH_4)_2[Co(SCN)_4]$ органическим растворителем. Добавьте к полученному раствору несколько капель изоамилового спирта, взболтайте. Дождитесь разделения в пробирке водной и спиртовой фаз. Что при этом наблюдается?

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Составьте уравнения реакций первичной и вторичной диссоциаций гексаамминкобальта (II), гексаамминникеля (II), тетраамминмеди (II). Запишите формулы для константы нестойкости.

2. Для открытия ионов Ni^{2+} с помощью диметилглиоксима при реакции на капельной пластинке предел обнаружения Ni^{2+} – 0,16 мкг; в пробирке можно обнаружить 1,4 мкг Ni^{2+} в 1 мл. Предел обнаружения можно уменьшить до 0,015 мкг, если каплю анализируемого раствора нанести на фильтровальную бумагу, пропитанную диметилглиоксимом. Если осадок диметилглиоксимата никеля (II) флотируется на границе раздела фаз «вода – изоамиловый спирт», то предел обнаружения ионов Ni^{2+} понижается до 0,002 мкг. Определите минимальную молярную концентрацию ионов Ni^{2+}, открываемых каждым из способов.

3. Окисление тиосульфат-ионов ионами железа (III) ускоряется в присутствии ионов меди (каталитическая реакция). Время обесцвечивания тиоцианата железа (III) тиосульфатом натрия в отсутствие меди около двух минут. В присутствии ионов Cu^{2+} раствор тиоцианата железа (III) обесцвечивается мгновенно. Предел обнаружения меди – 0,02мкг в 1 мл. Определите минимальную молярную концентрацию ионов Cu^{2+}, соответствующую этому пределу обнаружения.

Лабораторная работа № 3

КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА ИОНЫ $A1^{3+}$, Cr^{3+}, Zn^{2+}

Цель работы: познакомиться с качественными реакциями на ионы **$A1^{3+}$, Cr^{3+}** и **Zn^{2+}**, научиться использовать амфотерность их гидроксидов в химическом анализе, определить наиболее подходящие реакции для открытия каждого иона.

Для проведения каждой качественной реакции необходимо соблюдать определенные условия, основные из которых: *pH*-среды; температура; концентрации реагентов; присутствие определенных веществ; отсутствие мешающих ионов или веществ. Для протекания многих реакций необходима среда с определенным значением *pH* водного раствора. Значение *pH* можно контролировать с помощью индикаторов или прибора *pH*-метра. Для поддержания нужного значения *pH* при необходимости используют соответствующие буферные растворы.

Буферные растворы — это растворы, способные сохранять постоянное значение *pH* при разбавлении водой или добавлении к ним определенного количества сильных кислот или оснований. В состав буферной смеси входят в определенном количественном соотношении слабые кислоты и их соли с сильными основаниями или слабые основания и их соли с сильными кислотами.

Амфотерность гидроксидов алюминия, цинка и хрома (III) позволяет отделять их от остальных катионов действием растворов щелочей различной концентрации.

Опыт 1. Действие щелочей на катионы $A1^{3+}$, Cr^{3+}, Zn^{2+}

В три пробирки налейте по 1 мл растворов хлоридов алюминия, хрома и цинка, добавьте по несколько капель очень разбавленного раствора щёлочи в каждую пробирку до образования нерастворимых гидроксидов. Составьте уравнения реакций. Подействуйте на каждый полученный осадок избытком щёлочи до полного растворения, составьте уравнения реакций образования тетрагидроксоалюмината, тетрагидроксоцинката и гексагидроскохромата натрия.

Опыт 2. Действие раствора аммиака на ионы $A1^{3+}$, Cr^{3+}, Zn^{2+}

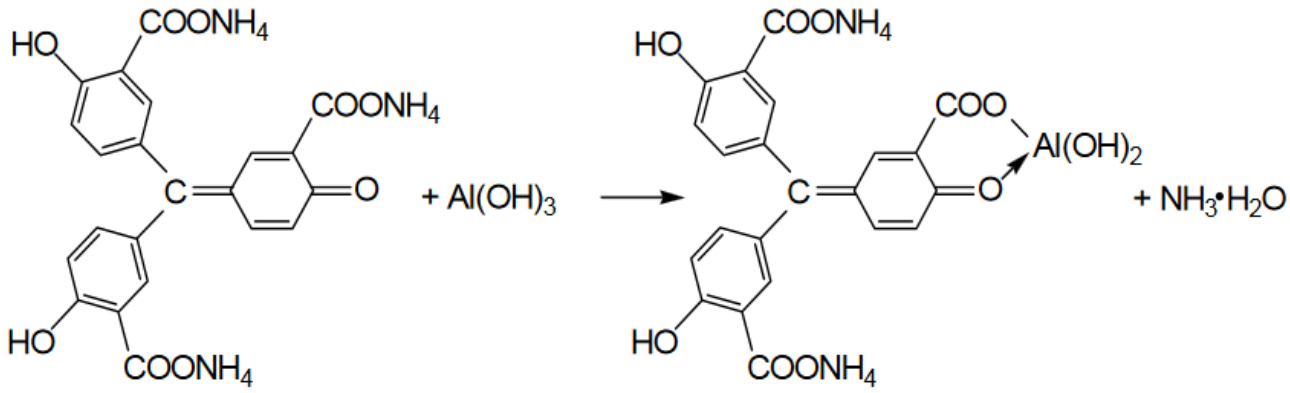
В три пробирки налейте по 1 мл растворов хлоридов алюминия, хрома и цинка, добавьте по 1 мл разбавленного раствора аммиака в каждую пробирку. Сравните полученные осадки с осадками из первого опыта. Составьте уравнения реакций образования соответствующих гидроксидов.

Проверьте действие избытка концентрированного гидроксида аммония на полученные осадки. Какие гидроксиды растворяются частично или полностью? Составьте реакцию комплексообразования, учитывая, что в образующихся аммиакатных комплексах координационное число каждого комплексообразователя вдвое больше, чем модуль его степени окисления.

Опыт 3. Реакция ионов алюминия с алюминоном

В пробирку поместите 3–4 капли раствора соли алюминия, при необходимости 2–3 капли раствора уксусной кислоты и 3–5 капель 0,01 % раствора алюминона ($C_{21}H_{11}O_9$ $(NH_4)_3$). Смесь нагрейте на

водяной бане, добавьте несколько капель раствора аммиака до щелочной реакции и выпадения красного хлопьевидного осадка алюминиевого лака.



Опыт 4. Реакция ионов цинка с желтой кровяной солью

В пробирке к 1 мл раствора $ZnCl_2$ добавьте 1 мл раствора гексацианоферрата (II) калия. Наблюдайте выпадение белого осадка $K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$. Составьте уравнение этой реакции ионного обмена.

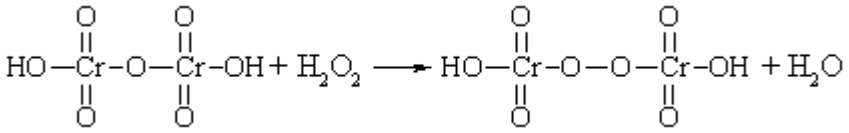
Опыт 5. Восстановительные свойства ионов хрома (III)

В пробирку поместите 2–3 капли раствора соли хрома(III), прибавьте 4–5 капель 2 моль/л раствора щёлочи NaOH до растворения осадка, и 2–3 капли 3 % раствора перекиси водорода H_2O_2. Нагревайте до изменения зеленой окраски раствора на желтую (цвет хромат-ионов CrO_4^{2-}). Составьте уравнение окислительно-восстановительной реакции, расставьте коэффициенты методом электронно-ионного баланса.

Опыт 6. Образование надхромовой кислоты

К жёлтому раствору хромата натрия, полученному в предыдущем опыте, прибавьте 5 капель пероксида водорода H_2O_2, ~0,5 мл изоамилового спирта, тщательно перемешайте и прибавьте по каплям раствор серной кислоты (1 моль/л). Верхний органический слой окрашивается в интенсивно синий цвет за счёт экстракции образовавшейся надхромовой кислоты H_2CrO_6. Запишите уравнение реакции, протекающее через образование дихромовой кислоты и её последующее окисление перекисью водорода:

$$2Na_2CrO_4+2H_2SO_4 \rightarrow H_2Cr_2O_7+2Na_2SO_4+H_2O$$



$$H_2Cr_2O_8 + 3\ H_2O_2 \leftrightarrow 2\ H_2CrO_6 + 2\ H_2O$$

Составьте электронно-ионный баланс для этой реакции.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Составьте уравнения первичной и вторичной диссоциации солей, полученных в первом опыте: тетрагидроксоалюмината, тетрагидроксоцинката и гексагидроскохромата натрия.

2. Напишите выражение константы нестойкости для комплексных ионов тетраамминцинка и гексаамминхрома, полученных во втором опыте.

3. Напишите уравнения диссоциаций хромовой, дихромовой и надхромовой кислот.

Лабораторная работа № 4

РАЗДЕЛЕНИЕ И ОБНАРУЖЕНИЕ КАТИОНОВ Ag^{+}, Pb^{2+}, Hg^{2+} МЕТОДОМ ОСАДОЧНОЙ БУМАЖНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Цель работы: познакомиться с разделением и идентификацией катионов методом бумажной хроматографии

Хроматография – физико–химический метод разделения веществ, основанный на использовании сорбционных процессов в динамических условиях.

Анализируемые компоненты распределяются между подвижной и неподвижной фазами. Неподвижной фазой служит твердое вещество – сорбент. Подвижной фазой является жидкость или газ, протекающий через неподвижную фазу – элюент. Элюент в процессе хроматографирования перемещается вдоль сорбента, так что частицы анализируемых веществ могут многократно переходить из подвижной фазы в неподвижную и наоборот. Разделение веществ с помощью хроматографии основано на различном сродстве разделяемых компонентов к подвижной и неподвижной фазам.

Бумажная хроматография – вид хроматографии, в котором носителем неподвижного растворителя служит очищенная от примесей фильтровальная бумага. Подвижная фаза продвигается вдоль листа бумаги, главным образом за счет капиллярных сил. Бумажная хроматография отличается простотой, экспрессностью, наглядностью разделения, высокой чувствительностью (можно определить 10–20 мкг вещества с точностью 5–7 %).

Опыт 1. Подготовка фильтровальной бумаги

Два фильтра «синяя лента» диаметром 45 мм смочите 5 %-м раствором йодида калия, опуская фильтры в раствор пинцетом. Высушите фильтры на воздухе в чашке Петри.

Опыт 2. Получение первичной осадочной хроматограммы

В центр каждого высушенного фильтра нанесите пипеткой каплю анализируемой смеси катионов Ag^+, Hg^{2+} и Pb^{2+}, после её полного впитывания нанесите еще одну, дайте ей впитаться. Катионы анализируемой смеси вступают в реакцию с KI, которым пропитан фильтр, образуя осадочную хроматограмму, зоны которой имеют цвета осадков AgJ (жёлтый), HgJ_2 (оранжевый), PbJ_2 (ярко-желтый).

Полученные хроматограммы необходимо промыть дистиллированной водой. Для промывания хроматограмм нанесите на фильтры 2–3 капли дистиллированной воды, внося каждую последующую каплю после впитывания предыдущей до увеличения размера зон в два–три раза. Высушите обе осадочные хроматограммы, заполните табл. 1, составьте уравнения реакций образования осадков.

Таблица 1

Первичная хроматограмма смеси катионов Ag^+, Hg^{2+}, Pb^{2+}

Зона адсорбции	Цвет зоны	Ион
1. Первая – хорошая адсорбция (в центре фильтра)		
2. Вторая – средняя адсорбция		
3. Третья – плохая адсорбция (края фильтра)		

Опыт 3. Получение проявленной осадочной хроматограммы

Анализируя первичную хроматограмму, легко определить катионы Hg^{2+} (оранжевая зона в центре) и Pb^{2+} (ярко-желтая зона по периферии). Бледно-желтая окраска AgJ либо видна плохо (из-за маскировки оранжевым HgJ_2 и ярко-желтым PbJ_2), либо не видна совсем. Для того, чтобы явно видеть зону серебра, первичную хроматограмму на одном из фильтров необходимо проявить.

Для проявления хроматограммы внесите в центр фильтра каплю раствора NaOH. При этом йодид свинца растворится в NaOH с образованием бесцветного плюмбита натрия Na_2PbO_2, йодид ртути останется неизменным, бледно-жёлтое пятно йодида серебра постепенно почернеет вследствие превращения гидроксида серебра (I) в оксид серебра (I), который затем разложится до свободного серебра.

Заполните табл. 2, составьте уравнения всех протекающих при проявке первичной хроматограммы реакций.

Таблица 2

Вторичная хроматограмма смеси катионов Ag^+, Hg^{2+}, Pb^{2+}

Зона адсорбции	Цвет зоны	Ион
1. Первая – хорошая адсорбция (в центре фильтра)		
2. Вторая – средняя адсорбция		
3. Третья – плохая адсорбция (край фильтра)		

По результатам работы сделайте вывод об эффективности метода бумажной хроматографии для дробного открытия катионов Ag^+, Hg^{2+}, Pb^{2+} при их совместном присутствии.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие процессы лежат в основе хроматографического анализа?

2. Вычислите ПР йодида свинца (II), если известно, что растворимость его равна 0,03 г на 0,1 кг воды.

3. Выпадет ли осадок при взаимодействии равных объемов растворов $AgNO_3$ и KI, если концентрации обоих растворов 0,001 моль/л, а произведение растворимости йодида серебра ПР (AgI) =$8{,}3 \cdot 10^{-17}$.

4. В избытке йодида калия осадок йодида ртути (II) растворяется без изменения степеней окисления элементов с образованием комплексного соединения тетрайодомеркурата калия. Составьте уравнение этой реакции, а также уравнения первичной и вторичной диссоциаций полученного соединения, запишите выражение для константы нестойкости комплексного иона.

5. Оксид серебра (I) неустойчив на воздухе, поэтому он используется не в чистом виде, а в аммиачном растворе (реактив Толленса). При взаимодействии гидроксида аммония и оксида серебра (I) образуется гидроксид диамминсеребра (I). Составьте уравнение этой реакции, а также уравнения первичной и вторичной диссоциаций полученного соединения, запишите выражение для константы нестойкости комплексного иона.

6. Дайте определения терминам «элюент», «сорбент», «элюат», «подвижная фаза», «неподвижная фаза», «собрция», «десорбция».

Лабораторная работа № 5

ДРОБНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КАТИОНОВ

Цель работы: с помощью качественных реакций определить, какая соль находится в каждой пробирке.

Ход работы

В двенадцати пронумерованных пробирках находятся следующие растворы соли:

Раствор бесцветный	**Раствор может быть окрашенным**
Хлорид аммония	Сульфат меди (II)
Хлорид кальция	Хлорид кобальта (II)
Сульфат марганца (II)	Хлорид никеля (II)
Сульфат железа (II)	Хлорид хрома (III)
Хлорид цинка	Хлорид железа (III)
Хлорид алюминия	
Нитрат свинца (II)	

После получения у преподавателя нескольких пробирок (по вариантам 3–6 шт.,) составьте в тетради таблицу для записи результатов анализа:

Качественный анализ растворов, номер (№) (запишите номера пробирок)

Испытуемый раствор	Добавленный реагент	Наблюдение	Предполагаемый состав	Вывод
Опыт № 1 «Открытие окрашенных ионов»				
№ 13	отсуствует	Раствор розовый	Ионы Co^{2+}	
№ 13	NaOH	Выпал синий осадок, при добавлении избытка щёлочи стал розовым	CoOHCl $Co(OH)_2$	В пробирке был $CoCl_2$
Опыт № 2 «Действие щелочей»				
№ 14				

Опыт 1. Открытие окрашенных ионов

Опишите внешний вид растворов, сделайте предположения, какие растворы могут быть в каждой из пробирок, занесите их в таблицу. Наиболее вероятные предположения (для окрашенных растворов) проверьте с помощью соответствующих качественных реакций, взяв для анализа небольшую порцию испытуемого раствора. Составьте уравнения реакций, сделайте выводы.

Опыт 2. Действие щелочей на испытуемые растворы

Взяв пробы оставшихся исследуемых растворов (по 0,5 мл), подействуйте на них разбавленным раствором щёлочи, добавляя его по каплям. Занесите в таблицу аналитический сигнал: выделился запах аммиака, выпал неизменяющийся осадок, выпал осадок, растворимый в избытке щёлочи или темнеющий на воздухе. Обратите внимание, что гидроксид свинца $Pb(OH)_2$ проявляет амфотерные свойства, растворяясь в избытке щелочи с образованием плюмбита Na_2PbO_2, а светло-бежевый гидроксид марганца $Mn(OH)_2$ постепенно окисляется кислородом воздуха, что выглядит как потемнение раствора на границе с воздухом:

$$2\ Mn(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2\ MnO_2\downarrow + 2\ H_2O.$$

Эту реакцию можно сделать более наглядной, ускорив процесс окисления с помощью перекиси водорода:

$$Mn(OH)_2 + H_2O_2 \rightarrow MnO_2\downarrow + 2\ H_2O.$$

Сделайте предположения о том, какие катионы находятся в пробирках. Проверьте предположения с помощью качественных реакций, для ионов Mn^{2+} кроме реакции с H_2O_2 можно использовать

ОВР с окислением марганца до розовых перманганат-ионов висмутатом натрия в сильнокислой среде:

$$2MnSO_4+5NaBiO_3+16HNO_3 \rightarrow$$

$$2HMnO_4+5Bi(NO_3)_3+NaNO_3+2Na_2SO_4+7H_2O.$$

Сделайте выводы, запишите уравнения выполненных реакций.

Опыт 3. Действие раствора аммиака на испытуемые пробы

Взяв пробы оставшихся исследуемых растворов (по 0,5 мл), подействуйте на них разбавленным раствором аммиака. Занесите в таблицу аналитический сигнал. Сделайте предположения о том, какие катионы находятся в пробирках. Проверьте предположения с помощью качественных реакций. Сделайте выводы, запишите уравнения выполненных реакций.

Опыт 4. Открытие неокрашенных ионов

Взяв пробы оставшихся исследуемых растворов (по 0,5 мл), проведите качественный анализ на катионы, которые остались не открытыми. Сделайте выводы, запишите уравнения выполненных реакций.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ «КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ»

1. Две соли окрашивают пламя в фиолетовый цвет. Одна из них бесцветна, и при лёгком нагревании её с концентрированной серной кислотой отгоняется жидкость, в которой растворяется медь; последнее превращение сопровождается выделением бурого газа. При добавлении к раствору второй соли раствора серной кислоты жёлтая окраска раствора изменяется на оранжевую, а при нейтрализации полученного раствора щёлочью восстанавливается первоначальный цвет. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

2. В двух сосудах находятся растворы неизвестных веществ. При добавлении к раствору первого вещества хлорида бария выпадает осадок белого цвета, нерастворимый в воде и кислотах. Осадок белого цвета выпадает также и при добавлении раствора нитрата серебра к пробе, отобранной из второго сосуда. При нагревании пробы первого раствора с гидроксидом натрия выделяется газ с резким запахом. При взаимодействии второго раствора с хроматом натрия выпадает осадок жёлтого цвета. Напишите уравнения описанных реакций.

3. Действием концентрированной серной кислоты на белые кристаллы при нагревании получен газ. При пропускании этого газа через раствор нитрата серебра выпал белый творожистый осадок. Кристаллы окрашивают пламя спиртовки в жёлтый цвет. Какая соль была взята для реакции? Приведите её формулу и название. Запишите уравнения реакций, описанных в тексте.

4. Порошкообразное вещество белого цвета окрашивает пламя горелки в оранжево-красный цвет. При действии соляной кислоты «вскипает» с выделением тяжёлого газа без цвета и запаха. Это вещество способно растворяться в воде при одновременном пропускании избытка углекислого газа. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

5. Некоторое кристаллическое вещество, окрашивающее пламя в жёлтый цвет, хорошо растворяется в воде. При добавлении к этому раствору нитрата серебра выпадает жёлтый осадок, не растворимый в разбавленной азотной кислоте. При действии на исходный раствор бромной воды образуется коричневое окрашивание. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

6. Для определения качественного состава белый, нерастворимый в воде порошок с зеленоватым оттенком подвергли

термическому разложению, в результате которого образовалось два оксида. Один из них — порошок чёрного цвета, при добавлении к которому раствора серной кислоты и последующем нагревании образовался раствор голубого цвета. Про другой известно, что это газ тяжелее воздуха, без цвета и запаха, играющий важную роль в процессе фотосинтеза. Запишите химическую формулу и название вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе исследования.

7. Для проведения исследования бесцветные кристаллы соли, которые при непродолжительном нахождении на воздухе приобрели голубой цвет, нагрели до выделение бурого газа и образование чёрного порошка. При пропускании над нагретым полученным порошком водорода наблюдалось появление красного налёта простого вещества — металла. Известно, что металл, образующий катион, входит в состав многих сплавов, например бронзы. Запишите химическую формулу и название исследованной соли. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе исследования его свойств.

8. Для изучения состава соли был взят раствор, который разделили на две части. К первой части этого раствора добавили хлорид натрия, в результате чего выпал белый осадок. При добавлении ко второй части раствора цинковой стружки образовались серые хлопья металла, катионы которого обладают дезинфицирующим свойством. Известно, что выданная соль

используется для изготовления зеркал и в фотографии, а её анион является составной частью многих минеральных удобрений. Запишите химическую формулу и название вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе исследования.

9. Для изучения состава соли были взяты белые кристаллы хорошо растворимого в воде вещества, которое используется в хлебопечении и кондитерской промышленности в качестве разрыхлителя теста. В результате процесса термического разложения выданной соли образовались три вещества, два из которых при обычных условиях являются газами. При нагревании соли с гидроксидом натрия образуется газ, водный раствор которого используется в медицине под названием нашатырный спирт. Запишите химическую формулу и название вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе исследования.

10. Для установления качественного состава была изучена соль тяжёлого металла, оксид которого используется в производстве хрустального стекла. При термическом разложении соли образуется оксид этого металла и два газообразных вещества: одно из них — газ бурого цвета, а другое — важнейший компонент воздуха. При приливании к раствору выданной соли раствора йодида калия выпадает осадок ярко-жёлтого цвета. Запишите

химическую формулу и название вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе исследования.

11. Для определения качественного состава неизвестной соли азотной кислоты исследовали белое кристаллическое вещество. Это вещество при нагревании полностью разлагается без образования сухого остатка. При действии горячего раствора гидроксида натрия выделяется бесцветный газ с резким запахом, вызывающий посинение лакмусовой бумаги. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

12. В химической лаборатории хранится склянка с кристаллическим веществом белого цвета. При действии на него гидроксида натрия выделяется лёгкий, бесцветный газ с резким запахом, вызывающий посинение лакмусовой бумаги. При действии на него сильной кислоты выделяется бесцветный газ без запаха, вызывающий покраснение раствора лакмуса. При приливании к раствору этого вещества раствора гидроксида кальция выделяется нерастворимый в воде осадок. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

13. Кристаллическое вещество оранжевого цвета при нагревании значительно увеличивается в объёме за счёт выделения бесцветного газа и образует твёрдое вещество тёмно-зелёного

цвета. Выделившийся газ взаимодействует с литием даже при комнатной температуре. Продукт этой реакции гидролизуется водой с образованием газа с резким запахом, способного восстановить медь из её оксида. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

14. Для исследования свойств неизвестного вещества его концентрированный раствор разделили на две части. В пробирку с одной частью раствора поместили медную проволоку. При этом наблюдалось выделение бурого газа и растворение меди. При добавлении к другой части раствора силиката натрия наблюдалось образование бесцветного студенистого осадка. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

15. Для определения качественного состава неизвестной соли исследовали раствор голубого цвета. При добавлении горячего раствора сильной кислоты выделился газ с резким запахом жжёной резины, окрашивающий лакмус в красный цвет. При добавлении раствора аммиака сначала выпал голубой осадок, который затем растворился в избытке аммиака с образованием фиолетового раствора. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

16. Для определения качественного состава неизвестной соли исследовали её раствор желтоватого цвета. При добавлении раствора сильной кислоты появился резкий запах уксуса. При добавлении роданида аммония раствор приобрёл кроваво-красную окраску. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

17. Для определения качественного состава неизвестной соли исследовали её бесцветный раствор. При добавлении раствора разбавленной серной кислоты выделился газ с запахом тухлых яиц и выпал белый осадок, не растворимый в кислотах. При взаимодействии порции исходного раствора с хроматом натрия выпадает осадок жёлтого цвета. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

18. Для определения качественного состава было выдано кристаллическое вещество — средняя соль многоосновной кислоты, катион которой не является ионом металла. При взаимодействии данного вещества с гидроксидом натрия выделяется газ с резким раздражающим запахом, а при приливании к раствору выданного вещества раствора нитрата серебра выпадает осадок жёлтого цвета. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

19. Для определения качественного состава студентам было выдано бесцветное кристаллическое вещество — соль. К одной части раствора исследуемой соли прилили раствор нитрата серебра, в результате чего выпал осадок жёлтого цвета. А при добавлении к другой части раствора карбоната натрия выпал белый осадок. Известно, что катион этой соли образован щёлочно-земельным металлом, входящим в состав костной ткани человека. Анион этой соли состоит из атомов химического элемента, образующего простое вещество, спиртовой раствор которого используется в качестве дезинфицирующего средства. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

20. При определении качественного состава неизвестного кристаллического вещества белого цвета было установлено, что его раствор взаимодействует с раствором гидроксида калия с образованием осадка. А при добавлении к раствору исследуемого вещества раствора нитрата бария выпадает осадок белого цвета, не растворимый в кислотах. Известно, что катион металла, входящий в состав данного соединения, входит в состав хлорофилла. Этот металл ранее применялся также в фотографии для получения вспышки. Запишите формулу и название этого вещества. Составьте уравнения реакций, которые были проведены в процессе его распознавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев В. Н. Качественный химический полумикроанализ. М.: Химия. 1973. 584 с.

Глинка Н. Л. Общая химия: учебник / под ред. В. А. Попкова, А. В. Бабкова. 18-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во «Юрайт»; ИД «Юрайт», 2011. 886 с.

Гринвуд Н., Эршно А. Химия элементов (в 2 томах): учебник. Изд-во «Бином. Лаборатория знаний», 2015. 1280 с.

Карапетьянц М. Х., Дракин С. И. Общая и неорганическая химия: учебник. 5-е изд. Изд-во Книжный дом «Либроком» 2015. 592 с.

Крешков А. П. Основы аналитической химии. Ч. 1. Теоретические основы. Качественный анализ. М.: Химия. 1970. 460 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..……..…...3
Лабораторная работа № 1. КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА КАТИОНЫ ЖЕЛЕЗА.....6
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ…….……9
Лабораторная работа № 2. КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА ИОНЫ Co^{2+}, Ni^{2+} И Cu^{2+}…….....…….……10
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ……...…14
Лабораторная работа № 3. КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ НА ИОНЫ $A1^{3+}$, Cr^{3+}, Zn^{2+}…….…..…15
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ……...…18
Лабораторная работа № 4. РАЗДЕЛЕНИЕ И ОБНАРУЖЕНИЕ КАТИОНОВ Ag^{+}, Pb^{2+}, Hg^{2+} МЕТОДОМ ОСАДОЧНОЙ БУМАЖНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ……..…..…..…19
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ……...…22
Лабораторная работа № 5. ДРОБНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КАТИОНОВ…….…….....23
ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ «КАЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКЦИИ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ»……...…….…..26
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ…….…….……...34

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Ушаров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ ПО КУРСУ «ХИМИЯ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВСЕХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ЧАСТЬ 1

Составили: Н.Б. Смирнова, доц., канд. хим.наук
В.М. Сахарова, доц., канд. техн. наук

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Введение ……..….. 4
Общие правила работы в химической лаборатории ……..…… 7
Правила техники безопасности при работе с химическими реактивами ……. 7
Оказание первой медицинской помощи ……. 8
Оформление лабораторного журнала ……. 8
1. Периодичность изменения свойств оксидов и гидроксидов …….. 9
1.1. Экспериментальная часть ……. 11
1.2. Контрольные вопросы и задания ……. 12
2. Химическая кинетика …… 14
2.1. Экспериментальная часть …….. 16
2.2. Контрольные вопросы и задания …….. 18
3. Химическое равновесие …… 19
3.1. Экспериментальная часть ……. 20
3.2. Контрольные вопросы и задания ……. 21
4. Ионные равновесия в растворах электролитов ……..… 23
4.1. Экспериментальная часть …… 25
4.2. Контрольные вопросы и задания …… 26
5. Реакции ионного обмена …… 27
5.1. Экспериментальная часть …… 29
5.2. Контрольные вопросы и задания …… 31
6. Гидролиз солей …… 32
6.1. Экспериментальная часть …… 34
6.2. Контрольные вопросы и задания …… 35
Список литературы ……. 37

ВВЕДЕНИЕ

Горные инженеры, геологи и геофизики сталкиваются с самыми разнообразными явлениями природы, химическими по своей сущности: быстрой выветриваемостью, окисляемостью, различной смачиваемостью горных пород, с особенностями воздушной среды под землей, с обводненностью горных выработок, агрессивностью рудничных вод. Поэтому им требуются более глубокие знания по химии, чем любому другому специалисту. Инженеры горнодобывающей отрасли способны справиться с современными задачами горно-металлургической и горно-химической промышленности только зная весь путь от разведки полезного ископаемого до его переработки. Физико-химическая некомпетентность горных инженеров и геологов является причиной недостатков в развитии горной науки, техники и технологии, бедственного экологического положения горных предприятий.

Роль химии в подготовке инженеров непрерывно возрастает в связи с необходимостью решения задач по снижению уровня потерь полезных компонентов и увеличению комплексности использования руд, рациональному применению вскрышных пород, очистке и использованию шахтных вод и сточных вод обогатительных фабрик, защите от коррозии бурового и горнодобывающего оборудования, заблаговременной дегазации угольных месторождений, применению физико-химических методов упрочнения грунтов, геотехнологическим методам добычи полезных ископаемых.

В горном деле широко применяются химические материалы: химические растворы при бурении и тампонаже скважин, взрывчатые вещества при отбойке угля, руды и породы, химические добавки, препятствующие распыление угля и налипанию льда на конвейерную ленту, материалы для покрытия из пены, предохраняющей от промерзания участка разработки, компоненты для отвердевания закладочных смесей, огнетушащие составы, синтетические смолы для укрепления горных пород, реагенты для флотации и обогащения руд и большой ассортимент таких обычных химикатов как горючие и смазочные материалы, цемент, стекло, керамика, гидро-, термо- и электроизоляционные материалы, лаки, краски, пластмассы, резина.

Еще благодаря усилиям Д.И. Менделеева, химию, как одну из фундаментальных дисциплин, стали преподавать во всех высших школах России. Химия вместе с физикой и математикой составляет основу профессиональной подготовки специалистов высокой квалификации.

Будущие специалисты должны получить такой комплекс знаний по химии, который составит базу для успешного освоения последующих дисциплин и правильного использования материалов, применяемых в технике.

Теоретические разделы химии, такие как строение электронных оболочек атомов, основные виды химических связей, химическая кинетика и равновесие, окислительно-восстановительные потенциалы, водородный показатель, произведение растворимости, свойства комплексных соединений, позволяет правильно ориентироваться в вопросах, связанных непосредственно со свойствами и превращениями минералов и горных пород.

Горные породы и руды состоят из минералов. К минералам относят природные химические соединения. Неорганические минералы подразделяются на минеральные типы, названия которым присваиваются согласно классификации неорганических веществ и их номенклатуре. По химическому составу минералы подразделяют на:

а) простые вещества (металлы, неметаллы),

б) карбиды, нитриды, фосфиды, сульфиды, арсениды, селениды, оксиды, гидроксиды, галогениды и др.,

в) соли кислородержащих кислот (силикаты, фосфаты, арсенаты, ванадаты, бораты, карбонаты, сульфаты, нитраты, вольфраматы, молибдаты, хроматы, иодаты и др.).

Основа химической н о м е н к л а т у р ы - русские названия химических элементов, приведенные в периодической системе Д.И. Менделеева, которые не всегда совпадают с латинскими названиями, например, гидрогениум - водород, оксигениум - кислород.

К неметаллам относят:

He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn, F, Cl, Br, J, At, O, S, Se, Te, N, P, As, C, Si, B, H, остальные элементы - металлы.

Названия простых веществ состоят их одного слова - наименования химического элемента с числовой приставкой, например: O_3 - трикислород, P_4 - тетрафосфор, S_8 - октасера.

Используют также числовые приставки:

1 - моно	7 - гепта
2 - ди	8 - окта
3 - три	9 - нона
4 - тетра	10 - дека
5 - пента	11 - ундека
6 - гекса	12 - додека

В химических формулах сложных вещество на первом месте (слева) всегда записывают формульные обозначения электроположительных составляющих, а за ними указывают формульные обозначения электроотрицательных составляющих. Например, PCl_3.

Названия сложных веществ составляются по их химических формулам справа налево. Они складываются из двух слов - названий электроотрицательных составляющих (условных или реальных катионов) в именительном падеже и электроположительных составляющих (условных или реальных катионов) в родительном падеже, например: PCl_3 - трихлорид фосфора, CO - монооксид углерода.

Названия одноэлементных анионов оканчивается на -ид, а названия многоэлементных анионов - на -ат.

Для построения названий сложных веществ используются корни (иногда усеченные) русских названий элементов, например, бериллий - бериллат, молибден - молибдат, фосфор - фосфид и фосфат. Традиционно применяются корни латинских названий для элементов: серебро, мышьяк, золото, углерод, медь, железо, ртуть, марганец, азот, никель, свинец, сера, сурьма, кремний, олово:

Ag - аргентат	N - нитрид, нитрат
As - арседид, арсенат	Ni - николат
Au – аурат	Pb - плюмбат
C - карбид, карбонат	S - сульфид, сульфат
Cu - купрат	Sb - стибид (антимонид), стибат
Fe - феррат	Si - силицид, силикат
Hg – меркурат	Sn - станнат
Mn - манганат	

В названиях сложных веществ употребляются как числовые приставки, так и степени окисления катиона (обычно металлического) при точно известном заряде аниона, например, P_4O_{10} - декаоксид тетрафосфора, V_2O_5 - оксид ванадия (V), $Bi(OH)_3$ - гидроксид висмута (III).

Названия кислот и кислотных остатков приводятся в учебном пособии [1]. Названия кислотных остатков используют построении названий солей. Соли - продукты реакций нейтрализации. Соли, содержащие кислотные остатки с незамещенными атомами водорода, - к и с л ы е соли. Соли, содержащие гидроксид-ионы, называют о с н о в н ы м и солями.

$Ca(H_2PO_4)_2$ - дигидрофосфат кальция

$KHSO_4$ - гидросульфат калия

$FeOH(NO_3)_2$ - гидроксонитрат железа (III)

$(CaOH)_2SO_4$ - гидроксосульфат кобальта (II)

$Cu_2CO_3(OH)_2$ - дигидроксид-карбонат димеди

Если соли содержат два разных катиона, то их называют д в о й н ы м и.

$KAl(SO_4)_2$ - сульфат алюминия-калия

$CaMg(CO_3)_2$ - карбонат магния-кальция

ОБЩИЕ ПРАВИЛА РАБОТЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Прежде чем приступить к работе по данной теме, следует изучить ее по описанию, уяснить цель задания и план его выполнения.

Не загромождайте рабочее место портфелями, свертками, сумками, перчатками и т.п. Для них отведены специальные этажерки. На рабочем столе должны находиться только необходимые приборы и лабораторный журнал.

Работайте тщательно, аккуратно, без лишней торопливости, соблюдайте в лаборатории тишину.

Внимательно наблюдайте за ходом опыта, отмечая и записывая каждую его особенность.

Категорически запрещается в лаборатории принимать пищу, пробовать химические вещества на вкус.

Без указания преподавателя не проводите никаких дополнительных опытов.

После окончания работы вымойте использованную посуду, выключите воду, электрические приборы и приведите в порядок рабочее место.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ХИМИЧЕСКИМИ РЕАКТИВАМИ

Для выполнения работ в лаборатории имеется определенный набор химических реактивов, часть которых размещается на лабораторных столах (водные растворы солей), а остальные - концентрированные и разбавленные кислоты и щелочи, сухие соли, дурно пахнущие вещества - в вытяжных шкафах.

При использовании реактивов следует соблюдать следующие правила:

1. Не разрешается уносить реактивы из вытяжного шкафа на рабочее

место.

2. Сухие реактивы набирают чистым шпателем или ложечкой.

3. Для проведения опыта в пробирке брать сухое вещество в количестве, закрывающем дно пробирки, а раствора - не более 1/6 ее объема.

4. Избыток реактива нельзя высыпать (выливать) обратно в те склянки, из которых они были взяты.

5. Не следует путать пробирки от разных склянок. Крышки и пробки кладут на стол поверхностью, не соприкасающейся с реактивом.

6. При нагревании растворов в пробирке держать ее таким образом, чтобы отверстие пробирки было направлено в сторону от работающего и его соседей по рабочему месту.

7. При разбавлении концентрированных кислот вливать кислоту в воду, а не наоборот.

8. Остатки растворов, содержащих кусочки металлов, собирают в специальные склянки, находящиеся в вытяжных шкафах.

ОКАЗАНИЕ ПЕРВОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ

При порезах стеклом удаляют осколки из раны, смазывают края раны раствором йода и перевязывают бинтом.

При ожоге горячей жидкостью или горячим предметом обожженное место обрабатывают раствором перманганата калия, накладывают мазь от ожога.

При ожогах кислотами сразу промывают обожженное место большим количеством воды, а затем 3%-ным раствором гидрокарбоната натрия.

При ожогах едкими щелочами хорошо и обильно промыть обожженное место проточной водой, затем разбавленным раствором уксусной кислоты и опять водой.

При попадании кислоты или щелочи в глаза немедленно промыть глаза в течение трех минут большим количеством воды, а затем раствором гидрокарбоната натрия или борной кислоты.

ОФОРМЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО ЖУРНАЛА

Каждый студент должен иметь лабораторный журнал - отдельную тетрадь для записей.

В лабораторном журнале студент выполняет отчеты по лаборатор-

ным работам, домашние задания, решает задачи, отвечает на контрольные вопросы.

Все наблюдения и выводы по экспериментальной работе студент заносит в лабораторный журнал непосредственно после выполнения опыта.

Отчеты по выполненным лабораторным работам должны содержать:

1) название лабораторной работы,
2) названия всех проделанных опытов,
3) после названия опыта записывается уравнение проделанной реакции, в котором указываются осадки (↓) и их окраска, газы (↑), изменения окраски растворов,
4) задания, указанные в методическом руководстве,
5) выводы по каждому опыту и общий вывод по работе.

1. ПЕРИОДИЧНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ОКСИДОВ И ГИДРОКСИДОВ

Цель работы - изучение изменения кислотно-основных свойств гидроксидов в периодах и группах периодической системы Д.И. Менделеева.

Периодическая система Д.И. Менделеева - естественная система химических элементов, созданная на основе периодического закона.

Положение элемента в периодической системе определяет физико-химические свойства соответствующих им простых веществ и химических соединений.

Периодичность свойств химических соединений удобно проследить на примере оксидов и гидроксидов. Оксиды и гидроксиды относятся к основным породообразующим минералам, они широко распространены и составляют 17% от массы земной коры.

В табл.1.1. приведены наиболее часто встречающиеся реакции взаимодействия оксидов и гидроксидов с водой.

Кислотно-основные свойства соединений можно объяснить на основе электростатических представлений. Ослабление основных и усиление кислотных свойств гидроксидов связано с изменением поляризующего действия элемента, образующего гидроксид, на группу OH^-. Поляризующее действие катиона сильно зависит от его строения и может быть охарактеризовано следующими закономерностями:

1) Поляризующее действие иона очень быстро возрастает с увеличением его заряда;

Таблица 1.1

Кислотно-основные реакции оксидов и гидроксидов

Тип оксида (гидроксида)	Типичная реакция
Сильно - кислый	$SO_{3(г)} + H_2O = SO_4^{2-}(р) + 2H^+(р)$
Слабо - кислый	$CO_2 + H_2O \Leftrightarrow HCO_3^-(р) + H^+(р)$
Амфотерный	$Zn(OH)_{2(к)} \Rightarrow \left\vert \begin{array}{l} \xrightarrow{H^+(р)} \quad Zn^{2+}(р) + H_2O \\ \xrightarrow{OH^-(р)} \quad [Zn(OH)_4]^{2-}(р) \end{array} \right.$
Слабо - основной	$Fe(OH)_{2(к)} \Leftrightarrow FeOH^+(р) + OH^-(р)$
Сильно - основной	$Li_2O_3 + H_2O = 2Li^+(р) + 2OH^-(р)$

2) большое значение имеет строение внешней электронной оболочки, по этому признаку катионы разделяются на ионы с незаконченным внешним слоем, переходным от 8-электронного и 18-электронному (Mg^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}) и ионы с 18-электронным внешним слоем (Zn^{2+}, Ag^+);

3) при сходном строении внешней электронной оболочки и равном заряде поляризующее действие иона возрастает по мере уменьшения его радиуса.

Итак, ослабление основных и усиление кислотных свойств гидрооки-сей связано с увеличением поляризующего действия катиона, т.е. с убыванием его радиуса и возрастанием положительной степени окисления, а также с увеличением числа внешних электронов. Например, если катион имеет малый заряд сравнительно большой радиус, его электростатическое притяжение к группе OH^- невелико и OH^- выступает в гидроксиде как единое целое. Поэтому типичными основаниями являются гидроксиды элементов, находящихся в главных подгруппах I и II групп периодической системы (KOH, NaOH), а также NH_4OH.

По мере увеличения поляризующего действия катиона возрастает ковалентность связей элемент-кислород и усиливается ионный характер связей O ― H. Основные свойства гидроксидов ослабляются и появляются кислотные свойства. Из элементов II группы бериллий и цинк дают амфо-

дают атмосферные гидроксиды, в (III) группе амфотерны гидроксиды алюминия, галлия, индия. Амфотерность характерна для большинства элементов четвертой группы периодической системы.

Когда катион имеет большой положительный заряд и малый радиус (что типично для неметаллов), усиление его поляризующего действия приводит к тому, что водород становится подвижным и преобладает диссоциация по кислотному типу. Среди элементов третьей группы гидроксид бора - типичная кислота. В четвертой группе кислотами являются гидроксиды углерода и кремния, однако, эти кислоты еще очень слабые. Гидроксиды многих элементов с максимальной степенью окисления пятой, шестой, седьмой групп - сильные кислоты.

Способность веществ к взаимодействию определяется изменением изобарно-изотермического потенциала (ΔG) химической реакции. Чем меньше алгебраическая величина энергии Гиббса химического процесса, тем больше вероятность ее протекания в данном направлении.

$2Al(OH)_{3(к)} + Na_2O_{(к)} = 2NaAlO_{2(к)} + 3H_2O$; ΔG^0_{298} = - 153 кДж/моль

$2H_3BO_{3(к)} + Na_2O_{(к)} = 2NaBO_{2(к)} + 3H_2O$; ΔG^0_{298} = - 277 кДж/моль

Увеличение отрицательного значения ΔG^0_{298} свидетельствует об усилении кислотных свойств гидроксида бора H_3BO_3.

1.1. Экспериментальная часть

ОПЫТ 1. Гидроксиды магния и кальция

Поместите в пробирку небольшое количество оксида магния или кальция и прибавьте 5 мл воды. Взболтайте содержимое пробирки и испытайте реакцию среды 1-2 каплями фенолфталеина. Составьте уравнение реакции взаимодействия оксида с водой. Сделайте вывод о характере гидроксида.

ОПЫТ 2. Получение и свойства гидроксида алюминия

В пробирку налейте 2 мл раствора соли алюминия и прибавьте примерно такой же объем раствора гидроксида аммония. Содержимое пробирки распределите в две пробирки. В одну из пробирок при взбалтывании прилейте по каплям разбавленный раствор серной кислоты до полного рас-

творения осадка. Во вторую пробирку прилейте разбавленный раствор гидроксида натрия также до полного растворения осадка. Составить уравнение реакций. Сделайте вывод о характере гидроксида алюминия.

ОПЫТ 3. Двуокись углерода

Налейте в пробирку несколько мл воды и прибавьте 1-2 капли индикатора. Пропустите из аппарата Киппа в воду двуокись углерода до изменения окраски индикатора. Составьте уравнение реакции. Сделайте вывод о характере гидроксида.

ОПЫТ 4. Гидроксид кремния

В пробирку поместите раствор силиката натрия и пропустите через него углекислый газ из аппарата Киппа, при этом наблюдайте образование осадка гидроксида кремния. Напишите уравнение реакции. Сделайте вывод о кислотно-основном характере гидроксида кремния.

ОПЫТ 5. Оксид фосфора (V)

В пробирку поместите немного фосфорного ангидрида и добавьте несколько мл воды. Наблюдайте растворение, встряхивая пробирку. Испытайте реакцию среды индикаторами. Составьте уравнение реакции. Сделайте вывод о характере гидроксида.

ОПЫТ 6. Гидроксиды олова (II) и свинца (II)

а) Налейте в пробирку 2 мл раствора хлорида олова. Добавьте по каплям разбавленный раствор щелочи до образования осадка. Содержимое пробирки разделите на две части. Подействовать на одну концентрированным раствором щелочи, а на другую - соляной кислотой. Составьте уравнения реакций. Сделайте вывод о характере гидроксида олова.

б) Такой же опыт проделать с раствором соли азотнокислого свинца. На полученный гидроксид свинца подействовать азотной кислотой и щелочью. Почему для растворения гидроокиси свинца нельзя воспользоваться соляной или серной кислотами? Составьте уравнения реакций. Сделайте вывод о характере гидроксида свинца.

1.2. Контрольные вопросы и задания

1. Сравнив результаты опытов, сделайте вывод, как изменяется характер гидроксидов элементов: Mg, Al, Si, P в третьем периоде слева

направо. Чем объясняется это изменение характера гидроксидов? Как оно связано с изменением металлических свойств элементов?

2. По результатам опытов сделайте вывод об изменении кислотно-основных свойств гидроксидов элементов: C, Si, Sn, Pb в главных подгруппах сверху вниз. Как увязать такое изменение характера гидроксидов с возрастанием порядкового номера элемента и изменением металлических свойств элементов?

3. Запишите кислородные соединения марганца со степенями окисления II, IV, VI, VII и покажите, как с увеличением степени окисления изменяется характер оксидов и соответствующих им гидроксидов.

4. Укажите, какая из сравниваемых двух кислот H_2SO_3 или H_2SO_4 является более сильной и как объяснить такое явление.

5. Какой из галогенов имеет наибольшее сродство к натрию, если энергия Гиббса для галогенидов натрия имеет следующую величину (кДж/моль): ΔG^0_{298} NaJ = - 237.2,

ΔG^0_{298} NaBr = -347.7,

ΔG^0_{298} NaCl = -384.0,

ΔG^0_{298} NaF = -541.0.

6. $MgO_{(к)} + CO_{2(г)} = MgCO_{3(к)}$; ΔG^0_{298} = -65.1 кДж/моль

$BaO_{(к)} + CO_{2(г)} = BaCO_{3(к)}$; ΔG^0_{298} = -217.4 кДж/моль

$CaO_{(к)} + CO_{2(г)} = CaCO_{3(к)}$; ΔG^0_{298} = -131.9 кДж/моль

$SrO_{(к)} + CO_{2(г)} = SrCO_{3(к)}$; ΔG^0_{298} = -183.6 кДж/моль.

Как изменяются кислотно-основные свойства оксидов (расположите их в ряд) и как это согласуется со значением ΔG^0_{298} образования рассматриваемых карбонатов из оксидов?

7. Как изменяется сила кислот в ряду H_2SO_4 - H_2SeO_4 - H_2TeO_4 ?

8. $6Na_2O_{(к)} + P_4O_{10(к)} = 4Na_3PO_{4(к)}$ ΔG^0_{298} = - 378 кДж/моль

$Na_2O_{(к)} + Al_2O_{3(к)} = 2NaAlO_{2(к)}$ ΔG^0_{298} = - 173.2 кДж/моль

$Na_2O_{(к)} + SO_{3(г)} = Na_2SO_{4(к)}$ ΔG^0_{298} = - 522.1 кДж/моль

$Na_2O_{(к)} + SiO_{2(к)} = Na_2SiO_{3(к)}$ ΔG^0_{298} = - 194.5 кДж/моль

$Na_2O_{(к)} + Cl_2I_{7(г)} = 2NaClO_{4(к)}$ ΔG^0_{298} = -587.0 кДж/моль

Как изменяются кислотно-основные свойства оксидов (расположите их в ряд) и как это согласуется со значениями ΔG^0_{298} образования рассматриваемых солей из оксидов?

9. Укажите, какое из рассматриваемых двух соединений является более сильным основанием: а) гидроксид натрия или гидроксид цезия; б) гидроксид бария или гидроксид кальция? Объясните это изменение характера гидроксидов, исходя из расположения элементов в таблице Д.И. Менделеева.

2. ХИМИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

Ц е л ь р а б о т ы - изучение скорости химической реакции и ее зависимости от концентрации и температуры.

Раздел химии, изучающей скорость химических реакций, называется химической кинетикой.

Скорость химической реакции - это изменение концентрации реагирующих веществ в единицу времени. Зависимость скорости химической реакции выражается законом действующих масс: при постоянной температуре скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ, взятых в степенях, равных стехиометрическим коэффициентам в уравнении реакции.

Для реакции aA + bB = cC + dД скорость выразится уравнением:

$$v = k\cdot[A]^a \cdot [B]^b \qquad \text{(для гомогенной системы)},$$

где v - скорость реакции;

[A], [B] - молярные концентрации реагирующих веществ;

k - константа скорости реакции

(при [A] = [B] = 1 моль/л, k численно равна v).

Для реакции $2NO_{(г)} + O_{2(г)} = 2NO_{2(г)}$ выражение скорости имеет следующий вид:

$$v = k\cdot[NO]^2\cdot[O_2].$$

Гомогенная система состоит из одной фазы - между реагентами нет поверхности раздела. Гетерогенная система состоит из двух и более фаз. Реакция в гетерогенной системе осуществляется на поверхности раздела фаз. Скорость гетерогенной реакции не зависит от площади поверхности раздела фаз, так же как скорость гомогенной реакции не зависит от объема системы.

Концентрация твердого вещества принимается за единицу.

Зависимость скорости химической реакции от температуры описывается экспериментально найденным уравнением Вант-Гоффа:

$$v_{t_2} = v_{t_1} \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}},$$

где v_{t_1}, v_{t_2} - скорость реакции при температурах соответственно t_1 и t_2;

γ - температурный коэффициент скорости реакции,
равный обычно 2-4.

Эта зависимость может быть выражена в виде следующего правила: при увеличении температуры на каждые 10° скорость химической реакции увеличивается в 2-4 раза.

Зависимость скорости реакции от температуры более точно может быть выражена уравнением Аррениуса:

$$k = c \cdot e^{-\frac{E_{\text{акт}}}{RT}},$$

где k - константа скорости реакции;

c - постоянная;

$E_{\text{акт}}$ - энергия активации;

R - универсальная газовая постоянная (8.31 Дж/моль ·К);

T - абсолютная температура.

Из уравнения Аррениуса следует, что скорость реакции с повышением температуры увеличивается по закону экспоненты, однако интенсивность теплоотвода в конкретных условиях реакции может возрастать только линейно. В этом случае возможен скачкообразный переход от стационарного режима к нестационарному, быстрое ускорение - самовоспламенение, или цепной взрыв. По такому механизму происходят взрывы метана и угольной пыли в шахтах. Например, при повышении концентрации метана на несколько процентов достигается нижний предел взрываемости метана в воздухе, в тысячи раз ускоряется реакция окисления метана кислородом воздуха $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O + Q$. Концентрационные пределы взрываемости метана в воздухе от 5 до 15% по объему.

Одним из направлений в решении проблемы предупреждения взры-

вов метана и угольной пыли в шахтах, опасных по газу и пыли, является применение способов взрывозащиты, основанных на использовании распыленной воды или специальных химических соединений, которые играют роль отрицательных катализаторов (ингибиторов), теплопоглотителей в реакциях окисления углеводородов. Такие вещества носят общее название флегматизаторов горения. Этим свойством обладают гидрокарбонаты натрия и калия, гидрофосфаты аммония, бура и др.

2.1. Экспериментальная часть.

ОПЫТ 1. Зависимость скорости химической реакции от концентрации реагирующих веществ.

Соли тиосерной кислоты устойчивы в твердом состоянии и в растворе. Тиосерная кислота неустойчива и при получении распадается самопроизвольно по реакции

$$Na_2S_2O_3 + H_2SO_4 = H_2SO_3 + S + Na_2SO_4$$

с образованием сернистой кислоты и свободной серы.

Постановка опыта основывается на следующем: в результате реакции между серной кислотой и тиосульфатом натрия образуется сера, выделяющаяся в виде белой мути. Время от начала реакции до момента появления мути зависит от скорости этой реакции.

В три пробирки налить по 6 мл раствора серной кислоты.

В первую пробирку влить 6 мл раствора $Na_2S_2O_3$, быстро перемешать ее содержимое и одновременно включить секундомер. Отсчитать время (τ) до начала появления белой мути - коллоидной серы.

Во вторую пробирку влить смесь 4 мл раствора тиосульфата натрия и 2 мл воды. Наблюдать, через сколько секунд растворы сделаются мутными.

Результаты наблюдений записать по следующей форме, выразив значения скоростей реакций в условных единицах (десятичных дробях!) в виде $v = 1/\tau$, где τ - время в секундах.

Относительная концентрация раствора тиосульфата натрия записана в условных единицах $C_{Na_2S_2O_3} = v_{Na_2S_2O_3} / V_{\text{раствора}}$, где $V_{\text{раствора}}$ - общий объем раствора 12 мл. Тогда для первого случая $C_{Na_2S_2O_3}$ 50%, для второго - 33% и третьего - 17%, что соответствует значениям 3а, 2в, а.

№ опыта	Объем в мл			Относит. концентр. $C_{Na_2S_2O_3}$	Время до появления мути, τ	$v = \frac{1}{\tau}$
	раствора H_2SO_4	раствора $Na_2S_2O_3$	H_2O			
1	6	6	0	3a		
2	6	4	2	2a		
3	6	2	4	a		

Результаты измерений необходимо представить в виде графика. На ось абсцисс наносят значения относительных концентраций в виде трех точек, отстоящих от начала координат на a, 2a, 3a, где a - произвольно выбранный отрезок. Из каждой точки восстанавливается перпендикуляр, длина которого соответствует значениям скоростей реакции в условных единицах. Далее следует обдумать, каким образом, пользуясь верхними концами этих перпендикуляров, провести линию, характеризующую зависимость скорости реакции от концентрации. Подсказкой будет служить математическое выражение для скорости изучаемой реакции, которое нужно записать согласно закону действия масс.

Сделать вывод о зависимости скорости реакции от концентрации реагирующих веществ.

ОПЫТ 2. Зависимость скорости реакции от температуры опыта

Налить в одну пробирку 5 мл раствора $Na_2S_2O_3$, а другую - 5 мл раствора H_2SO_4. Обе пробирки поместить в стакан с водопроводной водой. Спустя 5-7 минут измерить температуру воды и слить вместе содержимое обеих пробирок. Измерить время появится помутнение.

В две другие пробирки налить по 5 мл тех же растворов. Поместить пробирки в стакан с водой, нагретой на 10° выше, чем в предыдущем опыте. Через 5-7 минут слить содержимое пробирок. Измерить время до появления мути.

Повторить опыт, повысив температуру еще на 10°.

Результаты наблюдений выразить в виде графика, откладывая по оси абсцисс температуру опыта, по оси ординат - относительную скорость реакции.

Сделать вывод о зависимости скорости реакции от температуры.

2.2. Контрольные вопросы и задания.

1. Реакция в водном растворе выражается уравнением:

$$2KI + K_2S_2O_8 = 2K_2SO_4 + I_2.$$

Как изменится скорость этой реакции при разбавлении реагирующей смеси в 2 раза?

2. Записать математические выражения для скорости следующих газовых реакций

а) $CH_3CHO = CH_4 + CO$, в) $H_2 + Cl_2 = 2HCl$,
б) $2N_2O = 2N_2 + O_2$, г) $SO_2 + 2H_2 = S + 2H_2O$.

Предсказать изменение скорости этих реакций при увеличении концентрации каждого из реагирующих веществ в 2 раза.

3. Записать выражения для скорости реакций

а) $MgCO_3 = MgO + CO_2$, в) $CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + H_2CO_3$,
б) $2N_2O = 2N_2 + O_2$, г) $2Zn + O_2 = 2ZnO$.

Как изменится скорость вышеуказанных реакций, если:
а) увеличить концентрацию исходных веществ в 2 раза;
б) увеличить давление в 2 раза.

4. Срок хранения флотационного реагента, поступившего на обогатительную фабрику, согласно техническим условиям составляет при температуре 20°С 2 месяца. Воспользовавшись правилом Вант-Гоффа, рассчитать срок годности этого флотореагента, если на складе фабрики поддерживается 0°С, а температурный коэффициент скорости разложения равен 2.

5. Во сколько раз изменится скорость реакции

$$2NO + O_2 = 2NO_2,$$

если концентрация оксида азота уменьшится в 2 раза, а концентрация кислорода увеличивается в 2 раза?

6. Реакция протекает по уравнению

$$CH_3COOH + C_2H_5OH = CH_3COOC_2H_5 + H_2O,$$

концентрацию CH_3COOH увеличили от 0.3 до 0.45 моль/л, а концентрацию C_2H_5OH увеличили от 0.4 до 0.8 моль/л. Во сколько раз возросла скорость прямой реакции?

7. Кальцинированная сода (безводная Na_2CO_3) используется в виде раствора в качестве регулятора щелочности флотационного процесса. При температуре 55°С сода растворяется в 6 раз быстрее, чем при 15°. Рассчитать температурный коэффициент скорости растворения соды.

8. Для приготовления раствора силиката натрия требуемой плотности, использующегося в качестве подавителя пустой породы, твердые прозрачные куски силикат-глыбы Na_2SiO_3 загружают в воду: нагревают до 95° и ведут перемешивание в течение четырех часов. Какой срок потребуется для получения раствора необходимой концентрации, если поддерживать температуру 90° ($\gamma = 2$)?

3. ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ

Ц е л ь р а б о т ы - Изучение влияния концентрации на сдвиг химического равновесия.

Многие реакции идут не до исчезновения исходных веществ, а до состояния, не изменяющегося во времени, когда в реакционной смеси можно обнаружить как исходные вещества, так и продукты реакции. Такое состояние системы называется химическим равновесием.

С термодинамической точки зрения состояние равновесия характеризуются тем, что система достигает минимального значения энергии Гиббса (при заданных температуре, давлении и общем составе).

С кинетической точки зрения при равновесии скорости процессов образования продуктов реакции из исходных веществ и исходных веществ из продуктов выравниваются. Скорость достижения равновесия в зависимости от природы процесса, условий, а также наличия подходящих катализаторов может варьировать от малых долей секунды до веков и тысячелетий.

Если равновесие достигнуто, то для реакции

$$aA + bB \Leftrightarrow cC + dД \qquad \text{величина} \quad K_p = \frac{[C]^c \cdot [Д]^d}{[A]^a \cdot [B]^b},$$

называемая константой равновесия, принимает определенное значение. Константа равновесия зависит от температуры, но не зависит от конкретных количеств реагентов и порядка их взаимодействия.

Изменение равновесных концентраций при внешнем воздействии называется с м е щ е н и е м х и м и ч е с к о г о р а в н о в е с и я .

Основным законом, управляющим смещением равновесия, служит принцип Ле-Шателье: «Если на систему, находящуюся в равновесии, оказывается внешнее воздействие, то равновесие смещается в сторону, указываемую воздействием, до тех пор, пока нарастающее в системе противодействие не станет равно оказанному воздействию».

Внешним воздействием, смещающим равновесие, может быть изменение температуры, давления, концентрации одного или нескольких веществ, участвующих в реакции. «Смещение равновесия в сторону, указанную воздействием» означает, что при повышении давления преимущество получает процесс, ведущий к уменьшению объема, т.е. к тому же результату, что и само воздействие. Нагревание ведет к увеличению роли эндотермического прочеса, т.е. процесса, увеличивающего запас энергии в системе (эндотермические реакции идут с поглощением тепла, а экзотермические - с его выделением).

Увеличение концентрации одного из веществ приводит к смещению равновесия в сторону расходования этого вещества.

3.1. Экспериментальная часть

ОПЫТ 1. Влияние концентрации веществ на смещение химического равновесия.

Реакция между хлоридом железа и тиоцианатом аммония протекает по уравнению:

$$FeCl_3 + 3NH_4NCS \leftrightarrow Fe(NCS)_3 + 3NH_4Cl$$

Красная окраска образовавшегося раствора обусловлена содержанием в нем тиоционата (роданида) железа. По изменению интенсивности этой окраски можно судить о направлении смещения равновесия при изменении концентрации какого-либо реагирующего вещества.

В одной пробирке приготовить смесь (по 4 мл) разбавленных растворов $FeCl_3$ и NH_4NCS . Полученный окрашенный раствор разлить поровну в 4 пробирки.

В первую пробирку добавить 2 капли насыщенного раствора $FeCl_3$. Во вторую пробирку добавить несколько кристалликов NH_4NCS (или KNCS). В третью пробирку всыпать немного твердой соли NH_4Cl (или KCl). Четвертую пробирку оставить для сравнения.

Записать уравнение химической реакции и выражение для константы

равновесия. Сделать выводы о влиянии концентрации веществ на смещение химического равновесия с использованием принципа Ле-Шателье.

Форма записи

Что добавлено	Изменение интенсивности окраски	Смещение равновесия
1. $FeCl_3$ 2. NH_4NCS 3. NH_4Cl	более интенсивная ……... ……	вправо …… …….

3.2. Контрольные вопросы и задания

1. К гомогенных химических системах при постоянных давлении и температуре установилось состояние равновесия:

$2H_2S + 3O_2 \leftrightarrow 2SO_2 + 2H_2O$, $K = 3 \cdot 10^5$;

$2CH_4 + 3O_2 + 2NH_3 \leftrightarrow 2HCN + 6H_2O$, $K = 1$;

$4NH_3 + 5O_2 \leftrightarrow 4NO + 6H_2O$, $K = 0.008$;

$H_2 + Cl_2 \leftrightarrow 2HCl$, $K = 24.3$.

По данным значениям констант равновесия укажите, реагенты или продукты будут преобладать в равновесной смеси веществ. На основании закона действующих масс составьте выражения для констант равновесия.

2. В гетерогенных химических системах установилось состояние равновесия:

$Si_{(к)} + 2H2O_{(г)} \leftrightarrow SiO_{2(к)} + 2H_{2(г)}$;

$Mg_3N_{2(к)} + 6H_2O_{(г)} \leftrightarrow 3Mg(OH)_{2(к)} + 2NH_{3(г)}$;

$CS_{2(г)} + 2Cl_{2(г)} \leftrightarrow CCl_{4(г)} + 2S_{(к)}$;

$2NO_{2(г)} + 2S_{(к)} \leftrightarrow N_{2(г)} + 2SO_{2(г)}$;

$10NO_{(г)} + P_{4(г)} \leftrightarrow 5N_{2(г)} + P_4O_{10(к)}$;

$TiO_{2(к)} + 2C_{(к)} + 2Cl_{2(г)} \leftrightarrow TiCl_{4(г)} + 2CO_{(г)}$.

На основании закона действующих масс составьте выражения для

констант равновесия.

3. За последние 100 лет количество углекислого газа, поступающее за счет сжигания ископаемого топлива, возросло в 50 раз, а парциальное давление CO_2 в атмосфере за это же время увеличилось в 1.2 раза. Объясните это соотношение, допустив, что CO_2 поглощается океаном:
$CO_{2(г)} + H_2O_{(ж)} \leftrightarrow H_2CO_{3(р)}$.

4. Рассчитать равновесный выход диоксида серы в реакциях окислительного обжига сульфидных минералов - пирита, молебденита, пирротина, если в состоянии равновесия количество SO_2 равно 0.4 моль, а начальный объем O_2 составлял 33.6 л (н.у.):

$4FeS_{2(к)} + 11O_{2(г)} \leftrightarrow 2Fe_2O_{3(к)} + 8SO_{2(г)}$;
пирит

$2MoS_{2(к)} + 7O_{2(г)} \leftrightarrow 2MoO_{3(к)} + 4SO_{2(г)}$;
молибденит

$4FeS_{(к)} + 7O_{2(г)} \leftrightarrow 2Fe_2O_{3(к)} + 4SO_{2(г)}$.
пирротин

5. Равновесный процесс, протекающий в подземных пещерах при образовании сталактитов и сталагмитов, можно описать уравнением

$$Ca^{2+}_{(р)} + 2\,HCO_3^-{}_{(р)} \leftrightarrow CaCO_{3(к)} + H_2O_{(ж)} + CO_{2(г)}.$$

Напишите выражение для константы равновесия этого процесса. Укажите, в какую сторону сдвигается равновесие а) при улетучивании CO_2, б) испарении воды, в) увлажнении атмосферы в пещерах.

6. Состояние равновесия реакции окисления сфалерита

$$2ZnS_{(к)} + 3O_{2(г)} \leftrightarrow 2ZnO_{(к)} + 2SO_{2(г)}$$

установилось при равновесной концентрации диоксида серы, равной 0.25 моль/л. Рассчитать исходную концентрацию кислорода.

7. В герметически закрытом сосуде объемом 0.25 л проводят реакцию восстановления антимонита

$$Sb_2S_{3(к)} + 3CO_{(г)} \leftrightarrow 2Sb_{(к)} + 3COS_{(г)}.$$

Равновесная концентрация каждого газообразного вещества равна 0.3 моль/л. Для смещения равновесия добавляют 0.1 моль CO. Определить новые равновесные концентрации CO и COS.

8. Определить, влево или вправо сместится положение равновесия

реакций

$Fe_2O_3(к) + 3CO(г) \leftrightarrow 2Fe(к) + 3CO_2(г)$, $\Delta H° > 0$;
гематит

$3CaCO_3(к) + 3SiO_2(к) \leftrightarrow 3CO_2(г) + Ca_3Si_3O_9(к)$, $\Delta H° < 0$,
волластонит

$Cu_2CO_3(OH)_2(к) \leftrightarrow 2CuO(к) + CO_2(г) = H_2O(г)$, $\Delta H° > 0$;
малахит

$2Mg_2SiO_4(к) + 2H_2O(ж) + CO_2(г) \leftrightarrow Mg_3(OH)_4Si_2O_5(к) + MgCO_3(к)$, $\Delta H° < 0$
форстерит серпентин магнезит

при следующих воздействиях: а) введение избытка диоксида углерода, б) нагревание, в) увеличение давления.

9. На некоторых предприятиях систематически из труб в атмосферу выбрасываются оксиды азота, что можно наблюдать как газ красно-желтого цвета (лисий хвост). Объяснить причину различной интенсивности окраски этого газа в зависимости от времени года (лето, зима), если известно, что NO_2 - бурый газ при -11°С превращается в димер N_2O_4 - бесцветные кристаллы, а при обычных условиях существует смесь NO_2 и N_2O_4

$$2\ NO_2 \leftrightarrow N_2O_4.$$

Укажите знак при ΔH в этом уравнении.

4. ИОННЫЕ РАВНОВЕСИЯ В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Ц е л ь р а б о т ы - Изучение смещения ионного равновесия в водных растворах.

Э л е к т р о л и т а м и называют вещества, диссоциирующие в растворах (или расплавах) на и о н ы и способные проводить электрический ток. Распад вещества на ионы называется электролитической диссоциацией. Перенос тока в растворах (и расплавах) электролитов осуществляется положительными и отрицательными ионами, которые называются катионами и анионами. К электролитам относятся соли, кислоты и основания.

Для количественной характеристики электролитической диссоциации используется степень диссоциации α - доля моля электролита, существующая в растворе в виде ионов:

$$\alpha = C/C_0,$$

где C - концентрация молекул, распавшихся на ионы, моль/л;

C_0 - исходная концентрация раствора, моль/л.

По величине степени диссоциации все электролиты делятся на сильные и слабые. К сильным относятся те электролиты, α - степень диссоциации которых равна единица, т.е. $C = C_0$. Распад на ионы сильных электролитов протекает необратимо. В растворе сильного электролита не может быть недиссоциированных молекул.

$$HNO_3 = H^+ + NO_3^-; \quad NaCl = Na^+ + Cl^-.$$

К сильным электролитам относятся практически все соли, гидроксиды щелочных и щелочно-земельных металлов и некоторые кислоты (например, HCl, HNO_3, H_2SO_4, HBr, HI, $HClO_4$)

Степень диссоциации слабых электролитов меньше единицы ($C < C_0$). Их ионизация протекает обратимо:

$$CH_3COOH \Leftrightarrow CH_3COO^- + H^+; \qquad H_2CO_3 \Leftrightarrow H^+ + HCO_3^-.$$

Константу равновесия электролитической диссоциации слабого электролита называют константой диссоциации. Например, при 298 К

$$K_{CH_3COOH} = \frac{C_{CH_3COO^-} \cdot C_{H^+}}{C_{CH_3COOH}} = 1.8 \cdot 10^{-5}.$$

$$K_{H_2CO_3} = \frac{C_{H^+} \cdot C_{HCO_3^-}}{C_{H_2CO_3}} = 4.4 \cdot 10^{-7}.$$

Из величин констант видно, что угольная кислота по первой ступени электролит более слабый, чем уксусная кислота.

Степень и константа ионизации слабого электролита связаны зависимостью (закон Оствальда):

$$K = \frac{\alpha^2 \cdot C_0}{1 - \alpha}.$$

Если степень ионизации электролита значительно меньше единицы, то уравнение можно записать $K = \alpha^2 \cdot C_0$, откуда следует, что α возрастает с разведением раствора.

В чистой воде кроме молекул H_2O содержатся протоны и гидроксид-ионы, при этом

$$[H^+] = [OH^-] = 1 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л } (25^\circ \text{ C}).$$

Содержание протонов и гидрокид-ионов выражают также через водород-

ный показатель pH = 1g [H^+]. При pH = 7 среду водного раствора называют нейтральной, при pH < 7 - кислотной и при pH > 7 - щелочной.

Каковы пределы значений pH в природе? Рудничные воды выветривающихся колчеданных месторождений, содержащие свободную серную кислоту, имеют pH около 2, а воды окисляющихся месторождений самородной серы в песчаниках - еще ниже. Воды кратерных озер имеют pH 1-3, торфяных болот около 4, буроугольных месторождений около 5, pH дождевой воды примерно 5.5. Обычные грунтовые воды имеют pH 6.5 - 8.5, морская вода (в зависимости от времени года, ее температуры, количества растворенной в ней углекислоты, органических кислот, привнесенных реками) колеблется от 8.2 до 8.5. В содовых озерах pH достигает 9-10.

4.1. Экспериментальная часть

ОПЫТ 1. Сравнение относительной силы кислот

В одну пробирку наливают 1-2 мл 2М раствора уксусной кислоты, в другую - столько же раствора соляной кислоты той же концентрации. В обе пробирки добавляют небольшое количество мелко измельченного известняка. Взбалтывая пробирки с содержимым, наблюдать, одинаково ли быстро растворяется $CaCO_3$ во взятых кислотах.

$$CaCO_3\downarrow + 2H^+ = Ca^{2+} + H_2O + CO_2\uparrow.$$

Интенсивность выделения CO_2 при этой реакции служит относительным индикатором концентрации водородных ионов. Рассчитайте, во сколько раз концентрация протонов в растворе HCl больше, чем в растворе CH_3COOH, если $K_{CH_3COOH} = 1.8 \cdot 10^{-5}$.

Напишите уравнения диссоциации обеих кислот.

ОПЫТ 2. Влияние концентрации одноименных ионов на ионизацию слабой кислоты.

К 1-2 мл 2М раствора уксусной кислоты в двух пробирках прибавьте 2 капли метилоранжа. Отметьте окраску индикатора. Добавьте при перемешивании в одну пробирку несколько кристалликов ацетата аммония до изменения цвета раствора. Как изменился pH раствора? Объясните изменение pH, применяя правило Ле Шателье и используя выражение константы диссоциации CH_3COOH

ОПЫТ 3. Влияние концентрации одноименных ионов на ионизацию слабого основания.

В две пробирки наливают по 1-2 мл 2М раствора гидроксида аммония и по 2 капли фенолфталеина. В одну из пробирок добавляют при перемешивании несколько кристалликов ацетата аммония до изменения цвета раствора. Объясните причину наблюдаемого изменения окраски на основании уравнения диссоциации NH_4OH, принципа Ле Шателье и константы диссоциации NH_4OH.

ОПЫТ 4. Определение характера диссоциации гидроксидов

В три пробирки наливают по 2-3 мл растворов: в 1-ю - силиката натрия, во 2-ю - сульфата никеля, в 3-ю - сульфата цинка. До начала выпадения осадков гидроксидов добавляют по каплям в 1-ю - раствор серной кислоты, а во 2-ю - раствор гидроксида натрия.

Содержимое каждой пробирки взбалтывают и разливают каждый осадок гидроксидов на две пробирки. В одну пробирку добавляют разбавленной кислоты, а в другую концентрированной щелочи. На основании наблюдений за растворением осадков кремниевой кислоты, гидроксида никеля и гидроксида цинка в кислоте и щелочи сделайте вывод о кислотно-основном характере электролитической диссоциации этих гидроксидов.

Напишите уравнения диссоциации гидроксидов.

4.2. Контрольные вопросы и задания

1. Присутствие каких ионов можно ожидать в водном растворе сернистой кислоты H_2SO_3? Запишите выражения для констант диссоциаций этой кислоты.
2. Почему константа электролитической диссоциации служит более удобной характеристикой, чем степень диссоциации?
3. Объясните, почему соли являются сильными электролитами. На примере $NaHCO_3$ укажите характер химических связей, по которым электролитическая диссоциация протекает в водном растворе: а) практически полностью; б) частично; в) отсутствует.
4. Укажите, корректно ли сопоставлять такие свойства, как растворимость вещества и способность его к электролитической диссоциации.
5. В практике флотации используются процессы с низкими и высо-

кими значениями pH флотационной пульпы. Можно ли приготовить растворы с pH 0, -1, -2, 14, 15, 16?

6. Вычислите концентрацию ионов водорода в 1М (9.45 %-ном) растворе серной кислоты, pH которого - 0.005. Объясните полученный результат.

7. В Первоуральске выпал кислотный дождь, водородный показатель которого равен 2.5. Во сколько раз превышена концентрация иона водорода, если обычная дождевая вода имеет pH = 5.5?

8. Шахтные воды Кизеловского бассейна содержат 0.01 г/л ионов водорода. Рассчитайте водородный показатель этих вод, концентрацию OH^- ионов. Укажите, кислотный или щелочной характер имеют эти воды.

9. Во сколько раз уменьшится концентрация ионов водорода, если к 1 литру раствора уксусной кислоты с концентрацией 0.005 моль/л прибавить 0.05 моль ацетата натрия, считая, что концентрация недиссоциированных молекул уксусной кислоты, как и объем раствора остаются практически постоянными? K_{CH_3COOH} $1.8 \cdot 10^{-5}$.

10. Для оценки pH раствора сероводорода студент записал следующие уравнения:

$$H_2S = 2H^+ + S^{2-}; \quad S^{2-} + H_2O \leftrightarrow HS^- + OH^-.$$

Таким образом, студент сделал вывод, что среда щелочная. Найдите ошибки в его рассуждениях.

5. РЕАКЦИИ ИОННОГО ОБМЕНА

Ц е л ь р а б о т ы - выявление закономерностей протекания реакций ионного обмена в растворах электролитов.

Минералы и горные породы в условиях земной поверхности стремятся перейти в более устойчивые соединения. Известняки медленно растворяются в водах, содержащих углекислоту, образую гидрокарбонат кальция. Грунтовые воды, содержащие $Ca(HCO_3)_2$, реагируют с сульфатно-хлоридно-магниевыми (морскими) водами. При этом осаждаются гипс и доломит:

$$2Ca(HCO_3)_2 + MgCl_2 + Na_2SO_4 = \underset{\text{гипс}}{CaSO_4} + \underset{\text{доломит}}{CaMg(CO_3)_2} + 2NaCl + 2H_2CO_3.$$

Так озера морского типа превращаются в озера континентального типа. Сульфатно-натриевые воды - результат выщелачивания горных по-

род, могут образовывать содовые озера.

$$Ca(HCO_3)_2 + NaSO_4 = CaSO_4\downarrow + NaHCO_3.$$

Изверженные горные породы выветриваются, в полевых шпатах содержание алюминия увеличивается от ранних пород к поздним. При этом из них выносятся катионы щелочноземельных металлов. Например, из анорита образуется каолинит

$$CaO\cdot Al_2O_3\cdot 2SiO_2 + 2H_2O + CO_2 = Al_2O_3\cdot 2SiO_2\cdot 2H_2O + CaCO_3.$$

В результате воздействия растворов, содержащих в повышенных концентрациях ионы Mg^{2+} и SO_4^{2-}, происходит доломитизация известняков

$$2CaCO_3 + MgSO_4 = CaMg(CO_3)_2 + CaSO_4.$$

Если химическая реакция протекает, то она отличается следующими признаками:

происходит образование осадка, или растворение осадка, или изменяется цвет осадка или раствора, или появляются пузырьки газа.

Сущность ионных реакций обмена сводится к соединению ионов в молекулы новых веществ. Равновесия ионных реакций в растворах смещаются в сторону образования слабых электролитов (слабых кислот, слабых оснований, воды) и сильных электролитов (осадков, летучих веществ).

Все кислые соли в воде растворяются, основные соли, как правило, нерастворимы.

В ионных уравнениях сильные, хорошо растворимые электролиты записываются в форме ионов, а слабые электролиты, газы и осадки - в виде молекул.

Рассмотрим следующие примеры реакций. Запишем их сначала в молекулярной форме, а затем в виде кратких ионных уравнений.

$$Fe(HCO_3)_2 + 2NaOH = FeCO_3\downarrow + Na_2CO_3 + 2H_2O;$$

$$Fe^{2+} + 2\,HCO_3^- + 2OH^- = FeCO_3\downarrow + CO_3^{2-} + 2H_2O;$$

$$ZnSO_4 + 4NaOH = Na_2ZnO_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O;$$

$$Zn^{2+} + 4OH^- = ZnO_2^{2-} + 2H_2O;$$

$NaSiO_3 + 2CO_2 + 2H_2O = H_2SiO_3\downarrow + 2\,NaHCO_3$;

$SiO_2^{2-} + 2CO_2 + 2H_2O = H_2SiO_3\downarrow + 2\,HCO_3^-$;

$NH_4OH + HCl = NH_4Cl + H_2O$;

$NH_4OH + H^+ = NH_4Cl + H_2O$.

5.1. Экспериментальная часть

ОПЫТ 1. Образование осадков

а) В две пробирки наливают по 2 мл раствора хлорида бария и добавляют в одну пробирку сульфата натрия, а в другую - нитрата калия. Написать молекулярное и ионное уравнения и сделать вывод, в каком случае соль реагирует с другой солью;

б) В две пробирки наливают по 2 мл раствора сульфата меди. В одну пробирку добавляют 1 мл очень разбавленный (1%-ный) раствор гидроксида натрия, а в другую - столько же разбавленного раствора той же щелочи. Написать молекулярные и ионные уравнения, указав окраску образующихся осадков и учитывая, что в первом случае образуется основной сульфат меди $(CuOH)_2SO_4$. Сделайте вывод об условиях образования основной соли и гидроксида. Осадки сохранить для выполнения опыта 2б;

в) В две пробирки наливают по 2 мл раствора хлорида кобальта. В одну пробирку добавляют разбавленного раствора щелочи до образования синего осадка основной соли. Во вторую пробирку приливают еще столько же щелочи и нагревают с целью получения гидроксида кобальта розового цвета. Содержимое пробирок оставляют для проведения опыта 2в. Написать молекулярное и ионные уравнения, указав цвет осадков.

ОПЫТ 2. Растворение осадков.

а) Наливают в пробирку известковую воду $Ca(OH)_2$, через этот раствор пропускают углекислый газ из аппарата Киппа. Наблюдают образование белого осадка средней соли, продолжают пропускать пузырьки CO_2 до растворения белого осадка и получения бесцветного прозрачного раствора кислой соли $Ca(HCO_3)_2$. Написать молекулярные и ионные уравнения образования карбоната кальция и растворения его. Сделать вывод об условии получения кислой соли.

б) В обе пробирки опыта 1б добавляют серной кислоты до растворения осадков. Написать молекулярные и ионные уравнения реакции растворения. Объяснить причину сдвига ионного равновесия;

в) Берут пробирки с осадками опыта 1в. В пробирку с синим осадком добавляют хлороводородной кислоты, в пробирку с розовым осадком - разбавленной щелочи. Напишите молекулярные и ионные уравнения. Наблюдать растворение одного из осадков. Дать объяснения наблюдениям.

О П Ы Т 3. Образование газообразного вещества

Все сульфиты, растворимые и нерастворимые в воде, разлагаются минеральными кислотами с выделением диоксида серы, который определяют как запах горящей серы.

К раствору сульфита натрия приливают разбавленной серной кислоты. Обнаруживают запах SO_2 , стараясь запомнить его. Это позволит впредь распознавать диоксид серы органолептически.

Написать молекулярное и ионное уравнение реакции.

О П Ы Т 4. Образование слабых электролитов

а) Наливают в пробирку 1-2 мл раствора ацетата натрия и добавляют разбавленной серной кислоты. Определяют по запаху образующуюся уксусную кислоту;

б) Наливают в пробирку 1-2 мл раствора хлорида аммония и добавляют разбавленной щелочи. Определяют по запаху выделяющийся аммиак;

в) Наливают в пробирку 3 мл раствора сульфата хрома (III) и приливают к нему по каплям раствор разбавленной щелочи до появления серо-зеленого осадка гидроксида хрома.

Содержимое пробирки разделяют на две части. К одной части приливают раствор серной кислоты, к другой - раствор щелочи. Сравнить цвет полученных растворов. Сделать вывод о характере гидроксида хрома.

Для опытов а), б), в) написать молекулярные и ионные уравнения реакций, объяснить причины сдвига ионных равновесий.

Сделать вывод, в каком направлении протекают реакции ионного обмена в растворах электролитов.

5.2. Контрольные вопросы и задания

1. Составить в молекулярном виде уравнения реакций растворения следующих малорастворимых минералов:

а) стронцианит $SrCO_3$ переводят в водный раствор насыщением CO_2 суспензии минерала в воде;

б) сассолин $B(OH)_3$ обрабатывают избытком раствора едкого натра;

в) гиббсит $Al(OH)_3$ хорошо растворяется известковом молоке;

г) азурит $Cu(OH)_2 \cdot 2CuCO_3$ обрабатывают хлороводородной кислотой;

д) гетит Fe_2O_3 хорошо растворяется в серной кислоте;

е) гемиморфит $Zn(OH)_2 \cdot Zn_3Si_2O_7$ нагревают в растворе гидроксида натрия;

ж) брусит $Mg(OH)_2$ разлагается раствором серной кислоты;

з) борнит $FeS \cdot CuS \cdot 2Cu_2S$ обрабатывают соляной кислотой.

2. При смещении водных растворов одного из следующих веществ: NaOH, KOH, CsOH концентрацией 1 моль/л с одинаковыми объемами 1М раствором HCl, HBr, HNO_3, $HClO_4$ выделяется примерно одно и то же количество теплоты, составляющее 55-59 кДж/моль. О чем это свидетельствует? Напишите уравнения реакции в ионном виде.

3. При смешении 1М водных растворов одной из следующих кислот: азотной, уксусной, бензойной с одинаковыми объема 1М растворов КОН обнаруживаются различные тепловые эффекты. Объясните, приведя уравнения реакций в молекулярно-ионном виде.

4. Укажите причины, по которым реакция

$$Na_2CO_{3(р)} + Ca(OH)_{2(к)} \leftrightarrow CaCO_{3(к)} + 2NaOH_{(р)}$$

обратима, составьте выражение для константы равновесия. Почему в этом процессе образуется только разбавленный раствор гидроксида натрия, а получение концентрированного раствора невозможно?

5. Для переработки карбонатных марганцевых руд предложен способ, основанный на выщелачивании их раствором хлорида кальция:

$$MnCO_{3(к)} + CaCl_{2(р)} \leftrightarrow CaCO_{3(к)} + MnCl_{2(р)}.$$

Можно ли регенерировать раствор хлорида кальция и вывести одновременно марганец в осадок добавлением к продуктам выщелачивания суспензии $Ca(OH)_2$? Напишите уравнение реакции.

6. Растворение соли слабой кислоты в растворах кислот должно проходить тем быстрее, чем больше концентрация ионов водорода. Однако кальцит $CaCO_3$ растворяется в растворе уксусной кислоты быстрее, чем в растворе серной. Почему?

7. В 250 мл раствора содержится 1 г NaOH. Вычислите молярную концентрацию и pH этого раствора.

8. Кислые растворы имеют кислый вкус, щелочные - вкус мыла. Сливаются равные объемы растворов хлороводородной кислоты и гидроксида натрия одинаковой концентрации. Какой вкус полученного раствора?

9. Гашеную известь $Ca(OH)_2$ используют при флотации для создания щелочной среды (pH 12 и более), отделения пирита от сфалерита и сульфидов меди. Как изменяется pH растворов извести при хранении их в открытых емкостях? Напишите уравнение реакции.

6. ГИДРОЛИЗ СОЛЕЙ

Ц е л ь р а б о т ы - Изучение свойств водных растворов, связанных с реакцией гидролиза солей.

Природные воды часто не бывают нейтральными, а имеют либо кислую, либо щелочную среду вследствие гидролиза. При химическом выветривании известняков образуются щелочные растворы, а пиритсодержащих - кислые. Изменение нейтральной реакции среды водного раствора - признак гидролиза соли, обменной химической реакции, протекающей с участием воды .Однако не все соли вступают в реакцию гидролиза. Если растворить в воде хлорид калия KCl, нейтральная реакция среды (pH = 7), характерная для чистой воды, не изменится. Соли, образованные сильным основанием и сильной кислотой (NaCl, $LiNO_3$, CsBr и т.п.), в реакцию гидролиза не вступают.

С водой взаимодействуют: 1) соли, образованные слабыми основаниями и сильными кислотами (NH_4Cl, $CuSO_4$, $Zn(NO_3)_2$ и т.п.); 2) соли, образованные слабыми кислотами и сильными основаниями (Na_2S, KCN, $BaCO_3$ и т.п.); 3) соли, образованные слабыми основаниями и слабыми

кислотами (NH_4CH_3COO и т.п.).

Из рассмотренных примеров следует, что в реакцию с водой вступают катионы слабых оснований и анионы слабых кислот. Если эти ионы многозарядны (Fe^{3+}, Cu^{2+}, CO_3^{2-}, SiO_3^{2-} и т.п.), их взаимодействие с водой обычно идет до образования основного или кислого иона (первая ступень гидролиза). Например, соль $FeCl_3$, образованная слабым основанием с сильной кислотой, подвергается гидролизу по катиону:

$$Fe^{3+} + HOH \leftrightarrow FeOH^{2+} + H^+$$

Или в молекулярной форме:

$$FeCl_3 + HOH \leftrightarrow FeOHCl_2 + HCl.$$

В результате гидролиза соли $FeCl_3$ появляется избыток катионов H^+ и раствор приобретает кислую реакцию, pH < 7.

Гидролизу по аниону подвергаются соли, образованные сильным основанием и слабой кислотой. В качестве примера запишем уравнение гидролиза соли Na_2CO_3 в ионном виде:

$$CO_3^{2-} + HOH \leftrightarrow HCO_3^- + OH^-$$

И в молекулярной форме:

$$Na_2CO_3 + HOH \leftrightarrow NaHCO_3 + NaOH.\uparrow$$

Избыток анионов OH^- придает раствору щелочную реакцию, pH > 7.

Если же соль образована слабым малорастворимым основанием и слабой летучей кислотой, то происходит полный необратимый гидролиз. В таблице растворимости такие соли обозначены прочерком, означающим, что эти соли в водных растворах не существуют. Например, гидролиз карбоната железа (III):

$$Fe_2(CO_3)_3 + 6H_2O = 2Fe(OH)_3\downarrow + 3H_2CO_3;$$

$$2Fe^{3+} + 3CO_3^{2-} + 6H_2O = 2Fe(OH)_3\downarrow + 3H_2CO_3 \begin{cases} \nearrow 3CO_2\uparrow \\ \searrow 3H_2O \end{cases}$$

т.е. карбонат железа (III) может существовать только в виде сухой соли, а в растворе он подвергается полному гидролизу, образуя труднорастворимый гидроксид железа (III) и слабую летучую угольную кислоту. В подобных случаях в осадок выпадает наименее растворимый из возможных продуктов гидролиза. Так, растворимость $(CuOH)_2CO_3$ меньше, чем $Cu(OH)_2$,

поэтому в зоне окисления минералов меди в известняках встречается малахит

$$2CuSO_4 + 2CaCO_3 + H_2O \leftrightarrow (CuOH)_2CO_3 + CaSO_4 + CO_2,$$

В водном растворе положительные ионы металлов гидратированы. Многие из них связывают воду так прочно, что их можно рассматривать как комплексные ионы. Гидролиз солей, образованных слабыми основаниями и сильными кислотами, происходит за счет молекул воды, входящих в комплексный ион. При этом катион металла выталкивает за пределы внутренней сферы одноименно заряженный ион водорода из молекулы воды, среда становится кислой. Например, при гидролизе хлорида магния координационное число Mg^{2+} равно шести

$$Mg^{2+} + 6H_2O = [Mg(H_2O)_6]^{2+} \Leftrightarrow [Mg(H_2O)_5OH]^+ + H^+;$$

$$MgCl_2 + 6H_2O \Leftrightarrow [Mg(H_2O)_5OH]Cl + HCl\ .$$

Ионы Bi^{3+}, Sb^{3+}, Ti^{4+}, V^{4+} обладают настолько сильным поляризующим действием, что выталкивает из молекулы воды оба иона водорода, вследствие чего образуются ионы BiO^+ висмутил, SbO^+ антимонид, TiO^{2+} титанил, VO^{2+} ванадил.

$$SbCl_3 + HOH \Leftrightarrow SbOCl + 2HCl.$$

6.1. Экспериментальная часть

О П Ы Т 1. Образование основной соли при гидролизе

В три пробирки наливают по 3-4 капли нейтрального раствора лакмуса и добавляют по 2 мл растворов: в одну пробирку - дистиллированной воды, в другую - сульфата натрия, в третью - сульфата алюминия. Сравнивают окраску индикатора в воде и растворах солей. Сделать вывод о возможности гидролиза.

Написать молекулярное и ионное уравнение реакции гидролиза: отразить отсутствие гидролиза в пробирке с раствором Na_2SO_4.

О П Ы Т 2. Образование кислой соли при гидролизе

В две пробирки наливают по 3-4 капли нейтрального раствора фенолфталеина и добавляют по 2 мл растворов: хлорида натрия и карбоната натрия. Сравнивают окраску индикатора в воде и растворах солей.

Сделать вывод о возможности гидролиза.

Написать молекулярное и ионное уравнение реакции гидролиза: отразить отсутствие гидролиза а пробирке с раствором NaCl.

О П Ы Т 3. Смещение равновесия гидролиза

Налить в пробирку 1-2 мл раствора нитрата висмута $Bi(NO_3)_3$ и разбавить его водой в 3-5 раз. Наблюдать образование осадка, т.е. помутнение раствора. Составить молекулярное и ионное уравнение реакции гидролиза, зная, что труднорастворимым продуктом является соль $BiONO_3$.

В пробирку с осадком $BiONO_3$ прибавить несколько капель концентрированной азотной кислоты. Наблюдать растворение осадка. Объяснить наблюдаемое, исходя из уравнения гидролиза.

О П Ы Т 4. Влияние нагревания на гидролиз ацетата натрия

К 3-4 мл раствора уксуснокислого натрия CH_3COONa прибавить 1-2 капли фенолфталеина и нагреть до кипения. Обратить внимание на появление розовой окраски, исчезающей при охлаждении раствора.

Написать ионное и молекулярное уравнение реакции гидролиза уксуснокислого натрия. Объясните различие окраски при нагревании и охлаждении раствора.

О П Ы Т 5. Полный гидролиз (совместный гидролиз)

К 1-2 мл раствора сернокислого алюминия $Al_2(SO_4)_3$ прилить такой же объем раствора карбоната натрия Na_2CO_3. Наблюдать выделение углекислого газа и образование осадка гидроксида алюминия. Написать молекулярное и ионное уравнение совместного гидролиза взятых солей.

6.2. Контрольные вопросы и задания

1. На некоторых обогатительных фабриках иногда барабаны (емкости) из-под цианида натрия обезвреживают 10%-ным раствором железного купороса $FeSO_4$. Напишите уравнения реакции, ведущих к образованию в этих условиях циановодородной кислоты, и покажите тем самым, что такой способ растворения цианидов абсолютно недопустим. При подкислении до $pH \leq 9$ работать с растворами цианида натрия опасно; безопасно при $pH > 10$.

2. Раствор основания и раствор кислоты смешивают в эквивалент-

ных соотношениях. Для каких из перечисленных пар раствор будет иметь нейтральную реакцию:

а) $NH_4OH + HCl$, б) $NH_4OH + CH_3COOH$, в) $NaOH + HCl$,

г) $NaOH + CH_3COOH$?

3. Сточные воды обогатительных фабрик, содержащие гидрокарбонат кальция, очищают от коллоидных примесей (удалить которые отстаиванием и фильтрованием невозможно) добавлением к ним сульфата алюминия. Образующийся хлопьевидный $Al(OH)_3$ обволакивает коллоидные частицы примесей и вызывает их осаждение. Объясните образование $Al(OH)_3$ и напишите уравнение реакции.

4. Определить, возможна ли реакция окисления сфалерита кислородом воздуха в стандартных условиях, если

$$ZnS_{(к)} + 2O_{2(г)} + 7H_2O_{(ж)} = ZnSO_4 \cdot 7H_2O_{(р)}.$$

ΔG^0_{298}, кДж/моль	-201	-237	-2564

Сделайте вывод о кислотности рудничных вод, содержащих в качестве продукта выветривания сульфат цинка, записав уравнение реакции гидролиза в молекулярном и ионном виде.

5. При окислении пирита, преобладающего в колчеданных рудах, кислородом, растворенным в воде, выделяется сульфат железа (III). Поступая с нисходящим током растворов в нижние горизонты, он реагирует с породой. Сделайте вывод о составе породы, если наблюдается совместное образование гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и лимонита $Fe(OH)_3$. Напишите уравнение реакции взаимодействия сульфата железа (III) и породы.

6. Объясните, приведя молекулярно-ионное уравнение, почему при нагревании раствора $NaHCO_3$ реакция среды из слабощелочной переходит в сильнощелочную.

7. В водном растворе хлорида цинка при нагревании происходит растворение кусочка металлического цинка. Напишите уравнения реакции, объясняя причину выделения водорода.

8. В жесткой воде ионы железа обычно присутствуют в виде гидрокарбоната железа (II). При хранении такой воды в открытых сосудах, железо окисляется кислородом воздуха, вода мутнеет из-за выпадения в осадок $Fe(OH)_3$. Напишите уравнение реакции, в результате которой образуется гидроксид железа (III).

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

И. А. Низова, Н. А. Зайцева

ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ ПО КУРСУ «ХИМИЯ»

ЧАСТЬ II

Окислительно-восстановительные реакции

Учебное пособие для студентов горно-технологического факультета

Екатеринбург

2020

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

И. А. Низова, Н. А. Зайцева

ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ ПО КУРСУ «ХИМИЯ»

ЧАСТЬ II

Окислительно-восстановительные реакции

Учебное пособие для студентов

ФАКУЛЬТЕТА ФГИГ

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

Рецензент: Г. Л. Левит, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института органического синтеза УрО РАН

Низова И.А., Зайцева Н.А.

ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ ПО КУРСУ «ХИМИЯ», часть II. Окислительно-восстановительные процессы: учебное пособие / И.А. Низова, Н.А. Зайцева – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. – 30 с.

В учебном пособии изложены краткие сведения об окислительно восстановительных процессах и основных приемах составления уравнений окислительно-восстановительных реакций. Пособие содержит 20 вариантов заданий для внеаудиторной самостоятельной работы по каждой теме.

Для студентов горно-технологического факультета.

© Низова И.А., Зайцева Н.А. 2017

© Уральский государственный горный университет, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Степени окисления элементов. Окислители и восстановители…….……6

2. Классификация окислительно-восстановительных реакций…….…….8

3. Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций. Метод электронного баланса……..10

4. Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций. Метод электронно - ионного баланса (метод полуреакций)…….13

5. Направление протекания окислительно-восстановительных реакций…….…22

Список литературы……..20

Окислительно-восстановительными реакциями (ОВР) называют реакции, протекающие с изменением степени окисления элементов.

1. Степени окисления элементов. Окислители и восстановители.

Степень окисления – условный заряд атома, рассчитанный из предположения, что все связи в соединении ионные.

Правила вычисления степени окисления:

1. Сумма степеней окисления всех атомов, входящих в молекулу равно нулю, а всех атомов, составляющих сложный ион – заряду иона.

2. Степень окисления атома в простом веществе равна нулю.

3. Некоторые элементы имеют в соединениях постоянную степень окисления:

Фтор – только –1

Щелочные металлы (Na, K, Li, Rb, Cs) – только +1

Щелочноземельные металлы (Ca, Sr, Ba), Zn, Mg, Be - только +2

Алюминий – только +3.

4. Водород почти во всех соединениях имеет степень окисления +1. Исключение составляют гидриды металлов (NaH, CaH_2 и др.), где степень окисления водорода отрицательна (–1). Кислород почти во всех соединениях имеет степень окисления –2. Исключение составляют фторид кислорода OF_2, (степень окисления кислорода +1) и пероксиды H_2O_2, Na_2O_2 и т.д. (степень окисления кислорода –1).

5. Максимальная положительная степень окисления элемента обычно совпадает с номером его группы в периодической системе. Максимальная отрицательная степень окисления элемента равна максимальной положительной степени окисления минус восемь. Исключение составляют фтор, кислород, железо: их высшая степень окисления выражается числом, значение которого ниже, чем номер группы, к которой они относятся. У элементов подгруппы меди, наоборот, высшая степень окисления больше единицы, хотя они и относятся к I группе.

Во время ОВР происходит обмен электронами: окислитель присоединяет электроны (сам при этом восстанавливается), восстановитель отдает электроны

(сам при этом окисляется). Окисление всегда сопровождается восстановлением и наоборот. Число электронов, отдаваемых восстановителем, всегда равно числу электронов, принимаемых окислителем.

Важнейшими окислителями и восстановителями могут быть как простые, так и сложные вещества. Так как окислитель содержит в своем составе элемент, понижающий степень окисления, а восстановитель содержит элемент, степень окисления которого повышается в ходе реакции, окислителями могут быть прежде всего соединения высших ступеней окисления, а восстановителями - низших степеней окисления, присущих данному элементу.

Из простых веществ сильными окислителями являются неметаллы верхней части VI и VII групп периодической системы, за счёт высокой электроотрицательности их атомов. Сильнее всего окислительные свойства выражены у фтора F_2, но в практике чаще пользуются в качестве окислителей кислородом O_2, озоном O_3, хлором Cl_2 и бромом Br_2. К простым веществам – восстановителям относятся водород H_2, углерод C и металлы, из которых на практике чаще применяют алюминий, магний, натрий и цинк.

Из сложных веществ в лабораторной практике наиболее часто используются следующие окислители: перманганат калия $KMnO_4$; дихромат калия $K_2Cr_2O_7$; растворы азотной кислоты HNO_3 различных концентраций; концентрированная серная кислота H_2SO_4; пероксид (перекись) водорода; оксиды марганца (IV) MnO_2, и свинца (IV) PbO_2; смесь концентрированных азотной и соляной кислот (1:3, «царская водка), хлорная кислота $HClO_4$.

Из сложных веществ в лабораторной практике наиболее часто используются следующие восстановители: иодид калия KI; сульфит натрия Na_2SO_3; сульфид натрия Na_2S и сероводород H_2S; хлорид олова $SnCl_2$, монооксид углерода (угарный газ) аммиак NH_3.

Некоторые из этих веществ проявляют как окислительные, так и восстановительные свойства в зависимости от ОВР: CO, H_2O_2, MnO_2, так как содержат элемент в промежуточной степени окисления.

Вопросы для самостоятельной работы

1. Определите степени окисления всех элементов, входящих в состав следующих веществ:

Номер варианта	Вещества	Номер варианта	Вещества
1	MnO_2, CH_4, Cl_2, $KMnO_4$	11	HF, Zn, H_3PO_4, NH_4Cl
2	H_2O_2, H_2SO_4, I_2, $K_2Cr_2O_7$	12	H_2SO_3, NaH_2SbO_3, Au, $ZnCl_2$
3	NaH, F_2, K_2HPO_4, N_2H_4	13	NH_4HS, P, C_6H_6, $Ba(ClO_4)_2$
4	OF_2, C_2H_6, O_2, K_2MnO_4	14	$NaNO_2$, $Ca(HS)_2$, Ag, PH_3
5	CaH_2, C_2H_4, Br_2, $Fe_2(SO_4)_3$	15	$BaCO_3$, AsH_3, Ca, Na_3SbO_4
6	PbO_2, C_2H_2, O_3, $MnOHNO_3$	16	HNO_3, Xe, $KClO_4$, NH_4OH
7	Na_2O_2, N_2, H_2O, K_2SiO_3	17	$Sn(OH)_2$, $CuCl_2$, K_2S, Mn
8	H_2S, Mg, Na_3SbO_3, $Cr(OH)_3$	18	Al_2S_3, Na_2SO_3, $NaClO$, Se
9	Na_2S, NH_3, H_2, $KHCO_3$	19	$NaClO_2$, Al_4C_3, He, $Bi(NO_3)_3$,
10	AlP, CO, HCl, NH_4NO_3	20	$NaHSO_3$, Si, Na_3AsO_3, $Cr(OH)_3$

2. В каких из перечисленных соединений хлор может проявлять только окислительные свойства: $NaCl$, $NaClO$, HCl, $KClO_3$, $NaClO_4$, Cl_2O_7, $HClO_2$?

3. В каких из перечисленных соединений азот может проявлять только восстановительные свойства: $NaNO_2$, NO, N_2O_3, N_2H_4, N_2O, HNO_3, N_2O_5, NH_4NO_3, NH_3, NH_4Cl?

4. В каких из перечисленных соединений сера может быть как окислителем, так и восстановителем: H_2SO_4, $Ca(HS)_2$, H_2S, Na_2SO_3, Na_2S, SO_2, $Na_2S_2O_3$, SO_3, SO?

2. Классификация окислительно–восстановительных реакций

Окислительно-восстановительные реакции обычно разделяют на три типа: межмолекулярные, внутримолекулярные и реакции диспропорционирования (самоокисления-самовосстановления). Иногда в эту классификацию добавляют четрветрый тип – реакции конпропорционирования.

1) Межмолекулярные реакции протекают с изменением степени окисления атомов, которые находятся в различных молекулах. Например:

$$2\ Al + Fe_2O_3 \xrightarrow{t^o} Al_2O_3 + 2\ Fe,$$

$$C + 4\ HNO_{3(конц)} = CO_2 \uparrow + 4\ NO_2 \uparrow + 2\ H_2O.$$

2) К внутримолекулярным реакциям относятся такие реакции, в которых окислитель и восстановитель входят в состав одной и той же молекулы, например:

$$2Cu(NO_3)_2 \xrightarrow{t^o} 2CuO + 4NO_2 + O_2\uparrow$$

$$2\ KNO_3 \xrightarrow{t^o} 2\ KNO_2 + O_2\uparrow.$$

3) В реакциях диспропорционирования (самоокисления-самовосстановления) один и тот же элемент является и окислителем, и восстановителем:

$$Cl_2 + 2\ KOH \xrightarrow{\text{на холоду}} KCl + KClO + H_2O,$$

$$2\ NO_2 + 2\ NaOH \rightarrow NaNO_2 + NaNO_3 + H_2O.$$

4) В реакциях конпропорционирования один и тот же химический элемент, имеющий разные степени окисления, в результате приводится к единой степени окисления:

$$NH_4NO_3 \rightarrow N_2O + 2H_2O$$

$$NH_4NO_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O$$

Вопросы для самостоятельной работы

1. Какие из перечисленных веществ могут вступать в реакции диспропорционирования: HNO_3, HNO_2, H_2SO_4, NH_4NO_3, Br_2, H_2O_2, CaH_2?

2. Приведите пример реакции межмолекулярного конпропорционирования.

3. Является ли реакция разложения перманганата калия реакцией диспропорционирования? Реакцией конпропорционирования?

$$2\ KMnO_4 \xrightarrow{t^o} K_2MnO_4 + MnO_2 + 2O_2\uparrow$$

3. Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций. Метод электронного баланса

Для составления уравнений ОВР используются два метода: метод электронного баланса и метод полуреакций (электронно-ионного баланса). При использовании любого из этих методов прежде всего необходимо определить окислитель и восстановитель, рассчитав степени окисления всех элементов в левой и правой частях уравнения. Затем записать отдельно процесс окисления и процесс восстановления, соблюдая принцип электронного баланса: число электронов, отданных восстановителем, должно быть равно числу электронов, принятых окислителем.

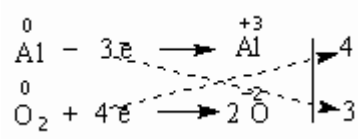
Метод электронного баланса универсален, он позволяет определить коэффициенты реакциях, протекающих как в растворах, так и без растворителя, в веществах в любых агрегатных состояниях. Он удобен для написания реакций термического разложения, взаимодействия двух простых веществ

Пример 1. $Al + O_2 \rightarrow Al_2O_3$

Определим степени окисления:

$$\overset{0}{Al} + \overset{0}{O_2} = \overset{+3\ -2}{Al_2O_3}$$

Алюминий отдает электроны (приобретает положительную степень окисления), а кислород – принимает электроны (приобретает отрицательную степень окисления). Чтобы получить степень окисления +3, атом алюминия должен отдать 3 электрона. Молекула кислорода, чтобы превратиться в кислородные атомы со степенью окисления –2, должна принять 4 электрона:



Чтобы количество отданных и принятых электронов выровнялось, первое уравнение надо умножить на 4, а второе – на 3. Для этого достаточно переместить числа отданных и принятых электронов против верхней и нижней строчки так, как показано на схеме вверху.

Если теперь в уравнении перед восстановителем (Al) мы поставим найденный нами коэффициент 4, а перед окислителем (O_2) – найденный нами коэффициент 3, то количество отданных и принятых электронов выравнивается и становится равным 12. Электронный баланс достигнут. Видно, что перед продуктом реакции Al_2O_3 необходим коэффициент 2. Теперь уравнение окислительно-восстановительной реакции уравнено:

$$4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3$$

Пример 2. $(NH_4)_2Cr_2O_7 \xrightarrow{t^o} N_2 + Cr_2O_3 + H_2O$

Определим степени окисления:

$$\overset{-3+1}{(NH_4)_2}\ \overset{+6}{Cr_2}\ \overset{-2}{O_7} = \overset{0}{N_2} + \overset{+3}{Cr_2}\overset{-2}{O_3} + \overset{+1}{H_2}\overset{-2}{O}$$

Азот отдаёт электроны, хром получает.

$$2N^{-3} - 6\bar{e} = N_2^0$$
$$2Cr^{+6} + 6\bar{e} = 2\ Cr^{+3}$$

Число электронов отданных и принятых одинаково, электронный баланс достигнут. Видно, что перед продуктом реакции H_2O необходим коэффициент 4. Теперь уравнение окислительно-восстановительной реакции уравнено:

$$(NH_4)_2Cr_2O_7 \xrightarrow{t^o} N_2\uparrow + Cr_2O_3 + 4\ H_2O$$

Пример 3. $Hg(NO_3)_2 \rightarrow Hg + NO_2 + O_2$

Определим степени окисления:

$$\overset{+2}{Hg}\ \ \overset{+5}{(N}\ \overset{-2}{O_3)_2} = \overset{0}{Hg} + \overset{+4}{N}\overset{-2}{O_2} + \overset{0}{O_2}$$

Кислород отдаёт электроны, ртуть и азот получают, здесь вместо привычных двух участников обмена электронами их сразу три:

$$2O^{-2} - 4\bar{e} = O_2^0$$
$$2N^{+5} + 1\ \bar{e} = 2\ N^{+4}$$
$$Hg^{+2} + 2\ \bar{e} = Hg^0$$

Число электронов отданных и принятых одинаково, электронный баланс достигнут. Видно, что перед продуктом реакции NO_2 необходим коэффициент 2. Теперь уравнение окислительно-восстановительной реакции уравнено:

$$Hg(NO_3)_2 \rightarrow Hg + 2NO_2 + O_2$$

Задания для самостоятельной работы

1. Расставьте коэффициенты уравнениях реакций разложения методом электронного баланса (по вариантам). Укажите окислитель и восстановитель:

Номер варианта	Схема реакции	Номер варианта	Схема реакции
1	$Mn(NO_3)_2 \rightarrow MnO_2 + NO_2$	11	$BaO_2 \rightarrow BaO + O_2$
2	$K_2MnO_4 \rightarrow K_3MnO_4\ MnO_2 + O_2$	12	$AgNO_3 \rightarrow Ag + NO_2 + O_2$
3	$Zn(NO_3)_2 \rightarrow ZnO + NO_2 + O_2$	13	$FeSO_4 \rightarrow Fe_2O_3 + SO_2 + SO_3$
4	$K_2Cr_2O_7 \rightarrow O_2 + Cr_2O_3 + K_2CrO_4$	14	$KClO_4 \rightarrow KCl + O_2$
5	$Fe(NO_3)_2 \rightarrow Fe_2O_3 + NO_2 + O_2$	15	$CdSO_3 \rightarrow CdSO_4 + CdS$
6	$KMnO_4 \rightarrow K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2$	16	$HNO_3 \rightarrow H_2O + NO_2 + O_2$
7	$Fe(NO_3)_2 \rightarrow Fe_2O_3 + NO_2 + O_2$	17	$NaClO_2 \rightarrow NaClO_3 + NaCl$
8	$HNO_2 \rightarrow NO + NO_2 + H_2O$	18	$KClO_3 \rightarrow KCl + O_2$
9	$Co(NO_3)_2 \rightarrow CoO + NO_2 + O_2$	19	$SnSO_4 \rightarrow SnO_2 + SO_2$
10	$LiNO_3 \rightarrow Li_2O + NO_2 + O_2$	20	$Ni(NO_3)_2 \rightarrow Ni(NO_2)_2 + O_2$

2. Расставьте коэффициенты уравнениях реакций замещения методом электронного баланса (по вариантам). Укажите окислитель и восстановитель:

Номер варианта	Схема реакции	Номер варианта	Схема реакции
1	$Fe_2O_3 + C \rightarrow CO_2 + Fe$	11	$Zn + AgNO_3 \rightarrow Zn(NO_3)_2 + Ag$
2	$KBr + Cl_2 \rightarrow KCl + Br_2$	12	$Al_2O_3 + Mg \rightarrow MgO + Al$
3	$Fe_2O_3 + H_2 \rightarrow H_2O + Fe$	13	$MnO_2 + Al \rightarrow Al_2O_3 + Mn$
4	$Al + H_2SO_4 \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + H_2$	14	$H_2S + Br_2 \rightarrow S + HBr$
5	$O_2 + HI \rightarrow H_2O + I_2$	15	$CuCl_2 + Cr \rightarrow Cu + CrCl_3$
6	$Al + CuSO_4 \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + Cu$	16	$Mg + SiO_2 \rightarrow MgO + Si$
7	$Ca + H_2O \rightarrow H_2 + Ca(OH)$	17	$NaI + Cl_2 \rightarrow NaCl + I_2$
8	$TiO_2 + Mg \rightarrow MgO + Ti$	18	$Na + H_2O \rightarrow H_2 + NaOH$
9	$Al + FeO \rightarrow Al_2O_3 + Fe$	19	$KClO_3 + I_2 \rightarrow KIO_3 + Cl_2$
10	$KI + Br_2 \rightarrow KBr + I_2$	20	$Al + H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + H_2$

4. Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций. Метод электронно - ионного баланса (метод полуреакций).

Метод полуреакций применим преимущественно для реакций в растворах, зато он позволяет определить коэффициенты не только у окислителя и восстановителя, но и вещества, определяющего среду раствора (кислота, щёлочь, вода), и более удобен для тех реакций, где участвуют органические молекулы. От метода электронного баланса он отличается тем, что окисление и восстановление записывают не для отдельных атомов, а для частиц, реально присуствующих в растворе: катионов, анионов, молекул. Сильные электролиты записываются в виде ионов, слабые электролиты, газы, нерастворимые вещества – в виде молекул. Для материального баланса по кислороду и водороду используются ионы H^+ или OH^- и молекулы воды. При использовании этого метода, кроме алгоритма составления полуреакций, необходимо придерживаться нескольких правил:

1. В кислой среде ни в левой, ни в правой части не должно быть ионов OH^- . Уравнивание осуществляется за счет ионов H^+ и молекул воды.
2. В щелочной среде ни в левой, ни в правой части не должно быть ионов H^+. Уравнивание осуществляется за счет ионов OH^- и молекул воды.
3. В нейтральной среде ни ионов H^+, ни OH^-в левой части быть не должно. Однако в правой части среди продуктов реакции они могут появиться.

Алгоритм подбора коэффициентов в уравнениях ОВР методом ионно-электронного баланса:

1. Составить молекулярную схему реакции с указанием исходных веществ и продуктов реакции.

2. Составить полную ионно-молекулярную схему реакции, записывая слабые электролиты, малорастворимые, нерастворимые и газообразные вещества в молекулярном виде, а сильные электролиты – в ионном.

3. Исключив из ионно-молекулярной схемы ионы, не изменяющиеся в результате реакции (без учета их количества), переписать схему в кратком ионно-молекулярном виде.

4. Отметить элементы, изменяющие в результате реакции степень окисления; найти окислитель, восстановитель, продукты восстановления, окисления.

5. Составить схемы полуреакций окисления и восстановления, для этого:

а) указать восстановитель и продукт окисления, окислитель и продукт восстановления;

б) уравнять число атомов каждого элемента в левой и правой частях полуреакций (выполнить баланс по элементам) в последовательности: элемент, изменяющий степень окисления, кислород, другие элементы; при этом следует помнить, что в водных растворах в реакциях могут участвовать молекулы H_2O, ионы H^+ или OH^- в зависимости от характера среды:

Процесс	Кислая среда	Нейтральная среда	Щелочная среда
Связывание избытка кислорода	$O^{-2}+2H^+ =H_2O$	$O^{-2}+H_2O=2OH^-$	$O^{-2}+H_2O=2OH^-$
Восполнение недостатка кислорода	$H_2O= O^{-2}+2H^+$	$H_2O = O^{-2}+2H^+$	$2OH^-=O^{-2}+H_2O$

в) уравнять суммарное число зарядов в обеих частях полуреакций; для этого прибавить или отнять в левой части полуреакций необходимое число электронов (баланс по зарядам).

6. Найти наименьшее общее кратное (НОК) для числа отданных и полученных электронов.

7. Найти основные коэффициенты при каждой полуреакции. Для этого полученное в п.6 число (НОК) разделить на число электронов, фигурирующих в данной полуреакции.

8. Умножить полуреакции на полученные основные коэффициенты, сложить их между собой: левую часть с левой, правую – с правой (получить ионно-молекулярное уравнение реакции). При необходимости “привести подобные” ионы с учетом взаимодействия между ионами водорода и гидроксид-ионами: $H^+ + OH^- = H_2O$.

9. Расставить коэффициенты в молекулярном уравнении реакции.

10. Провести проверку по частицам, не участвующим в ОВР, исключенным из полной ионно-молекулярной схемы (п.3). При необходимости коэффициенты для них находят подбором.

11. Провести окончательную проверку по кислороду.

Пример 3. В кислой среде:

$K_2Cr_2O_7 + KJ + H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + J_2 + H_2O + K_2SO_4$

3 $2J^- - 2\bar{e} = J_2$

1 $Cr_2O_7^{2-} + 6\bar{e} + 14H^+ = 2Cr^{+3} + 7H_2O$

Суммарное молекулярное уравнение реакции:

$K_2Cr_2O_7 + 6KJ + 7H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 3J_2 + 7H_2O + 4K_2SO_4$

Пример 4. В щелочной среде:

$KCrO_2 + KClO_4 + KOH \rightarrow K_2CrO_4 + KCl + H_2O$

8 $CrO_2^- - 3\bar{e} + 4OH^- \rightarrow CrO_4^{2-} + 2H_2O$

3 $ClO_4^- + 8\bar{e} + 4H_2O \rightarrow Cl^- + 8OH^-$

Суммарное молекулярное уравнение реакции

$8KCrO_2 + 3KClO_4 + 8KOH \rightarrow 8K_2CrO_4 + 3KCl + 4H_2O$

Пример 5. В нейтральной среде:

$KMnO_4 + MnSO_4 + H_2O \rightarrow MnO_2 + K_2SO_4 + H_2SO_4$

3 $Mn - 2\bar{e} + 2H_2O = MnO_2 + 4H^+$

2 $MnO_4 + 3\bar{e} + 2H_2O = MnO_2 + 4OH^-$

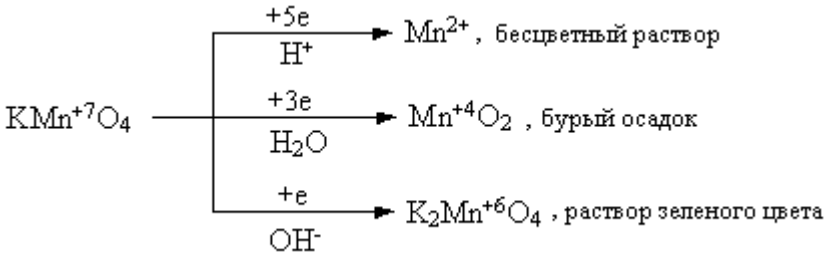
Суммарное молекулярное уравнение реакции:

$2KMnO_4 + 3MnSO_4 + 2H_2O = 5MnO_2 + K_2SO_4 + 2H_2SO_4$

Примеры некоторых часто используемых ОВР:

1) Окислительно-восстановительные реакции с участием перманганата калия

В зависимости от среды (кислая, нейтральная, щелочная) перманганат калия, выступая в качестве окислителя, дает различные продукты восстановления:



Ниже приведены реакции $KMnO_4$ с сульфидом калия в качестве восстановителя в различных средах В этих реакциях продуктом окисления сульфид-иона является свободная сера. В щелочной среде молекулы КОН не принимают участие в реакции, а лишь определяют продукт восстановления перманганата калия.

$$5\ K_2S + 2\ KMnO_4 + 8\ H_2SO_4 = 5\ S\downarrow + 2\ MnSO_4 + 6\ K_2SO_4 + 8\ H_2O,$$

$$3\ K_2S + 2\ KMnO_4 + 4\ H_2O \rightarrow 2\ MnO_2\downarrow + 3\ S\downarrow + 8\ KOH,$$

$$K_2S + 2\ KMnO_4 \xrightarrow{-(KOH)} 2\ K_2MnO_4 + S\downarrow.$$

2) Окислительно-восстановительные реакции с участием дихромата калия

В кислой среде дихромат калия является сильным окислителем. Смесь $K_2Cr_2O_7$ и концентрированной H_2SO_4 (хромпик, хромовая смесь) широко используется в лабораторной практике в качестве окислителя. Взаимодействуя с восстановителем одна молекула дихромата калия принимает шесть электронов, образуя соединения трехвалентного хрома:

$$6\ FeSO_4 + K_2Cr_2O_7 + 7\ H_2SO_4 = 3\ Fe_2(SO_4)_3 + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7\ H_2O;$$

$$6\ KI + K_2Cr_2O_7 + 7\ H_2SO_4 = 3\ I_2\downarrow + Cr_2(SO_4)_3 + 4\ K_2SO_4 + 7\ H_2O.$$

3) Окислительно-восстановительные реакции с участием пероксида водорода

Пероксид водорода и нитрит калия проявляют преимущественно окислительные свойства:

$$H_2S + H_2O_2 = S\downarrow + 2\ H_2O,$$

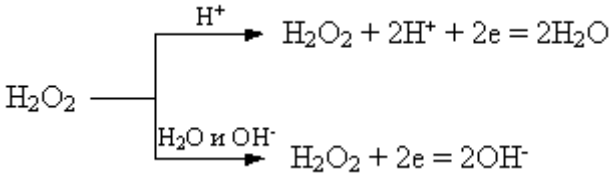
$$2\ KI + 2\ KNO_2 + 2\ H_2SO_4 = I_2\downarrow + 2\ K_2SO_4 + H_2O,$$

Однако, при взаимодействии с сильными окислителями (такими как, например, $KMnO_4$), пероксид водорода и нитрит калия выступают в качестве восстановитеей:

$$5\ H_2O_2 + 2\ KMnO_4 + 3\ H_2SO_4 = 5\ O_2 + 2\ MnSO_4 + K_2SO_4 + 8\ H_2O,$$

$$5\ KNO_2 + 2\ KMnO_4 + 3\ H_2SO_4 = 5\ KNO_3 + 2\ MnSO_4 + K_2SO_4 + 3\ H_2O.$$

Пероксид водорода в зависимости от среды восстанавливается по-разному:



При этом в результате реакций образуется вода или гидроксид-ионы:

$$2\ FeSO_4 + H_2O_2 + H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 2\ H_2O,$$

$$2\ KI + H_2O_2 = I_2\downarrow + 2\ KOH.$$

Задания для самостоятельной работы

Расставьте коэффициенты уравнениях методом полуреакций. Укажите окислитель и восстановитель.

Вариант 1.

1) $Zn + H_2SO_{4(конц.)} \rightarrow ZnSO_4 + SO_2\uparrow + H_2O$

2) $Br_2 + KOH \rightarrow KBr + KBrO_3 + H_2O$

3) $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 + H_2O_2 \rightarrow O_2\uparrow + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + H_2O$

4) $C_3H_6 + KMnO_4 + H_2O \rightarrow MnO_2\downarrow + C_2H_6(OH)_2 + KOH$

Вариант 2

1) $Zn + H_2SO_{4(конц.)} \rightarrow ZnSO_4 + S\downarrow + H_2O$

2) $S + KOH \rightarrow K_2S + K_2SO_3 + H_2O.$

3) $BaS + HNO_{3(конц.)} \rightarrow Ba(NO_3)_2 + S\downarrow + NO_2\uparrow + H_2O$

4) $CH_2{=}C(CH_3)_2 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + CH_3(CO)CH_3 + H_2O + CO_2\uparrow$

Вариант 3

1) $Zn + H_2SO_{4(конц.)} \rightarrow ZnSO_4 + H_2S\uparrow + H_2O$

2) $NO_2 + NaOH \rightarrow NaNO_2 + NaNO_3 + H_2O$

3) $CrCl_3 + Cl_2 + H_2O \rightarrow K_2Cr_2O_7 + HCl$

4) $CH_3C{=}C(CH_3)_2 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + CH_3(CO)CH_3 + H_2O + CH_3COOH$

Вариант 4

1) $Al + H_2SO_{4(конц., гор.)} \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + H_2S\uparrow + H_2O$

2) $AuCl_3 + H_2O_2 + KOH \rightarrow Au + H_2O + O_2\uparrow + KCl$

3) $KMnO_4 + Fe(OH)_2 + H_2O \rightarrow MnO_2\downarrow + Fe(OH)_3\downarrow + KOH$

4) $C_5H_{10} + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O + C_2H_5COOH + CH_3COOH$

Вариант 5

1) $Ag + H_2SO_{4(конц., гор.)} \rightarrow Ag_2SO_4\downarrow + SO_2\uparrow + 2H_2O$

2) $NH_4HS + HNO_{3(конц.)} \rightarrow S\downarrow + 2NO_2\uparrow + NH_4NO_3 + 2H_2O$

3) $MnSO_4 + H_2O_2 + KOH \rightarrow MnO_2\downarrow + K_2SO_4 + H_2O$

4) $C_6H_{12} + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O + C_2H_5COOH$

Вариант 6

1) $Bi + H_2SO_4 \rightarrow Bi_2(SO_4)_3 + SO_2\uparrow + H_2O$

2) $CuS + HNO_3 \rightarrow NO_2\uparrow + CuSO_4 + H_2O$

3) $C + H_2SO_{4(конц.)} + K_2Cr_2O_{7(конц.)} \rightarrow CO_2\uparrow + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + H_2O$

4) $HCOH + NaOH + I_2 \rightarrow HCOONa + NaI + H_2O$

Вариант 7

1) $Ag + HNO_{3(разб.)} \rightarrow AgNO_3 + NO\uparrow + H_2O$

2) $Cr_2(SO_4)_3 + Br_2 + KOH \rightarrow K_2CrO_4 + KBr + K_2SO_4 + H_2O$

3) $Br_2 + S + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + HBr$

4) $CH_3C{\equiv}CCH_3 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + CH_3COOH + H_2O$

Вариант 8

1) $Ba + HNO_{3(разб.)} \rightarrow Ba(NO_3)_2 + N_2O\uparrow + H_2O$

2) $MnO_2 + HCl \rightarrow MnCl_2 + H_2O + Cl_2\uparrow$

3) $As_2O_3 + NaOH + NaNO_3 \rightarrow Na_3AsO_4 + NaNO_2 + H_2O$

4) $C_6H_5\text{-}CH_3 + KMnO_4 \rightarrow C_6H_5COOK + KOH + MnO_2\downarrow + H_2O$

Вариант -9

1) $Be + HNO_{3(разб., гор.)} \rightarrow Be(NO_3)_2 + NO\uparrow + H_2O$

2) $P + H_2SO_4 \rightarrow H_3PO_4 + SO_2\uparrow + H_2O$

3) $Bi(NO_3)_3 + NaClO + NaOH_{(конц.)} \rightarrow NaBiO_3\downarrow + NaNO_3 + NaCl + H_2O$

4) $C_6H_5\text{-}C_2H_5 + KMnO_4 \rightarrow C_6H_5COOK + K_2CO_3 + MnO_2 + H_2O$

Вариант 10

1) $Cd + HNO_{3(конц.)} \rightarrow Cd(NO_3)_2 + NO_2\uparrow + 2H_2O$

2) $AlBr_{3(тверд.)} + H_2SO_{4(конц.)} \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + Br_2 + SO_2\uparrow + H_2O$

3) $AsH_3 + NaOH_{(разб.)} + NaClO \rightarrow Na_3AsO_4 + NaCl + H_2O$

4) $C_6H_5\text{-}CH_3 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + C_6H_5\text{-}COOH + H_2O$

Вариант 11

1) $Ca + HNO_{3(разб.)} \rightarrow Ca(NO_3)_2 + N_2O\uparrow + H_2O$

2) $NH_4I_{(тверд.)} + H_2SO_{4(конц.)} \rightarrow I_2\downarrow + H_2S\uparrow + H_2O + NH_4HSO_4$

3) $Bi(OH)_3 + KOH_{(конц.)} + KMnO_4 \rightarrow KBiO_3\downarrow + K_2MnO_4 + H_2O$

4) $C_6H_5\text{-}CH(CH_3)_2 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + C_6H_5\text{-}COOH + H_2O + CO_2\uparrow$

Вариант 12

1) $Ba + HNO_{3(оч.\ разб.)} \rightarrow Ba(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + H_2O$

2) $Au_2S_3 + HNO_{3(конц.)} \rightarrow Au\downarrow + H_2SO_4 + NO_2\uparrow + H_2O$

3) $HBrO_3 + H_2O + S \rightarrow HBr + H_2SO_4$

4) $C_6H_5\text{-}CH_3 + K_2Cr_2O_4 + H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + C_6H_5\text{-}COOH + H_2O$

Вариант 13

1) $Bi + HNO_{3(разб.)} \rightarrow Bi(NO_3)_3 + NO\uparrow + H_2O$

2) $PbO_2 + HCl \rightarrow PbCl_2 + Cl_2 + H_2O$

3) $AsH_3 + H_2O + AgNO_3 \rightarrow As_2O_3\downarrow + Ag\downarrow + HNO_3$

4) $CH_3{\equiv}CCH_3 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + CH_3COOH + H_2O + CO_2$

Вариант 14

1) $Cd + HNO_{3(конц.)} \rightarrow Cd(NO_3)_2 + NO_2\uparrow + H_2O$

2) $C_2N_2 + KOH \rightarrow KCN + KCNO + H_2O$

3) $H_2SO_3 + I_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + HI$

4) $C_4H_8 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + CO_2\uparrow + H_2O + C_2H_5COOH$

Вариант 15

1) $Cu + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + SO_2\uparrow + H_2O$

2) $AlP + HNO_{3(конц.,\ гор.)} \rightarrow Al(NO_3)_3 + H_3PO_4 + NO_2\uparrow + H_2O$

3) $Br_2 + SO_2 + H_2O \rightarrow HBr + H_2SO_4$

4) $C_2H_4 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$

Вариант 16

1) $Cu + HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + NO + H_2O$

2) $H_2Cr_2O_7 + H_2O_2 \rightarrow H_2CrO_6 + H_2O.$

3) $Si + NaOH + H_2O \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2\uparrow$

4) $C_2H_2 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$

Вариант 17

1) $As + H_2SO_{4(конц.,\ гор.)} \rightarrow As_2O_3\downarrow + SO_2\uparrow + H_2O$

2) $B_2S_3 + HNO_{3(конц.)} \rightarrow H_3BO_3\downarrow + H_2SO_4 + NO_2\uparrow + H_2O$

3) $SiH_4 + NaOH + H_2O \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2\uparrow$

4) $C_6H_5\text{-}CH(CH_3)_2 + KMnO_4 + H_2O \rightarrow MnO_2\downarrow + C_6H_5COOK + K_2CO_3 + KOH$

Вариант 18

1) $Fe + H_2SO_{4(конц.)} \overset{\circ}{\rightarrow} Fe_2(SO_4)_3 + SO_2\uparrow + H_2O$

2) $I_2 + H_2O_2 \rightarrow HIO_3 + H_2O$

3) $B + KOH + H_2O \rightarrow KBO_2 + H_2\uparrow$

4) $C_3H_4 + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + CH_2(COOH)_2 + H_2O$

Вариант 19

1) $As + HNO_{3(конц.)} \rightarrow H_3AsO_4 + NO_2\uparrow + H_2O$

2) $K_2C_2O_4 + H_2SO_4 \rightarrow KHSO_4 + CO\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O$

3) $Pb(CH_3COOH)_2 + CaOCl_2 + H_2O \rightarrow PbO_2\downarrow + CaCl_2 + CH_3COOH$

4) $CH_3COCH_3 + I_2 + NaOH \rightarrow CHI_3 + CH_3COONa + NaI + H_2O$

Вариант 20

1) $C + HNO_{3(конц., гор.)} \rightarrow CO_2\uparrow + NO_2\uparrow + H_2O$

2) $HBr_{(конц.)} + H_2SO_{4(конц.)} \rightarrow Br_2 + SO_2\uparrow + H_2O$

3) $AgNO_3 + NaOH + H_2O_2 \rightarrow Ag\downarrow + NaNO_3 + H_2O + O_2\uparrow$

4) $KMnO_4 + (COOH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + CO_2\uparrow + K_2SO_4 + H_2O$

Дополнительные уравнения

1. $Au_2S_3 + HNO_{3(конц.)} \rightarrow Au\downarrow + H_2SO_4 + NO_2\uparrow + H_2O$
2. $As_2S_3 + H_2SO_{4(конц.)} \rightarrow As_2O_3\downarrow + SO_2\uparrow + H_2O$
3. $HNO_3 + Cu_2S \rightarrow NO_2\uparrow + H_2O + CuSO_4 + Cu(NO_3)_2$
4. $SiC + NaOH + O_2 \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O + Na_2CO_3$
5. $Bi(NO_3)_3 + Na_2O_2 + NaOH \rightarrow NaBiO_3 + NaNO_2 + H_2O + O_2$
6. $AgCN + HNO_{3(конц., гор.)} \rightarrow AgNO_3 + NO_2\uparrow + NH_4NO_3 + CO_2\uparrow$
7. $Al + NaOH + 6H_2O \rightarrow Na[Al(OH)_4] + H_2$
8. $Au + HCl + HNO_3 \rightarrow H[AuCl_4] + NO + H_2O$
9. $[Co(H_2O)_6]^{2+} + NH_3 + O_2 + H^+ \rightarrow [Co(NH_3)_6]^{3+} + H_2O.$
10. $Au + NaCN + H_2O + O_2 \rightarrow Na[Au(CN)_2] + NaOH$
11. $Pt + HNO_3 + HCl \rightarrow H_2[PtCl_6] + NO + H_2O$
12. $Na[Au(CN)_2] + Zn \rightarrow Na_2[Zn(CN)_4] + Au$
13. $Fe + C_6H_5COONa + H_2O + O_2 \rightarrow [Fe(C_6H_5COOH)_6](OH)_3 + NaOH$

Направление протекания окислительно-восстановительных реакций

Направление протекания ОВР в водном растворе устанавливается в стандартных условиях по значениям **стандартных потенциалов** φ° полуреакций восстановления:

Окисленная форма + ne^- → Восстановленная форма

Окислительно-восстановительные реакции протекают самопроизвольно, если разность стандартных электродных потенциалов окислителя и восстановителя, или э.д.с. окислительно-восстановительной реакции $\Delta E > 0$.

Стандартные условия протекания реакции: температура 298,15 К, давление в системе при отсутствии газообразных реагентов или продуктов 1 атмосфера (101325 Па), парциальное давление каждого газообразного реагента или продукта при их наличии 1 атмосфера. Стандартная концентрация каждой окисленной и восстановленной формы в растворе 1 моль/л. Стандартные потенциалы измеряют по отношению к стандартному водородному электроду, потенциал которого условно принят равным нулю.

Если значение φ° для окислительно-восстановительной пары, отрицательное, например

$Zn^{2+} + 2\,e^- \rightarrow Zn$; φ° = – 0,763 В

то реакция, в которой Zn^{2+} – окислитель и H_2 – восстановитель, характеризуется отрицательным значением разности стандартных потенциалов соответствующих пар.

$Zn^{2+} + H_{2(г)} \rightarrow Zn + 2\,H^+_{(р)}$ $\varphi^\circ_{Ок} - \varphi^\circ_{Вс} = -0{,}763 - (0) = -0{,}763$ В.

Направление ОВР определяет окислитель, у которого значение электродного потенциала больше. На практике самопроизвольно осуществляется обратный процесс: $Zn + 2\,H^+_{(р)} \rightarrow Zn^{2+} + H_{2(г)}$ $\varphi^\circ_{Ок} - \varphi^\circ_{Вс} = 0 - (-0{,}763) = +0{,}763$ В

Для положительных значений φ°, например пары Cu^{2+} / Cu

$Cu^{2+} + 2\,e^- = Cu$; φ° = + 0,338 В

реакция

$Cu^{2+} + H_{2(г)} = Cu + 2\,H^+_{(р)}$ $\varphi^\circ_{Ок} - \varphi^\circ_{Вс} = +0{,}338 - (0) = +0{,}338$ В

где 2 $H^+_{(р)}$ – окислитель и H_2 – восстановитель, характеризуется положительным значением разности потенциалов, и может протекать самопроизвольно.

Пример 1. Установить, в каком направлении возможно самопроизвольное протекание реакции

$2NaCl + Fe_2(SO_4)_3 \leftrightarrow 2FeSO_4 + Cl_2 + Na_2SO_4$

Запишем уравнения электронного баланса и стандартные электродные потенциалы электрохимических систем, участвующих в реакции :

$Cl_2 + 2e^- = 2Cl^-$, $\varphi_1^o = 1{,}36$ В;

$Fe^{3+} + e^- = Fe^{2+}$, $\varphi_2^o = 0{,}77$ В .

Поскольку $\varphi_1^o > \varphi_2^o$, то окислителем будет служить хлор, а восстановителем - ион Fe^{2+}; рассматриваемая реакция будет протекать так:

$2FeSO_4 + Cl_2 + Na_2SO_4 \rightarrow 2NaCl + Fe_2(SO_4)_3$

Пример 2. Установить, в каком направлении возможно самопроизвольное протекание реакции

$K_2Cr_2O_7 + 14HCl \leftrightarrow 2CrCl_3 + 3Cl_2 + 7H_2O$

Запишем уравнения электронно-ионного баланса и стандартные электродные потенциалы электрохимических систем, участвующих в реакции:

$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e = 2Cr^{3+} + 7H_2O$ $\varphi^o_1 = +1{,}33$ В

$Cl_2 + 2e = 2Cl^-$ $\varphi^o_2 = +1{,}36$ В

Поскольку $\varphi_2^o > \varphi_1^o$, то окислителем будет служить хлор, а восстановителем – бихромат-ион; рассматриваемая реакция будет протекать так::

$2CrCl_3 + 3Cl_2 + 7H_2O \rightarrow K_2Cr_2O_7 + 14HCl$

В примере 1 стандартные электродные потенциалы взаимодействующих электрохимических систем существенно различались, так что направление протекания процесса однозначно определялось значениями φ^o при любых концентрациях реагирующих веществ. В тех случаях, когда сравниваемые

значения φ^o близки (разность не более 0,3 В), направление протекания процесса может изменяться в зависимости от концентраций участников реакции (пример 2).

Величина окислительно-восстановительного потенциала в условиях, отличающихся от стандартных, определяется уравнением Нернста:

$$\varphi = \varphi^0 + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{[Ox]}{[\mathrm{Re}\, d]},$$

где φ – окислительно-восстановительный потенциал в данных условиях, В;

φ^0 – стандартный окислительно-восстановительный потенциал, В;

R – универсальная газовая постоянная (8.314 Дж/(моль·К));

T – абсолютная температура, K;

n – число электронов, принимающих участие в потенциалопределяющей полуреакции;

F – постоянная Фарадея (F = 96484.56 Кл/моль);

[Ox]– концентрация окисленной формы ионов;

[Red]– концентрация восстановленной формы ионов.

Концентрация твердой фазы принимается за единицу.

Для стандартной температуры 298 К и с переходом от натурального логарифма к десятичному уравнение Нернста будет иметь вид

$$\varphi = \varphi^0 + \frac{0{,}059}{n} \cdot \lg \frac{[Ox]}{[\mathrm{Re}\, d]},$$

Пример 3. Определить направление возможного самопроизвольного протекания реакции

$$2Hg + 2Ag^+ \leftrightarrow 2Ag + Hg_2^{2+}$$

при стандартной температуре и следующих концентрациях ионов:

а) $[Ag^+] = 10^{-4}$ моль/л , $[Hg_2^{2+}] = 10^{-1}$моль/л;

б) $[Ag^+] = 10^{-1}$моль/л , $[Hg_2^{2+}] = 10^{-4}$моль/л.

Выпишем значения стандартных электродных потенциалов взаимодействующих электрохимических систем:

$Hg_2^{2+} + 2e^- = 2Hg$, $\varphi_1^o = 0{,}79$ В;

$Ag^+ + e^- = Ag$, $\varphi_2^o = 0{,}80$ В.

По уравнению Нернста вычислим значения электродных потенциалов при указанных в условиях задачи концентрациях.

а) $\varphi_1 = \varphi_1^o + 0{,}059/2 \cdot \lg [Hg_2^{2+}] = 0{,}79 + 0{,}030 \lg 10^{-1} = 0{,}79 - 0{,}03 = 0{,}76$ В;

$\varphi_2 = \varphi_2^o + 0{,}059 \cdot \lg [Ag^+] = 0{,}80 + 0{,}059 \lg 10^{-4} = 0{,}80 - 0{,}24 = 0{,}56$ В.

В данном случае $\varphi_1 > \varphi_2$, реакция будет протекать справа налево.

б) $\varphi_1 = 0{,}79 + 0{,}030 \cdot \lg 10^{-4} = 0{,}79 - 0{,}12 = 0{,}67$ В;

$\varphi_2 = 0{,}80 + 0{,}059 \cdot \lg 10^{-1} = 0{,}80 - 0{,}06 = 0{,}74$ В.

Теперь $\varphi_1 < \varphi_2$, и реакция протекает слева направо.

Зависимость окислительной способности некоторых веществ от кислотности среды так же определяется уравнением Нернста. Например, для полуреакции

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \rightarrow Mn^{2+} + 4\,H_2O$$

окислительно-восстановительный потенциал можно вычислить по формуле

$$\varphi = \varphi^0 + \frac{0{,}059}{5} \cdot \lg \frac{[MnO_4^-] \cdot [H^+]^8}{[Mn^{2+}]}, \text{ или}$$

$$\varphi = 1{,}507 + 0{,}012 \cdot \lg \frac{[MnO_4^-]}{[Mn^{2+}]} - 0{,}095 pH$$

Потенциалы процесса зависит от pH среды и будет тем больше, чем кислее раствор. Зависимость окислительного потенциала $KMnO_4$ от концентрации ионов водорода пользуются для фракционного окисления анионов галогенидов до свободных галогенов. При pH от 5 до 6 перманганат окисляет только йодиды до йода (не действуя на бромиды и хлориды), при pH = 3 окисляются бромиды, и только при значительно более высокой кислотности окисляются хлориды.

Задания для самостоятельной работы

Обоснуйте возможность самопроизвольного протекания реакций №1 вашего варианта на стр. 16-19, используя Приложение.

Приложение

Таблица 1

СТАНДАРТНЫЕ ЭЛЕКТРОДНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

Элемент	Реакция	E^0	Элемент	Реакция	E^0
Ag	α -$Ag_2S + 2\bar{e} = 2Ag + S^{2-}$	-0,70	B	$BF_4^- + 3e = B + 4F^-$	-1,04
	$Ag(CN)_2^- + \bar{e} = Ag + 2CN^-$	-0,29		$H_3BO_3 + 3H^+ + 3e = B + 3H_2O$	-0,869
	$AgI + \bar{e} = Ag + I^-$	-0,152		$BO_3^{3-} + 6H^+ + 3e = B + 3H_2O$	-0,165
	$AgCN + \bar{e} = Ag + CN^-$	-0,04	Ba	$Ba^{2+} + 2e = Ba$	-2,905
	$Ag(S_2O_3)_2^{3-} + \bar{e} = Ag + 2S_2O_3^{2-}$	0,01	Be	$Be^{2+} + 2e = Be$	-1,847
	$AgBr + \bar{e} = Ag + Br^-$	0,071		$Be(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Be + 2H_2O$	-1,820
	$AgCl + \bar{e} = Ag + Cl^-$	0,222		$BeO_2^{2-} + 4H^+ + 2e = Be + 2H_2O$	-0,909
	$Ag_2O + H_2O + 2\bar{e} = 2Ag + 2OH^-$	0,344	Bi	$Bi_2O_3 + 3H_2O + 6e = 2Bi + 6OH^-$	-0,46
	$Ag(NH_3)_2^+ + \bar{e} = Ag + 2NH_3$	0,373		$BiOCl + 2H^+ + 3e = Bi + Cl^- + H_2O$	0,16
	$Ag_2CrO_4 + 2\bar{e} = 2Ag + CrO_4^{2-}$	0,446		$Bi^{3+} + 3e = Bi$	0,215
	$Ag_2C_2O_4 + 2\bar{e} = 2Ag + C_2O_4^{2-}$	0,472		$BiO^+ + 2H^+ + 3e = Bi + H_2O$	0,32
	$AgBrO_3 + \bar{e} = Ag + BrO_3^-$	0,55		$Bi_2O_3 + 6H^+ + 6e = 2Bi + 3H_2O$	0,371
	$2AgO + H_2O + 2\bar{e} = Ag_2O + 2OH^-$	0,60		$NaBiO_3$(т) + $6H^+$+ 2e = $Bi^{3+} + Na^+ + 3H_2O$	1,6 - 1,808
	$Ag^+ + \bar{e} = Ag$	0,799	Br	$2BrO^- + 2H_2O + 2e = Br_2 + 4OH^-$	0,45
	$Ag_2O + 2H^+ + 2\bar{e} = 2Ag + H_2O$	1,173		$2BrO_3^- + 6H_2O + 10e = Br_2 + 12OH^-$	0,50
	$2AgO + 2H^+ + 2\bar{e} = Ag_2O + H_2O$	1,398		$BrO_3^- + 2H_2O + 4e = BrO^- + 4OH^-$	0,54
Al	$AlO_2^- + 2H_2O + 3\bar{e} = Al + 4OH^-$	-2,35		$BrO_3^- + 3H_2O + 6e = Br^- + 6OH^-$	0,61
	$Al(OH)_3 + 3\bar{e} = Al + 3OH^-$	-2,31		$BrO^- + H_2O + 2e = Br^- + 2OH^-$	0,76
	$AlF_6^{3-} + 3\bar{e} = Al + 6F^-$	-2,07		$Br_3^- + 2e = 3Br^-$	1,05
	$Al^{3+} + 3e = Al$	-1,663		Br_2(ж) + 2e = $2Br^-$	1,065
	$Al(OH)_3 + 3H^+ + 3e = Al + 3H_2O$	-1,471		$BrO_3^- + 6H^+ + 6e = Br^- + 3H_2O$	1,44
	$AlO_2^- + 4H^+ + 3e = Al + 2H_2O$	-1,262		$2BrO_3^- + 12H^+ + 10e = Br_2 + 6H_2O$	1,52
As	$As + 3H^+ + 3e = AsH_3$	-0,60		$2HBrO + 2H^+ + 2e = Br_2 + 2H_2O$	1,59
	$HAsO_2 + 3H^+ + 3e = As + 2H_2O$	0,248	C	$HCOO^- + 2H_2O + 2e = HCHO + 3OH^-$	-1,07
	$H_3AsO_4 + 2H^+ + 2e = HAsO_2 + 2H_2O$	0,559		$2CO_2 + 2H^+ + 2e = H_2C_2O_4$	-0,49
	$H_3AsO_4 + 2H^+ + 2e = H_3AsO_3 + H_2O$	0,58		$CO_2 + 2H^+ + 2e = HCOOH$	-0,20
Au	$Au(CN)_2 + e = Au + 2CN^-$	-0,61		C(графит) + $4H^+$ + 4e = CH_4	-0,132
	$AuBr_4^- + 2e = AuBr_2^- + 2Br^-$	0,802		$CO_2 + 2H^+ + 2e = CO + H_2O$	-0,12
	$AuCl_4^- + 2e = AuCl_2^- + 2\ Cl^-$	0,926		$HCOOH + 2H^+ + 2e = HCHO + H_2O$	-0,01
	$AuBr_2^- + e = Au + 2Br^-$	0,959		$HCOOH + 4H^+ + 4e = CH_3OH + H_2O$	0,145
	$AuCl_2^- + 2e = Au + 2Cl^-$	1,15		$HCOO^- + 3H^+ + 2e = HCHO + H_2O$	0,167
	$Au^{3+} + 2e = Au^+$	1,401		$CH_3CHO + 2H^+ + 2e = C_2H_5OH$	0,19
	$Au^{3+} + 3e = Au$	1,498		$CO_3^{2-} + 6H^+ + 4e = HCHO + 2H_2O$	0,197
	$Au^+ + 3e = Au$	1,692		$HCOO^- + 5H^+ + 4e = CH_3OH + H_2O$	0,199
Элемент	Реакция	E^0	Элемент	Реакция	E^0

C	$CO_3^{2-} + 8H^+ + 6e = CH_3OH + 2H_2O$	0,209	Co	$Co(OH)_2 + 2e = Co + 2OH^-$	-0,73
	$CO_3^{2-} + 3H^+ + 2e = HCOO^- + H_2O$	0,227		$CoCO_3 + 2e = Co + CO_3^{2-}$	-0,64
	$HCHO + 2H^+ + 2e = CH_3OH$	0,232		$Co(NH_3)_6^{2+} + 2e = Co + 6NH_3$	-0,42
	$2CO_3^{2-} + 4H^+ + 2e = C_2O_4^{2-} + 2H_2O$	0,441		$Co^{2+} + 2e = Co$	-0,277
	$C_2H_5OH + 2H^+ + 2e = C_2H_6 + H_2O$	0,46		$Co(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Co + 2H_2O$	0,095
	$CO_3^{2-} + 6H^+ + 4e = C(графит) + 3H_2O$	0,475		$Co(NH_3)_6^{3+} + e = Co(NH_3)_6^{2+}$	0,1
	$CO + 6H^+ + 6e = CH_4 + H_2O$	0,497		$CoO + 2H^+ + 2e = Co + H_2O$	0,166
	$CH_3OH + 2H^+ + 2e = CH_4 + H_2O$	0,59		$Co(OH)_3 + e = Co(OH)_2 + OH^-$	0,17
Ca	$Ca^{2+} + 2e = Ca$	-2,866		$Co^{3+} + 3e = Co$	0,33
Cd	$CdS + 2e = Cd + S^{2-}$	-1,175		$Co^{3+} + e = Co^{2+}$	1,38 - 1,842
	$Cd(CN)_4^{2-} + 2e = Cd + 4CN^-$	-1,09	Cr	$Cr(OH)_2 + 2e = Cr + 2OH^-$	-1,4
	$Cd(OH)_2 + 2e = Cd + 2OH^-$	-0,81		$Cr(OH)_3 + 3e = Cr + 3OH^-$	-1,3
	$Cd(NH_3)_4^{2+} + 2e = Cd + 4NH_3$	-0,61		$CrO_2^- + 2H_2O + 3e = Cr + 4OH^-$	-1,2
	$Cd^{2+} + 2e = Cd$	-0,403		$Cr^{2+} + 2e = Cr$	-0,913
	$Cd(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Cd + 2H_2O$	0,005		$Cr^{3+} + 3e = Cr$	-0,744
	$CdO + 2H^+ + 2e = Cd + H_2O$	0,063		$Cr(OH)_3 + 3H^+ + 3e = Cr + 3H_2O$	-0,654
Ce	$Ce^{3+} + 3e = Ce$	-2,48		$Cr^{3+} + e = Cr^{2+}$	-0,407
	$Ce^{4+} + e = Ce^{3+}$ (1M H_2SO_4)	1,44		$CrO_4^{2-} + 4H_2O + 3e = Cr(OH)_3 + 5OH^-$	-0,13
	$Ce^{4+} + e = Ce^{3+}$ (1M HNO_3)	1,61		$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 12e = 2Cr + 7H_2O$	0,294
	$Ce^{4+} + e = Ce^{3+}$ (1M $HClO_4$)	1,70		$CrO_4^{2-} + 8H^+ + 6e = Cr + 4H_2O$	0,366
	$Ce^{4+} + e = Ce^{3+}$	1,77		$CrO_4^{2-} + 4H^+ + 3e = CrO_2^- + 2H_2O$	0,945
Cl	$ClO_4^- + H_2O + 2e = ClO_3^- + 2OH^-$	0,36		$CrO_2^- + 4H^+ + e = Cr^{2+} + 2H_2O$	1,188
	$2ClO^- + 2H_2O + 2e = Cl_2 + 4OH^-$	0,40		$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e = 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1,333
	$ClO_4^- + H_2O + 8e = Cl^- + 8OH^-$	0,56		$CrO_4^{2-} + 8H^+ + 3e = Cr^{3+} + 4H_2O$	1,477
	$ClO_3^- + 3H_2O + 6e = Cl^- + 6OH^-$	0,63	Cs	$Cs^+ + e = Cs$	-2,923
	$ClO_2 + 2H_2O + 5e = Cl^- + 4OH^-$	0,85	Cu	$Cu_2S + 2e = 2Cu + S^{2-}$	-0,89
	$ClO^- + H_2O + 2e = Cl^- + 2OH^-$	0,88		$CuS + 2e = Cu + S^{2-}$	-0,71
	$ClO_3^- + 2H^+ + e = ClO_2 + H_2O$	1,15		$Cu(CN)_2^- + e = Cu + 2CN^-$	-0,43
	$ClO_4^- + 2H^+ + 2e = ClO_3^- + H_2O$	1,189		$Cu_2O + H_2O + 2e = 2Cu + 2OH^-$	-0,36
	$ClO_2 + 4H^+ + 4e = 2HCl + H_2O$	1,351		$Cu(OH)_2 + 2e = Cu + 2OH^-$	-0,22
	$Cl_2 + 2e = 2Cl^-$	1,3595		$CuI + e = Cu + I^-$	-0,185
	$ClO_4^- + 8H^+ + 8e = Cl^- + 4H_2O$	1,38		$Cu(NH_3)_2^+ + e = Cu + 2NH_3$	-0,12
	$2ClO_4^- + 16H^+ + 14e = Cl_2 + 8H_2O$	1,39		$Cu(NH_3)_4^{2+} + 2e = Cu + 4NH_3$	-0,07
	$ClO_2 + 5H^+ + 5e = HCl + 2H_2O$	1,436		$Cu(NH_3)_4^{2+} + 2e = Cu(NH_3)_2^+ + 2NH_3$	-0,01
	$ClO_3^- + 6H^+ + 6e = Cl^- + 3H_2O$	1,451		$CuI_2^- + e = Cu + 2I^-$	0,00
	$2ClO_3^- + 12H^+ + 10e = Cl_2 + 6H_2O$	1,47		$CuBr + e = Cu + Br^-$	0,03
	$HClO + H^+ + 2e = Cl^- + H_2O$	1,494		$CuCl + e = Cu + Cl^-$	0,137
	$ClO_2 + 4H^+ + 5e = Cl^- + 2H_2O$	1,51		$Cu^{2+} + e = Cu^+$	0,153
	$2ClO_2 + 8H^+ + 8e = Cl_2 + 4H_2O$	1,549		$CuCl_2^- + e = Cu + 2Cl^-$	0,177
	$HClO_2 + 3H^+ + 4e = Cl^- + 2H_2O$	1,57		$2Cu^{2+} + H_2O + 2e = Cu_2O + 2H^+$	0,203
	$2HClO + 2H^+ + 2e = Cl_2 + 2H_2O$	1,63		$Cu^{2+} + 2e = Cu$	0,345
	$2HClO_2 + 6H^+ + 6e = Cl_2 + 4H_2O$	1,64		$Cu^{2+} + 2Cl^- + e = CuCl_2^-$	0,463
Co	β -$CoS + 2e = Co + S^{2-}$	-1,07		$Cu^+ + e = Cu$	0,520
	α -$CoS + 2e = Co + S^{2-}$	-0,90		$Cu^{2+} + Cl^- + e = CuCl$	0,538
Cu	$CuO + 2H^+ + 2e = Cu + H_2O$	0,570	Hg	$HgBr_4^{2-} + 2e = Hg + 4Br^-$	0,21

	$Cu(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Cu + 2H_2O$	0,609		$Hg_2Cl_2 + 2K^+ + 2e = 2Hg + 2KCl$ (тв)	0,2415
	$Cu^{2+} + Br^- + e = CuBr$	0,640		$Hg_2Cl_2 + 2e = 2Hg + 2Cl^-$	0,268
	$2CuO + 2H^+ + 2e = Cu_2O + H_2O$	0,669		$Hg_2Cl_2 + 2e = 2Hg + 2Cl^-$ (1M KCl)	0,28
	$Cu^{2+} + I^- + e = CuI$	0,86		$Hg_2Cl_2 + 2e = 2Hg + 2Cl^-$ (0,1M KCl)	0,334
	$Cu^{2+} + 2CN^- + e = Cu(CN)_2$	1,12		$HgCl_4^{2-} + 2e = Hg + 4Cl^-$	0,48
Dy	$Dy^{3+} + 3e = Dy$	-2,353		$Hg_2SO_4 + 2e = 2Hg + SO_4^{2-}$	0,6151
Eu	$Eu^{2+} + 2e = Eu$	-3,395		$Hg_2^{2+} + 2e = 2Hg$	0,788
	$Eu^{3+} + e = Eu^{2+}$	-0,429		$Hg^{2+} + 2e = Hg$	0,850
F	$F_2O + 2H^+ + 4e = 2F^- + H_2O$	2,1		$2Hg^{2+} + 2e = Hg_2^{2+}$	0,920
	$F_2 + 2e = 2F^-$	2,87		$HgO + 2H^+ + 2e = Hg + H_2O$	0,926
Fe	$FeS + 2e = Fe + S^{2-}$	-0,95	Ho	$Ho^{3+} + 3e = Ho$	-2,319
	$Fe(OH)_2 + 2e = Fe + 2OH^-$	-0,877	I	$IO_3^- + 2H_2O + 4e = IO^- + 4OH^-$	0,14
	$FeCO_3 + 2e = Fe + CO_3^{2-}$	-0,756		$2IO_3^- + 6H_2O + 10e = I_2 + 12OH^-$	0,21
	$Fe(OH)_3 + e = Fe(OH)_2 + OH^-$	-0,56		$IO_3^- + 3H_2O + 6e = I^- + 6OH^-$	0,25
	$Fe^{2+} + 2e = Fe$	-0,440		$2IO^- + H_2O + 2e = I_2 + 4OH^-$	0,45
	$Fe_3O_4 + 8H^+ + 8e = 3Fe + 4H_2O$	-0,085		$IO^- + H_2O + 2e = I^- + 2OH^-$	0,49
	$Fe_2O_3 + H_2O + 2H^+ + 2e = 2Fe(OH)_2$	-0,057		$I_2 + 2e = 2I^-$	0,536
	$Fe_2O_3 + 6H^+ + 6e = 2Fe + 3H_2O$	-0,051		$I_3^- + 2e = 3I^-$	0,545
	$Fe(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Fe + 2H_2O$	-0,047		$IO_3^- + 2H_2O + 4e = IO^- + 4OH^-$	0,56
	$Fe^{3+} + 3e = Fe$	-0,037		$HIO + H^+ + 2e = I^- + H_2O$	0,99
	$Fe(OH)_3 + 3H^+ + 3e = Fe + 3H_2O$	0,059		$2ICl_2^- + 2e = I_2 + 4Cl^-$	1,06
	$Fe(OH)_3 + H^+ + e = Fe(OH)_2 + H_2O$	0,271		$IO_3^- + 6H^+ + 6e = I^- + 3H_2O$	1,085
	$Fe(CN)_6^{3-} + e = Fe(CN)_6^{4-}$	0,356		$IO_3^- + 5H^+ + 4e = HIO + 2H_2O$	1,14
	$Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$ (1M H_2SO_4)	0,68		$2IO_3^- + 12H^+ + 10e = I_2 + 6H_2O$	1,19
	$Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$ (1M HCl)	0,70		$2HIO + 2H^+ + 2e = I_2 + 2H_2O$	1,45
	$Fe(CN)_6^{3-} + e = Fe(CN)_6^{4-}$ (1M HCl)	0,71		$H_5IO_6 + H^+ + 2e = IO_3^- + 3H_2O$	1,60
	$Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$	0,771	Ir	$IrO_2 + 4H^+ + 4e = Ir + H_2O$	0,93
	$Fe_3O_4 + 8H^+ + 2e = 3Fe^{2+} + 4H_2O$	0,980		$Ir^{3+} + 3e = Ir$	1,15
Ga	$Ga^{3+} + 3e = Ga$	-0,53	K	$K^+ + e = K$	-2,924
Gd	$Gd^{3+} + 3e = Gd$	-2,397	La	$La^{3+} + 3e = La$	-2,522
Ge	$H_2GeO_3 + 4H^+ + 2e = Ge^{2+} + 3H_2O$	-0,363	Li	$Li^+ + e = Li$	-3,045
	$GeO_2 + 4H^+ + 4e = Ge + 2H_2O$	-0,15	Mg	$Mg(OH)_2 + 2e = Mg + 2OH^-$	-2,69
	$H_2GeO_3 + 4H^+ + 4e = Ge + 3H_2O$	-0,13		$Mg^{2+} + 2e = Mg$	-2,363
	$Ge^{2+} + 2e = Ge$	0,000		$Mg(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Mg + 2H_2O$	-1,862
H	$2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$	-0,828	Mn	$MnCO_3 + 2e = Mn + CO_3^{2-}$	-1,48
	$2H^+ + 2e = H_2$	0,0000		$Mn^{2+} + 2e = Mn$	-1,18
	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e = 2H_2O$	1,776		$Mn(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Mn + 2H_2O$	-0,727
Hf	$Hf^{4+} + 4e = Hf$	-1,70		$MnO_4^- + e = MnO_4^{2-}$	0,564
	$HfO_2 + 4H^+ + 4e = Hf + 2H_2O$	-1,57		$MnO_4^- + 2H_2O + 3e = MnO_2 + 4OH^-$	0,60
Hg	$HgS + 2e = Hg + S^{2-}$	-0,69		$MnO_2 + 4H^+ + 2e = Mn^{2+} + 2H_2O$	1,228
	$Hg(CN)_4^{2-} + 2e = Hg + 4CN^-$	-0,37		$Mn_2O_3 + 6H^+ + 2e = 2Mn^{2+} + 3H_2O$	1,443
	$Hg_2I_2 + 2e = 2Hg + 2I^-$	-0,041		$MnO_4^- + 8H^+ + 5e = Mn^{2+} + 4H_2O$	1,507
	$HgI_4^{2-} + 2e = Hg + 4I^-$	-0,04		$Mn^{3+} + e = Mn^{2+}$ (8M H_2SO_4)	1,509
	HgO(красная) $+ H_2O + 2e = Hg + 2OH^-$	0,098		$MnO_4^- + 4H^+ + 3e = MnO_2 + 2H_2O$	1,692
	$Hg_2Br_2 + 2e = 2Hg + 2Br^-$	0,140		$MnO_4^{2-} + 4H^+ + 2e = MnO_2 + 2H_2O$	2,257
Mo	$H_2MoO_4 + 2H^+ + 2e = MoO_2 + 2H_2O$	-1,091	Nd	$Nd^{3+} + 3e = Nd$	-2,431

	$MoO_4^{2-} + 4H_2O + 6e = Mo + 8OH^-$	-1,05	Ni	γ-NiS + 2e = Ni + S^{2-}	-1,04
	$Mo^{3+} + 3e = Mo$	-0,200		α-NiS + 2e = Ni + S^{2-}	-0,83
	$MoO_2 + 4H^+ + 4e = Mo + 2H_2O$	-0,072		$Ni(OH)_2 + 2e = Ni + 2OH^-$	-0,72
	$MoO_4^{2-} + 8H^+ + 6e = Mo + 4H_2O$	0,154		$Ni(NH_3)_6^{2+} + 2e = Ni + 6NH_3$	-0,49
	$MoO_3 + 2H^+ + 2e = MoO_2 + H_2O$	0,320		$NiCO_3 + 2e = Ni + CO_3^{2-}$	-0,45
	$MoO_4^{2-} + 4H^+ + 2e = MoO_2 + 2H_2O$	0,606		$Ni^{2+} + 2e = Ni$	-0,25
N	$3N_2 + 2\bar{e} = 2N_3^-$	-3,4		$Ni(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Ni + 2H_2O$	0,110
	$3N_2 + 2H^+ + 2\bar{e} = 2HN_3$	-3,1		$NiO + 2H^+ + 2e = Ni + H_2O$	0,116
	$N_2 + 4H_2O + 2\bar{e} = 2NH_2OH + 2OH^-$	-3,04		$NiO_2 + 4H^+ + 2e = Ni^{2+} + 2H_2O$	1,68
	$N_2 + 4H_2O + 4\bar{e} = N_2H_4 + 4OH^-$	-1,16	O	$O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^-$	0,401
	$N_2 + 8H_2O + 6\bar{e} = 2NH_4OH + 6OH^-$	-0,74		$O_2 + 2H^+ + 2e = H_2O_2$	0,682
	$NO_2^- + H_2O + \bar{e} = NO + 2OH^-$	-0,46		$H_2O_2 + 2e = 3OH^-$	0,88
	$NO_2^- + 6H_2O + 6\bar{e} = NH_4OH + 7OH^-$	-0,15		$O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$	1,229
	$NO_3^- + 2H_2O + 3\bar{e} = NO + 4OH^-$	-0,14		$O_3 + H_2O + 3e = O_2 + 2OH^-$	1,24
	$NO_3^- + 7H_2O + 8\bar{e} = NH_4OH + 9OH^-$	-0,12		$O_3 + 6H^+ + 6e = 3H_2O$	1,511
	$NO_3^- + H_2O + 2\bar{e} = NO_2^- + 2OH^-$	0,01		$H_2O_2 + 2H^+ + 2e = 2H_2O$	1,776
	$N_2 + 6H^+ + 6\bar{e} = 2NH_3$	0,057		$O_3 + 2H^+ + 2e = O_2 + H_2O$	2,07
	$N_2H_4 + 4H_2O + 2\bar{e} = 2NH_4OH + 2OH^-$	0,1	Os	$OsO_2 + 2H_2O + 4e = Os + 4OH^-$	-0,15
	$N_2 + 8H^+ + 6\bar{e} = 2NH_4^+$	0,275		$OsCl_6^{3-} + e = Os^{2+} + 6Cl^-$	0,4
	$2NO_2^- + 4H_2O + 6\bar{e} = N_2 + 8OH^-$	0,41		$OsO_4 + 8H^+ + 8e = Os + 4H_2O$	0,85
	$NH_2OH + 2H_2O + 2\bar{e} = NH_4OH^- + 2OH^-$	0,42		$OsCl_6^{2-} + e = OsCl_6^{3-}$	0,85
	$2NO_2 + 4H_2O + 8e = N_2 + 8OH^-$	0,53		$Os^{2+} + 2e = Os$	0,85
	$NO_3^- + 2H^+ + e = NO_2 + H_2O$	0,78		$OsO_4 + 4H^+ + 4e = OsO_2 + 2H_2O$	0,96
	$NO_3^- + 2H^+ + e = NO_2 + H_2O$	0,80	P	$H_2PO_2^- + e = P + 2OH^-$	-2,05
	$2NO + 2H_2O + 4e = N_2 + 4OH^-$	0,85		$HPO_3^{2-} + 2H_2O + 2e = H_2PO_2^- + 3OH^-$	-1,57
	$HNO_2 + 7H^+ + 6e = NH_4^+ + 2H_2O$	0,864		$PO_4^{3-} + 2H_2O + 2e = HPO_3^{2-} + 3OH^-$	-1,12
	$NO_3^- + 10H^+ + 8e = NH_4^+ + 3H_2O$	0,87		$2H_3PO_4 + 2H^+ + 2e = H_4P_2O_6 + 2H_2O$	-0,94
	$2NO_2 + 2e = 2NO_2^-$	0,88		$P + 3H_2O + 3e = PH_3 + 3OH^-$	-0,89
	$N_2O + H_2O + 2e = N_2 + 2OH^-$	0,94		$H_3PO_2 + H^+ + e = P + 2H_2O$	-0,51
	$NO_3^- + 3H^+ + 2e = HNO_2 + 2H_2O$	0,94		$H_3PO_3 + 3H^+ + 3e = P(бел) + 3H_2O$	-0,502
	$NO_3^- + 4H^+ + 3e = NO + 2H_2O$	0,957		$H_3PO_3 + 3H^+ + 2e = H_3PO_2 + H_2O$	-0,50
	$NO_3^- + 4H^+ + 3e = NO + 2H_2O$	0,96		$H_3PO_3 + 3H^+ + 3e = P(кр) + 3H_2O$	-0,454
	$HNO_2 + H^+ + e = NO + H_2O$	1,00		$H_3PO_4 + 5H^+ + 5e = P(бел) + 4H_2O$	-0,411
	$NO_2 + 2H^+ + 2e = NO + H_2O$	1,03		$H_3PO_4 + 4H^+ + 4e = H_3PO_2 + 2H_2O$	-0,39
	$NO_2 + H^+ + e = HNO_2$	1,09		$H_3PO_4 + 5H^+ + 5e = P(кр) + 4H_2O$	-0,383
	$2NO_3^- + 10H^+ + 8e = N_2O + 5H_2O$	1,116		$H_3PO_4 + 2H^+ + 2e = H_3PO_3 + H_2O$	-0,276
	$2NO_3^- + 12H^+ + 10e = N_2 + 6H_2O$	1,246		$H_3PO_3 + 2H^+ + 2e = H_3PO_2 + H_2O$	-0,50
	$2HNO_2 + 4H^+ + 4e = N_2O + 3H_2O$	1,297		$P + 3H^+ + 3e = PH_3$	0,06
	$2NO_2 + 8H^+ + 8e = N_2 + 4H_2O$	1,36		$H_4P_2O_6 + 2H^+ + 2e = 2H_3PO_3$	0,38
	$2HNO_2 + 6H^+ + 6e = N_2 + 4H_2O$	1,45	Pb	$PbS + 2e = Pb + S^{2-}$	-0,93
	$2NO + 4H^+ + 4e = N_2 + 2H_2O$	1,678		$PbO + H_2O + 2e = Pb + 2OH^-$	-0,58
	$N_2O + 2H^+ + 2e = N_2 + H_2O$	1,766		$PbCO_3 + 2e = Pb + CO_3^{2-}$	-0,506
Na	$Na^+ + e = Na$	-2,714		$PbI_2 + 2e = Pb + 2I^-$	0,365
Pb	$PbSO_4 + 2e = Pb + SO_4^{2-}$	-0,3563	S	$S + 2H^+ + 2e = H_2S$	0,141

	$PbF_2 + 2e = Pb + 2F^-$	-0,350		$SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e = H_2SO_3 + H_2O$	0,17
	$PbBr_2 + 2e = Pb + 2Br^-$	-0,280		$SO_3^{2-} + 6H^+ + 6e = S^{2-} + 3H_2O$	0,231
	$PbCl_2 + 2e = Pb + 2Cl^-$	-0,268		$2SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e = S_2O_3^{2-} + 5H_2O$	0,29
	$Pb^{2+} + 2e = Pb$	-0,126		$SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e = H_2S + 4H_2O$	0,311
	$PbO_3^{2-} + H_2O + 2e = PbO_2^{2-} + 2OH^-$	0,2		$SO_4^{2-} + 8H^+ + 6e = S + 4H_2O$	0,357
	$PbO + 2H^+ + 2e = Pb + H_2O$	0,248		$2H_2SO_3 + 2H^+ + 4e = S_2O_3^{2-} + 3H_2O$	0,40
	$Pb(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Pb + H_2O$	0,277		$H_2SO_3 + 4H^+ + 4e = S + 3H_2O$	0,449
	$PbO_2 + H_2O + 2e = PbO + 2OH^-$	0,28		$S_2O_3^{2-} + 6H^+ + 4e = 2S + 3H_2O$	0,5
	$Pb_3O_4 + 2H^+ + 2e = 3PbO + H_2O$	0,972		$2SO_3^{2-} + 6H^+ + 4e = S_2O_3^{2-} + 3H_2O$	0,705
	$PbO_2 + 4H^+ + 2e = Pb^{2+} + 2H_2O$	1,449-1,455		$S_2O_8^{2-} + 2e = 2SO_4^{2-}$	2,01
	$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e = PbSO_4 + 2H_2O$	1,685	Sb	$SbO_2^- + 2H_2O + 3e = Sb + 4OH^-$	-0,675
	$Pb^{4+} + 2e = Pb^{2+}$	1,694		$Sb + 3H^+ + 3e = SbH_3$	-0,51
Pd	$Pd(OH)_2 + 2e = Pd + 2OH^-$	0,07		$SbO_3^- + H_2O + 2e = SbO_2^- + 2OH^-$	-0,43
	$PdI_6^{2-} + 2e = PdI_4^{2-} + 2I^-$	0,623		$Sb_2O_3 + 6H^+ + 6e = 2Sb + 3H_2O$	0,152
	$PdCl_4^{2-} + 2e = Pd + 4Cl^-$	0,623		$SbO^+ + 2H^+ + 3e = Sb + H_2O$	0,212
	$PdO + 2H^+ + 2e = Pd + H_2O$	0,896		$SbO_3^- + 2H^+ + 3e = SbO_2^- + H_2O$	0,353
	$PdCl_6^{2-} + 4e = Pd + 6Cl^-$	0,96		$SbO_2^- + 4H^+ + 3e = Sb + 2H_2O$	0,446
	$Pd^{2+} + 2e = Pd$	0,987		$Sb_2O_5 + 6H^+ + 4e = 2SbO^+ + 3H_2O$	0,581
	$PdBr_6^{2-} + 2e = PdBr_4^{2-} + 2Br^-$	0,993		$Sb_2O_5 + 4H^+ + 4e = Sb_2O_3 + 2H_2O$	0,671
	$PdO_2 + 2H^+ + 2e = PdO + H_2O$	1,283	Sc	$Sc^{3+} + 3e = Sc$	-2,077
	$PdCl_6^{2-} + 2e = PdCl_4^{2-} + 2Cl^-$	1,288	Se	$Se + 2e = Se^{2-}$	-0,92
Pt	$PtS + 2e = Pt + S^{2-}$	-0,95		$Se + 2H^+ + 2e = H_2Se$	-0,40
	$PtS_2 + 2e = PtS + S^{2-}$	-0,64		$SeO_3^{2-} + 3H_2O + 4e = Se + 6OH^-$	-0,366
	$Pt(OH)_2 + 2e = Pt + 2OH^-$	0,15		$SeO_4^{2-} + H_2O + 2e = SeO_3^{2-} + 2OH^-$	0,05
	$PtI_6^{2-} + 2e = PtI_4^{2-} + 2I^-$	0,393		$H_2SeO_3 + 4H^+ + 4e = Se + 3H_2O$	0,741
	$PtBr_4^{2-} + 2e = Pt + 4Br^-$	0,58		$SeO_4^{2-} + 4H^+ + 2e = H_2SeO_3 + H_2O$	1,15
	$PtBr_6^{2-} + 2e = PtBr_4^{2-} + 2Br^-$	0,59	Si	$SiO_3^{2-} + 3H_2O + 4e = Si + 6OH^-$	-1,7
	$PtCl_6^{2-} + 2e = PtCl_4^{2-} + 2Cl^-$	0,720		$SiF_6^{2-} + 4e = Si + 6F^-$	-1,2
	$PtCl_4^{2-} + 2e = Pt + 4Cl^-$	0,73		$SiO_3^{2-} + 6H^+ + 4e = Si + 3H_2O$	-0,455
	$Pt(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Pt + 2H_2O$	0,980		$Si + 4H^+ + 4e = SiH_4$	0,102
	$PtO_2 + 2H^+ + 2e = Pt(OH)_2$	1,045	Sn	$SnS + 2e = Sn + S^{2-}$	-0,94
	$Pt^{2+} + 2e = Pt$	1,188		$Sn(OH)_6^{2-} + 2e = HSnO_2^- + H_2O + 3OH^-$	-0,93
Ra	$Ra^{2+} + 2e = Ra$	-2,925		$HSnO_2^- + H_2O + 2e = Sn + 3OH^-$	-0,91
Rb	$Rb^+ + e = Rb$	-2,925		$SnF_6^{2-} + 4e = Sn + 6F^-$	-0,25
	$SO_4^{2-} + H_2O + 2e = SO_3^{2-} + 2OH^-$	-0,93		$Sn^{2+} + 2e = Sn$	-0,136
	$2SO_4^{2-} + 5H_2O + 8e = S_2O_3^{2-} + 10OH^-$	-0,76		$SnO_2 + 2H^+ + 2e = SnO + H_2O$	-0,108
	$SO_3^{2-} + 3H_2O + 4e = S + 6OH^-$	-0,66		$SnO_2 + 4H^+ + 4e = Sn + 2H_2O$	-0,106
	$2SO_3^{2-} + 3H_2O + 4e = S_2O_3^{2-} + 6OH^-$	-0,58		$SnO + 2H^+ + 2e = Sn + H_2O$	-0,104
	$S_2^{2-} + 2e = 2S^{2-}$	-0,524		$Sn(OH)_2 + 2H^+ + 2e = Sn + 2H_2O$	-0,091
S	$S + 2e = S^{2-}$	-0,48		$SnCl_6^{2-} + 2e = SnCl_4^{2+} + 2Cl^-$	0,14
	$2S + 2e = S_2^{2-}$	-0,476		$Sn^{4+} + 2e = Sn^{2+}$	0,151
	$S + H^+ + 2e = HS^-$	-0,065	Sr	$Sr^{2+} + 2e = Sr$	-2,888
	$S_2O_3^{2-} + 6H^+ + 8e = 2S^{2-} + 3H_2O$	-0,006	Te	$Te + 2e = Te^{2-}$	-1,14
	$S_4O_6^{2-} + 2e = 2S_2O_3^{2-}$	0,08		$Te + 2H^+ + 2e = H_2Te$	-0,72
	$SO_4^{2-} + 8H^+ + 8e = S^{2-} + 4H_2O$	0,149		$TeO_3^{2-} + 2H_2O + 4e = Te + 6OH^-$	-0,57
	$TeO_2 + 4H^+ + 4e = Te + 2H_2O$	0,529		$V^{2+} + 2e = V$	-1,175

	$TeO_4^{2-} + 2H^+ + 2e = TeO_3^{2-} + H_2O$	0,892		$V^{3+} + e = V^{2+}$	-0,255
	$H_6TeO_6 + 2H^+ + 2e = TeO_2 + 4H_2O$	1,02		$VO_2^+ + 4H^+ + 5e = V + 2H_2O$	-0,25
Ti	$Ti^{2+} + 2e = Ti$	-1,63		$VO_2^{2+} + e = VO^+$	-0,044
	$TiO + 2H^+ + 2e = Ti + H_2O$	-1,306		$VO_2^+ + 4H^+ + 3e = V^{2+} + 2H_2O$	0,360
	$TiF_6^{2-} + 4e = Ti + 6F^-$	-1,19	V	$V_2O_5 + 6H^+ + 2e = 2VO^{2+} + 3H_2O$	0,958
	$TiO_2 + 4H^+ + 4e = Ti + 2H_2O$	-0,86		$VO_2^+ + 2H^+ + e = VO^{2+} + H_2O$	1,004
	TiO_2(рутил) $+ H^+ + 4e = Ti^{3+} + 2H_2O$	-0,666		$VO_4^{3-} + 6H^+ + 2e = VO^+ + 3H_2O$	1,256
	TiO_2(рутил) $+ 2H^+ + 4e = Ti^{2+} + 2H_2O$	-0,502		$H_2VO_4^- + 4H^+ + e = VO^{2+} + 3H_2O$	1,314
	$Ti^{3+} + e = Ti^{2+}$	-0,368		$WO_4^{2-} + 4H_2O + 6e = W + 8OH^-$	-1,05
	$Ti^{4+} + e = Ti^{3+}$ (5M H_3PO_4)	-0,15	W	$WO_2 + 4H^+ + 4e = W + 2H_2O$	-0,119
	$TiO^{2+} + 2H^+ + 2e = Ti^{2+} + H_2O$	-0,135		$WO_3 + 6H^+ + 6e = W + 3H_2O$	-0,09
	$TiO^{2+} + 2H^+ + e = Ti^{3+} + H_2O$	0,10		$W_2O_5 + 2H^+ + 2e = 2WO_2 + H_2O$	-0,031
Tl	$Tl_2S + 2e = 2Tl + S^{2-}$	-0,93		$2WO_3 + 2H^+ + 2e = W_2O_5 + H_2O$	-0,029
	$TlI + e = Tl + I^-$	-0,753		$WO_4^{2-} + 8H^+ + 6e = W + 4H_2O$	0,049
	$TlBr + e = Tl + Br^-$	-0,658		$2WO_4^{2-} + 6H^+ + 2e = W_2O_5 + 3H_2O$	0,801
	$TlCl + e = Tl + Cl^-$	-0,557		$ZnS + 2e = Zn + S^{2-}$	-1,405
	$TlOH + e = Tl + OH^-$	-0,344	Zn	$Zn(CN)_4^{2-} + 2e = Zn + 4CN^-$	-1,26
	$Tl^+ + e = Tl$	-0,3363		$Zn(OH)_2 + 2e = Zn + 2OH^-$	-1,245
	$Tl(OH)_3 + 2e = TlOH + 2OH^-$	-0,05		$Zn(OH)_4^{2-} + 2e = Zn + 4OH^-$	-1,22
	$Tl_2O_3 + 3H_2O + 4e = 2Tl^+ + 6OH^-$	0,02		$ZnO_2^{2-} + 2H_2O + 2e = Zn + 4OH^-$	-1,216
	$TlOH + H^+ + e = Tl + H_2O$	0,778		$ZnCO_3 + 2e = Zn + CO_3^{2-}$	-1,06
	$Tl^{3+} + 2e = Tl^+$	1,252		$Zn(NH_3)_4^{2+} + 2e = Zn + 4NH_3$	-1,04
U	$UO_2 + 2H_2O + 4e = U + 4OH^-$	-2,39		$Zn^{2+} + 2e = Zn$	-0,763
	$U^{3+} + 3e = U$	-1,798		$ZnO_2^{2-} + 4H^+ + 2e = Zn + 2H_2O$	0,441
	$U^{4+} + e = U^{3+}$	-0,607		$ZrO^{2+} + 2H^+ + 4e = Zr + H_2O$	-1,570
	$UO_2^{2+} = UO_2^+$	0,05	Zr	$ZrO_2 + 4H^+ + 4e = Zr + 2H_2O$	-1,553
	$UO_2^{2+} + 4H^+ + 2e = U^{4+} + 2H_2O$	0,334		$Zr^{4+} + 4e = Zr$	-1,539
	$UO_2^+ + 4H^+ + e = U^{4+} + 2H_2O$	0,62			

Список литературы

Карапетьянц М.Х., Дракин С.И. Общая и неорганическая химия.: учебник 5-е изд. Изд-во Книжный дом «Либроком» 2015. 592 с.

Глинка Н.Л. Общая химия.: учебник / под ред. В.А. Попкова, А.В. Бабкова. 18-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во «Юрайт»; ИД «Юрайт», 2011. 886 с.

Глинка Н.Л. Общая химия. Задачи и упражнения: учебно-практическое пособие. Изд-во «Юрайт»; ИД «Юрайт», 2014. 240 с.

Хомченко И.Г. Общая химия. Сборник задач и упражнений. Изд-во «Новая волна», 2011. 256 с.

Учебное издание

Наталья Анатольевна Зайцева, Ирина Альбертовна Низова

ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ ПО КУРСУ «ХИМИЯ»

ЧАСТЬ II

Окислительно-восстановительные реакции

Учебное пособие

Редактор изд-ва

Компьютерная верстка Н.*А.Зайцевой*

Подписано в печать .Бумага писчая. Формат 60×84 1/16.
Печать на ризографе. Гарнитура Times New Roman.
Печ. л. Уч.-изд. л. 1,0 .Тираж 100 .Заказ

Издательство УГГУ
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНОБРНАУКИ РФ
Уральский государственный горный университет

Н.В. Рубан, И. А. Антонова

Гидрогеология и инженерная геология

Учебно-методическое пособие по практическим занятиям по дисциплине «Гидрогеология и инженерная геология» для студентов специальности 21.05.03 «Технология геологической разведки»

Екатеринбург
2020

МИНОБРНАУКИ РФ

Уральский государственный горный университет

Н.В. Рубан, И. А. Антонова

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Учебно-методическое пособие по практическим занятиям по дисциплине «Гидрогеология и инженерная геология» для студентов специальности 21.05.03 «Технология геологической разведки»

Екатеринбург

2020

Содержание

1. Основы гидрогеологической стратификации ____ *4*

2. Изучение режима подземных вод ____ *11*

3. Водные свойства горных пород ____ *14*

3.1. Определение коэффициента фильтрации глинистых и песчаных горных пород ____ **14**

3.1.1. Водопроницаемость горных пород ____ 14

3.1.2. Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов ____ 16

4. Химический состав подземных вод ____ *18*

4.1. Обработка результатов химического анализа подземных вод ____ **19**

4.2. Графическое изображение результатов химических анализов ____ **22**

4.3. Оценка качества питьевых вод ____ **28**

5. Построение и анализ карт гидроизогипс ____ *32*

7. Построение и анализ гидрогеологических разрезов ____ *37*

Список литературы ____ *41*

1. Основы гидрогеологической стратификации

Гидрогеологическая стратификация – это расчленение геологического разреза на элементы, существенно отличающиеся в гидрогеологическом отношении.

По Г. Н. Каменскому «гидрогеологический элемент – это некоторый объем геологической среды, выделенный на основе гидрогеологических признаков и не подвергающийся дельнейшему членению».

Главный принцип гидрогеологической стратификации основан на учете стратиграфических и гидрогеологических признаков системы «вода-порода». При этом основное расчленение геологического разреза выполняется с учетом геолого-структурных особенностей территории, а литолого-фациальный анализ рассматривается как база для определения исходных гидрогеологических свойств. По этим признакам в разрезе выделяют водонасыщенные и неводонасыщенные, водопроницаемые и водонепроницаемые слои и пласты и пр.

Гидрогеологический слой (тело) – это одновозрастные породы, характеризующиеся выдержанностью по мощности и распространению, и обладающие относительно одинаковыми фильтрационными и емкостными свойствами. Выделяют следующие типы слоев: водоносный, водоупорный, относительно водоупорный, неводонасыщенный проницаемый, слабопроницаемый, непроницаемый.

Водоносный горизонт (зона) – проницаемое гидрогеологическое тело, постоянно содержащее подземные воды и отличающееся преимущественно однородным составом пород, характером питания, транзита и разгрузки подземных вод. Водоносная зона отличается от водоносного горизонта пространственной локализацией повышенной трещиноватости (тектонической или экзогенной) и проницаемости пород.

Относительно водоносный горизонт (зона) – слабопроницаемое гидрогеологическое тело, содержащее подземные воды.

Относительно водоупорный горизонт (зона) – весьма слабопроницаемое гидрогеологическое тело, содержащее подземные воды преимущественно в связанном виде и характеризующееся замедленной, вертикальной фильтрацией при возникновении градиента напора между смежными водоносными подразделениями.

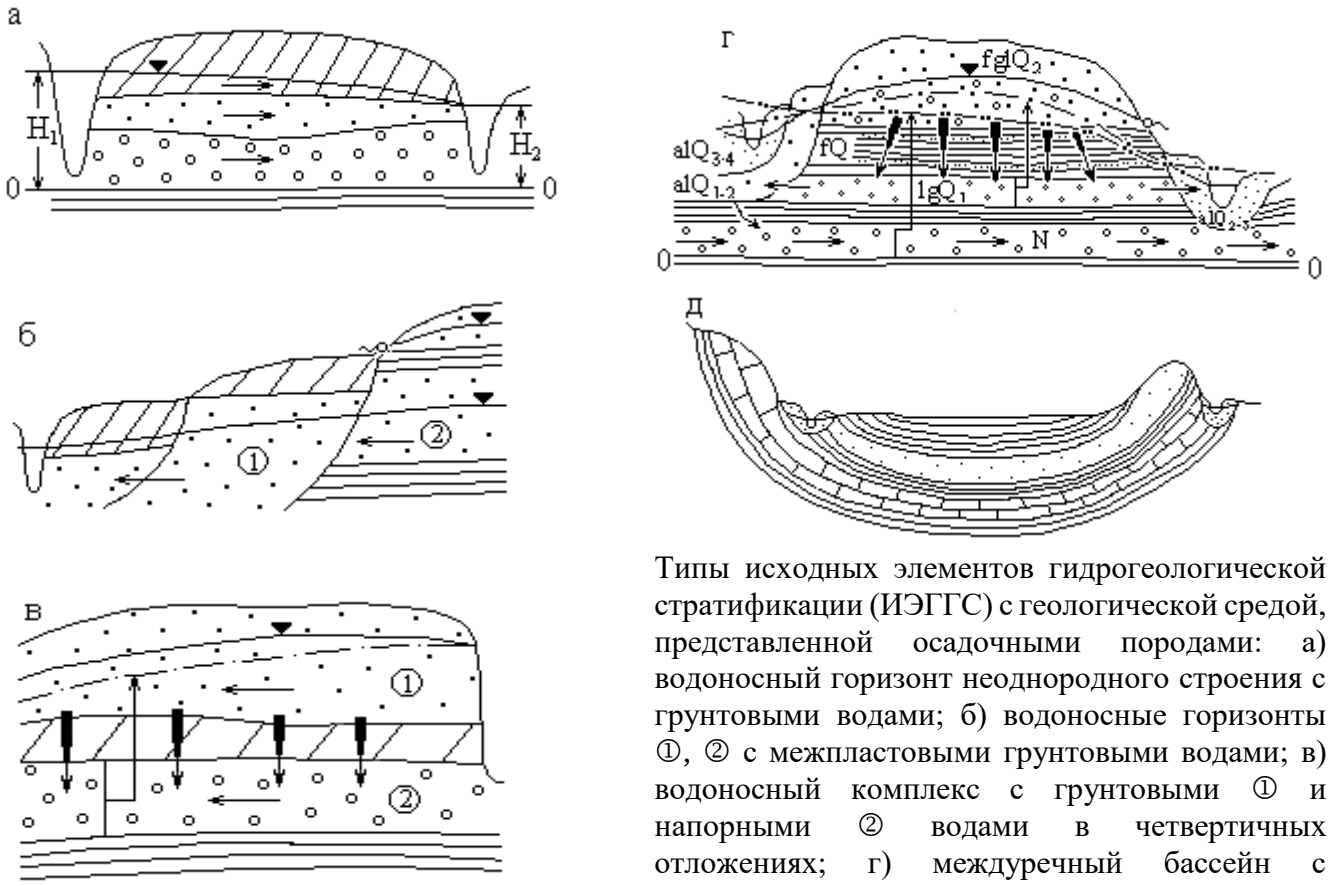
Водоупорный горизонт (зона) – практически водонепроницаемое гидрогеологическое тело.

Водоносный (относительно водоносный) комплекс – гидрогеологическое тело, состоящее из нескольких гидравлически взаимосвязанных водоносных (относительно водоносных) горизонтов или зон и разделяющих их локально или относительно водоупорных горизонтов (зон).

Водоносный этаж - система водоносных горизонтов (зон) и комплексов, характеризующаяся общими условиями водообмена и формирования подземных вод. Водоносный этаж подстилается входящим в его состав региональным водоупорным горизонтом, повсеместно развитым в границах гидрогеологической структуры.

Гидрогеологический бассейн – совокупность нескольких водоносных, водоупорных и относительно водоупорных горизонтов и (или) комплексов, характеризующихся в целом, общностью геологического развития и формирования гидродинамических, гидрохимических и гидрогеотермических процессов.

Гидрогеологическая система – совокупность нескольких гидрогеологических бассейнов, характеризующихся в целом общностью формирования ресурсов подземных вод.



Типы исходных элементов гидрогеологической стратификации (ИЭГГС) с геологической средой, представленной осадочными породами: а) водоносный горизонт неоднородного строения с грунтовыми водами; б) водоносные горизонты ①, ② с межпластовыми грунтовыми водами; в) водоносный комплекс с грунтовыми ① и напорными ② водами в четвертичных отложениях; г) междуречный бассейн с межпластовыми напорными водами в неогеновых, четвертичных отложениях и грунтовыми водами в аллювиальных и флювиогляциальных отложениях; д) артезианский бассейн с напорными водами.

Рис. 1.1. Элементы гидрогеологической стратификации

Выделение гидрогеологических элементов по условиям залегания.

Факторы, определяющие условия залегания подземных вод:

- Геологические (структурно-тектонические, литолого-фациальные и генетические типы отложений);
- Геоморфологические (тип, форма рельефа, характер и степень его эрозионной расчлененности, влияющие на условия питания и разгрузки подземных вод);
- Физико-географические или ландшафтные (определяют характер связи подземных вод с атмосферой, реками и т. п., величину питания и режим подземных вод, их запасы и ресурсы, качество).

По условиям залегания выделяют два вида подземных вод: грунтовые (безнапорные ①) и артезианские (напорные②), рис. 1.2.

По степени и характеру водонасыщенности выделены в разрезе 3 зоны: А – неполного (аэрации); Б – полного насыщения капельножидкой водой пор и трещин водовмещающих пород; и В – диссипации (где вода может находиться в диссоциированном состоянии). Для каждой зоны характерны преобладающие виды подземных вод по условиям нахождения и движения в горных породах. В зоне А – инфильтрационная и физически связанная вода, основная форма ее движения – инфильтрация (или влагоперенос). В зоне Б – свободная гравитационная вода, основная форма движения – фильтрация (или миграция подземных вод); в зоне В – физически- и химически связанная вода.

В таблице 1.1 приведена систематизация основных факторов, при анализе которых выделяются гидрогеологические системы по условиям залегания, а в таблице 1.2 приведены основные виды гидрогеологических систем с грунтовыми и напорными водами.

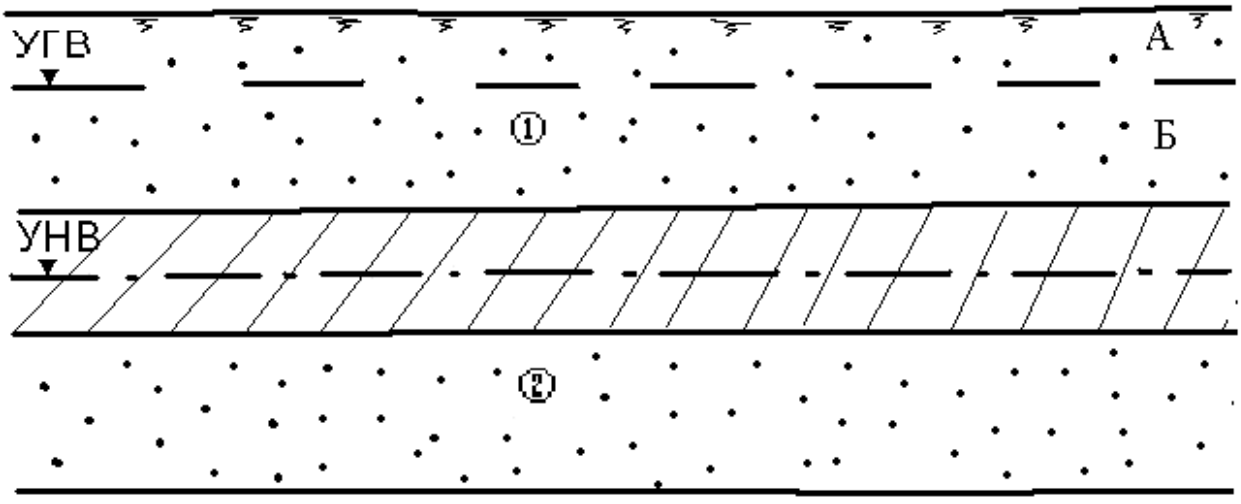


Рис. 1.2. Виды подземных вод по условиям залегания

Таблица 1.1

Факторы, определяющие выделение гидрогеологических систем в гидролитосфере по условиям залегания

Зона	Вид подземный воды	Признак				
		гидрогеологический	структурный	морфологический	литолого-генетический	гидротермодинамический
Аэрации	Инфильтрационная, физически связанная	Локальные зоны, потоки	-	-	-	Влагоперенос
Насыщения	Грунтовая (гравитационная)	Бассейны, потоки	Платформы, геосинклинали Впадины, прогибы, щиты, синклинали, антиклинали, разрывные структуры и др.	Речные долины, междуречья, конусы выноса, предгорные равнины, мелкосопочник, озы, камы	Осадочные породы, метаморфические и изверженные породы Недислоцированные, дислоцированные Терригенные, карбонатные Аллювий, пролювий, делювия	Фильтрация Миграция а) конвекция, б) гидродисперсия, в) диффузия, г) сорбция, д) растворение и др.
	Напорная (гравитационная)	Бассейны, склоны, потоки	Платформы, геосинклинали Впадины, прогибы, щиты, синклинали, антиклинали, разрывные структуры и др.	Виды складчатых структур Виды разрывных нарушений	Осадочные породы, метаморфические и изверженные породы Недислоцированные, дислоцированные Терригенные, карбонатные Аллювий, пролювий, делювия	Фильтрация Миграция а) конвекция, б) гидродисперсия, в) диффузия, г) сорбция, д) растворение и др.
	Глубинная (физически и химически связанная, свободная)	Потоки	Крупные разломы линеаменты и др.	-	Осадочные породы, метаморфические и изверженные породы	Миграция
Диссипации	мономолекулярная	- » -	Системы глобальных разломов	-	-	

Таблица 1.2

Систематизация гидрогеологических систем по условиям залегания

<table>
<tr><td>Зоны гидролитосферы</td><td>Виды подземных вод</td><td colspan="7">Виды гидрогеологических систем по условиям залегания</td></tr>
<tr><td>Неполного насыщения</td><td>Инфильтрационная, капиллярная и гравитационная</td><td colspan="7">Инфильтрующаяся вода (локальные потоки)
Зона с капиллярно-подвешенной водой
Верховодка (локальный бассейн)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Полного насыщения</td><td rowspan="2">Грунтовые (гравитационные)</td><td colspan="5">А. Грунтовые потоки и бассейны вне криолитозоны и молодой вулканической деятельности</td><td>Б. Грунтовые бассейны и потоки криолитозоны</td><td>В. грунтовые бассейны и потоки зон молодой вулканической деятельности</td></tr>
<tr><td>I. Потоки речных долин:
1) потоки в аллювии равнинных рек;
2) подрусловые потоки;
3) потоки в погребенных долинах</td><td>II. Бассейны и потоки междуречных пространств:
1) в осадочных отложениях, недисло-цированных;
2) то же, дислоцированных;
3) в изверженных и метаморфических породах;
4) то же, с зонами разломов;
5) в вулканических лавах.</td><td>III. Потоки конусов выноса, предгорных равнин:
1) поток грунтовых вод головной части конуса выноса;
2) поток грунтово-напорных вод слоистых толщ.</td><td>IV. Бассейны синклинальных структур:
1) горных сооружений;
2) мелко-сопочника.</td><td>V. Бассейны и потоки с линзами пресных вод:
1) под-песчаными;
2) под-такырными;
3) при-канальными, приречными.</td><td>С наличием зон высокотемпературных полей, гейзеров, фумарол и др. в отложениях речных долин, междуречных пространств синклинальных структур, горных сооружений</td><td>С наличием зон многолетних мерзлых пород в отложениях речных долин, междуречных пространств, синклинальных структур горных сооружений</td></tr>
</table>

Продолжение таблицы 1.2.

Зоны гидролитосферы	Виды подземных вод	Виды гидрогеологических систем по условиям залегания						
	Напорные (гравитационные)	I. Артезианские бассейны: 1) платформ; 2) меж-горных впадин, краевых прогибов; 3) наложенные бассейны; 4) бассейны горных сооружений в осадочных отложениях, лагунах, вулканогенах	II. Артезианские склоны: 1) моноклиналей; 2) асимметричных структур; 3) выклинивания.	III. Субартезианские бассейны: 1) в осадочных отложениях на щитах; 2) в осадочных породах на платформах; 3) в дислоцированных породах горных сооружений.	IV. Бассейны междуречных пространств с межпластовыми напорными водами: 1) в четвертичных ледниковых отложениях; 2) в горизонтально залегающих четвертичных и более древнего возраста осадочных отложениях.	V. Потоки напорных вод крупных разломов: 1) вне криолитозоны и молодой вулканической деятельности; 2) в криолитозоне; 3) в зоне молодой вулканической деятельности.		
Диссипации	Глубинные (химически и физически связанные, гравитационные)	Сосредоточенные потоки напорных вод систем глобальных нарушений						

2. Изучение режима подземных вод

Режим подземных вод – процесс изменения во времени основных показателей подземных вод под влиянием различных факторов в данной естественноисторической обстановке.

Основными характеристиками режима называют числовые значения, характеризующие главные морфологические особенности хронологических графиков изменения показателей режима. Хронологическими называют графики изменения уровня, расхода, минерализации, температуры подземных вод во времени. К основным характерным параметрам режима относят (рис. 2.1): амплитуде А и период Т колебаний, экстремальные точки (минимумы, максимумы), средние, минимальные, максимальные и другие значения уровня, расхода, минерализации и т. п. С помощью этих характеристик можно более компактно в числовом виде представить хронологические графики показателей режима и тем самым уменьшить объем исходной информации.

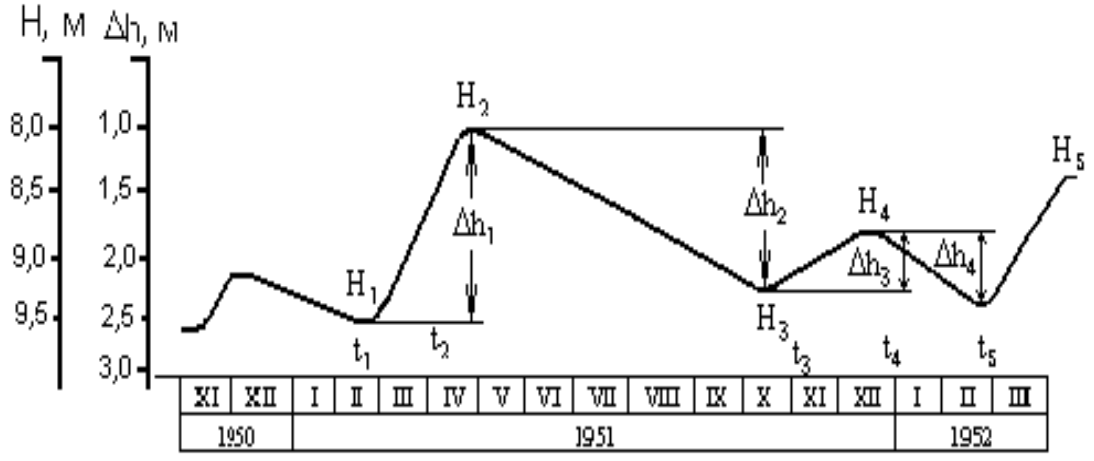


Рис. 2.1. Основные показатели сезонного изменения уровня подземных вод (по М. А. Шинкаревскому)

Определяют минимальные и максимальные значения суточных, декадных, месячных, весенних, летних, зимних, многолетних амплитуд,

подъемов, спадов (для уровней), температур, минерализации воды и других показателей режима. За эти интервалы времени вычисляют средние значения показателей:

$$\ddot{I}_{\tilde{n}\partial} = \frac{\sum_{1}^{n} \ddot{I}_{i}}{n},$$

где $П._i$ – значение показателя; n – число имеющихся показателей за рассматриваемый интервал времени.

К экстремальным точкам графиков относят максимум и минимум уровня, температуры, минерализации и соответственно дату его наступления (см. рис. 2.1). Амплитуды характеризуют разность между максимальным $П_{max}$ и минимальным $П._{min}$ значениям каждого из этих показателей за выделенный период времени

$$A = П_{max} - П._{min}$$

При нарушенном режиме вычисляют характерные показатели от действия техногенных факторов, например, амплитуду многолетнего подъема уровня воды под влиянием орошения или амплитуду снижения уровня воды под влиянием откачки и т. п.

Период колебаний T характеризует интервал времени между двумя значениями какого-либо показателя режима

$$T = t_2 - t_1$$

Чаще всего это интервал между временем наступления максимального и минимального значений показателя.

Задача. В предгорной части долины реки в толще аллювиальных песчано-глинистых отложений оборудованы створ наблюдательных скважин и гидрометрический пост на реке (рис.2.2). Провести первичную обработку наблюдений, пользуясь фактическими данными (таблица 2.1). Для этого выполнить следующее:

1) построить хронологические графики колебаний уровня воды в реке и скважинах; предварительно вычислить отметки уровня воды, зная, что отметки устьев скважины равны: скв.1 – 211,7 м, скв.2 – 211,65 м, скв 3. – 211,63 м, отметка “0” на гидропосте равна 209,5 м;
2) по графикам определить основные параметры режима подземных вод;
3) установить наличие и характер связи с рекой, для этого нанести на геологический разрез (рис. 2.2) положение уровня грунтовых вод на минимальные и максимальные даты.

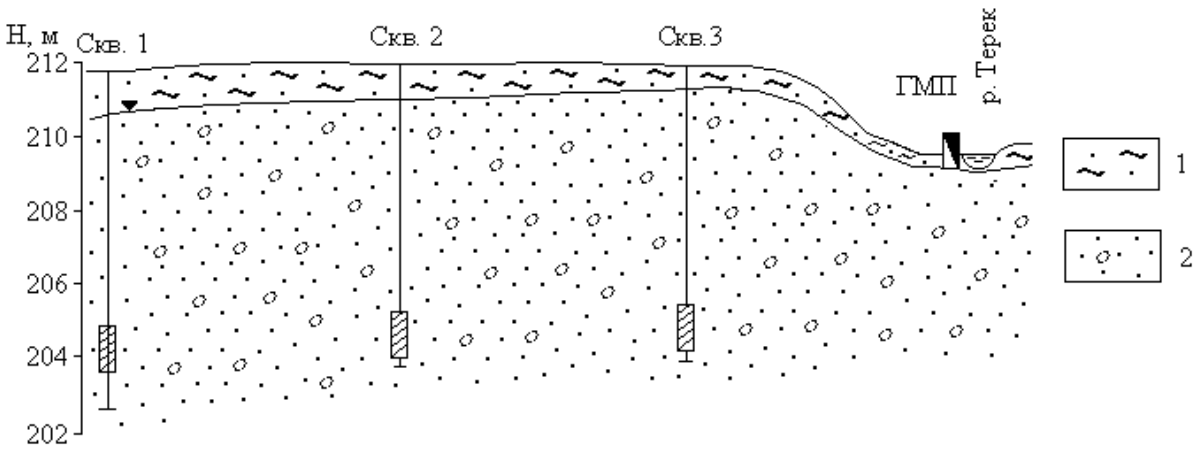


Рис. 2.2. Гидрогеологический створ в предгорной части долины р. Терека (alQ_4): 1 – супесчаный почвенный слой; 2 – гравийно-галечниковые отложения; ГМП – гидрометрический створ

Таблица 2.1

Данные наблюдений за уровнями грунтовых вод и реки

Дата наблюдений	Глубина залегания уровня от поверхности земли, м			
	Скв.1	Скв.2	Скв.3	Река

I/I 2002 г.	6,05	6.55	7.05	0.50
15/I	6,02	6.52	7.02	0.50
I/II	6,06	6.56	7.16	0.50
15/II	6,10	6.60	7.10	0.50
I/III	6,10	6.60	7.10	0.50
15/III	6,10	6.60	7.10	0.50
I/IV	6,10	6.60	7.10	0.60
15/IV	6,10	6.60	7.10	0.60
I/V	6,10	6.60	7.10	1.00
15/V	6,00	6.50	7.05	0.70
I/VI	5,90	6.40	6.90	1.00
15/VI	5,80	6.30	6.80	0.80
I/VII	5,80	6.30	6.80	1.00
15/VII	5,30	5.90	6.50	1.00
I/IX	4,50	5.00	5.90	1.00
15/IX	4,40	4.90	5.90	0.60
I/X	4,40	4.90	5.90	10.45
I/XI	4,40	4.90	6.0	0.50
15/XI	4,85	5.35	6.10	0.45
I/XII	4,90	5.40	6.13	0.50
I/I 2003 г.	5.00	5.30	6.15	0.50
15/I	5.90	6.40	6.90	0.45

3. Водные свойства горных пород

3.1. Определение коэффициента фильтрации песчаных горных пород

3.1.1. Водопроницаемость горных пород

Процесс фильтрации – это механическое движение свободной воды под действием градиента напора в порах и трещинах горных пород в условиях их полного заполнения этой водой. Водопроницаемость горных пород – это способность их пропускать через себя воду.

Водопроницаемость зависит от размера сообщающихся между собой пор и трещин в горных породах и характеризуется коэффициентом фильтрации, имеющим размерность скорости (см/с, м/с, м/сут).

Такая размерность получается из закона линейной фильтрации – закона Дарси, согласно которому количество фильтрующей воды в единицу времени

прямо пропорционально коэффициенту фильтрации $К_ф$, площади фильтрации F и гидравлическому градиенту J:

$$Q = K \cdot F \cdot J \qquad (1)$$

Разделив правую и левую части этого уравнения на F, получим

$$\frac{Q}{F} = K \cdot J, \text{ где } \frac{\text{Q}}{\text{F}} = V \qquad (2)$$

Из формулы (2) следует, что коэффициент фильтрации есть скорость фильтрации при градиенте, равном единице.

$$V = \text{К при J} = 1 \qquad (3)$$

Формулой (3) определяется скоростная размерность коэффициента фильтрации горных пород.

Следует отметить, что расчетная скорость фильтрации отличается от истинной скорости движения воды в породах, так как жидкость движется не через всю площадь, а через площадь поровых и трещинных пространств.

Величина коэффициента фильтрации зависит от физических свойств горных пород (гранулометрический состав, плотность сложения и др.).

Средние значения $К_ф$ для различных горных пород приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Классификация пород по водопроницаемости

Группа	$К_ф$, м/сут	Примеры пород
Весьма проницаемые	>100	Крупный гравий, закарстованные сильнотрещиноватые известняки, галечник с песчаным заполнителем.
Хорошо проницаемые	100 – 10	Гравийно-галечниковые отложения, крупнозернистые пески, сильнотрещиноватые породы.
Проницаемые	10 – 1	Пески разной зернистости, трещиноватые породы.
Слабопроницаемые	$1 – 10^{-1}$	Мелко- и тонкозернистые пылеватые пески, супеси, слабо трещиноватые породы.

Группа	$К_ф$, м/сут	Примеры пород
Весьма слабопроницаемые	10^{-1}- 10^{-3}	Мелкие и средние суглинки, песчаные породы.
Относительно водоупорные	10^{-3}	Средние глины, плотные суглинки.

В лабораторных условиях коэффициент фильтрации определяется с помощью специальных приборов на образцах естественного и нарушенного сложения.

3.1.2. Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов

Определение коэффициент фильтрации песчаных пород с помощью прибора, называющегося трубкой СпецГео, в основе работы которого лежит принцип трубки Дарси, и который дает возможность вести испытания пород при постоянном гидравлическом градиенте.

В состав трубки Спецгео входит:

1) фильтрационная трубка, состоящая из прямого цилиндра с площадью поперечного сечения 25 $см^2$ и высотой 100 мм с заостренными краями, перфорированного дна с отверстиями размером 2х2 мм и муфты с латунными сетками;
2) мерный стеклянный баллон со шкалой объемом 100 $см^3$;
3) приспособление для насыщения грунта водой и регулирования градиента напора, состоящее из подставки, подъемного винта, планки со шкалой градиентов напора от 0,1 до 1.

Последовательность определения.

1. Заполняют цилиндр испытуемым грунтом.

При испытании пород естественного сложения заостренным концом рабочего цилиндра вырезают образец грунта.

При испытании пород нарушенного сложения с высушенным до воздушно-сухого состояния грунтом проводят 2 опыта: в предельно рыхлом и предельно плотном сложении. В 1-ом случае наполнение цилиндра производится насыпанием грунта до необходимой высоты без уплотнения, во 2-ом – цилиндр наполняется слоями грунта толщиной 1-2 см с уплотнением каждого слоя трамбованием.

2. Насыщение грунта водой.

В корпус наливают воду и вращением подъемного винта поднимают подставку до упора. Устанавливают цилиндр с грунтом на подставку, медленно погружают в воду до отметки градиента напора 0,8 и оставляют его в таком положении до тех пор, пока грунт увлажнится. В процессе водонасыщения грунта поддерживают постоянный уровень воды у верхнего края корпуса. Породу водонасыщают снизу, чтобы не произошло защемление воздуха. На полное водонасыщение укажет появившаяся на поверхности грунта пленка воды.

3. После водонасыщения грунта на образец помещают латунную сетку, на цилиндр одевают муфту. Вращением винта устанавливают цилиндр с грунтом до совмещения отметки необходимого градиента напора на пленке с верхним краем крышки корпуса и доливают воду в корпус до верхнего его края.

Замеряют температуру воды, заполняют его мерный стеклянный баллон и, закрывая пальцем его отверстие, быстро опрокидывают отверстием вниз и укрепляют в муфте фильтрационной трубки так, чтоб его горлышко соприкасалось с латунной сеткой.

После установки мерного баллона в него начинают равномерно подниматься мелкие пузырьки воздуха, что указывает на начало фильтрации. Если в баллон прорываются крупные пузырьки воздуха, то его необходимо опустить глубже, добившись появления мелких пузырьков.

Отметив уровень воды в стеклянном баллоне, заметить соответствующее этому уровню время по секундомеру. Следить за скоростью фильтрации воды.

Замеры расхода воды произвести несколько раз (не менее четырех) и вычислить среднее значение.

4. Обработка результатов. Данные опыта занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Журнал для определения Кф в трубке СпецГео

№ опыта	Описание породы	Площадь поперечного сечения трубки	Градиент напора	Температура воды	Объем профильтрованной воды	Время фильтрации	$К_ф$ по отдельным замерам	Средний коэффициент фильтрации

Коэффициент фильтрации $К_{10}$, м/сут, приведенный к условиям фильтрации при температуре воды 10 ^{0}С, вычисляют по формуле:

$$K_{10} = \frac{864 \cdot V}{t \cdot A \cdot T \cdot J},$$

где V – объем профильтровавшейся воды при одном замере, см^3;

t- время фильтрации;

А – площадь поперечного сечения цилиндра с грунтом, см^2;

J - градиент напора;

$T=0,7+0,03T_ф$ – температурная поправка,

где $T_ф$ - фактическая температура воды при опыте;

864 – переводной коэффициент (из см/сек в м/сут).

4. Химический состав подземных вод

Природные воды являются растворами сложного состава и разнообразной минерализации, колеблющейся в пределах от единиц миллиграммов до сотен граммов в литре.

Формирование химического состава природных вод происходит в результате выщелачивания, испарения, конденсации, ионного обмена, поглощения и выделения газов, органической жизни и продуктов ее

деятельности и других физико-химических процессов взаимодействия вод с породами, почвами и газами. Растворяющая способность воды делает ее важнейшим агентом в геохимических процессах перераспределения элементов в земной коре.

В практике гидрогеологических работ исследование химического состава природных вод решает следующие задачи:

1. Изучение закономерностей формирования и распространения природных вод различного состава.
2. Исследование природных вод как поискового критерия на месторождения полезных ископаемых.
3. Оценка природных вод как химического сырья для получения йода, брома, бора, меди и др. веществ.
4. Оценка состава и свойств природных вод для питьевого, технического, сельскохозяйственного, лечебного и других видов использования.
5. Оценка загрязненности природных вод под воздействием антропогенных факторов.

С целью определения химического состава растворенных в воде веществ производят химический анализ воды.

В зависимости от задач и целей исследований полнота и характер анализа могут быть различными. В практике применяются общие, сокращенные и специальные анализы воды, производимые в полевых и стационарных условиях.

4.1. Обработка результатов химического анализа подземных вод

Ионно-солевой состав воды принято выражать в виде содержания в воде отдельных ее компонентов ионов.

Результаты химического анализа вод могут быть представлены в различных формах. Различают ионно-весовую, эквивалентную и процент-эквивалентную формы выражения химических анализов.

Ионно-весовая форма – основная форма выражения результатов анализа, представляет собой выражение ионно-солевого состава подземных вод в виде

весовых количеств отдельных ионов в миллиграммах или граммах на 1 л воды, а для минерализованных вод и рассолов – на 1 кг воды.

Однако, для полной характеристики свойств воды ионная форма выражения анализа недостаточна. Поэтому наряду с ионной формой пользуются мг/экв формой выражения анализа, наиболее полно отражающей внутреннюю химическую природу входящих в состав воды веществ и ее важнейшие свойства.

Эквивалентная форма основана на том положении, что ионы в растворе реагируют между собой не в равных весовых количествах, а в эквивалентных количествах, зависящих от массы иона и их валентности. Эквивалентным весом иона называется частное от деления его ионной массы на валентность, например: эквивалент Na^+ равен 23/1; Cl^- - 35,5/1; Ca^{2+} - 40/2. Следовательно, при реакции реагируют на 1 г Na с 1 граммом Cl^-, а 1 эквивалент Na^+ с 1 эквивалентом Cl^-.

Для перехода от ионно-весовой формы к мг/экв–форме необходимо число миллиграммов каждого иона разделить на его эквивалентный вес, или умножить на коэффициент, представляющий величину, обратную эквивалентному весу. В таблице 4.1. представлены пересчетные коэффициенты для наиболее распространенных в подземных водах ионов.

Таблица 4.1

Таблица эквивалентных масс и пересчетных коэффициентов

Анионы А	Эквивалентная масса	Пересчетный коэффициент	Катионы К	Эквивалентная масса	Пересчетный коэффициент
Cl^-	35,457	0,02820	Na^+	22,997	0,04348
SO_4^{2-}	48,033	0,02082	K^+	39,098	0,02558
HCO_3^-	61,018	0,01639	Mg^{2+}	12,160	0,08224
CO_3^{2-}	30,005	0,03333	Ca^{2+}	20,040	0,04990
NO_2^-	46,008	0,02174	NH_4^+	18,040	0,05543
NO_3^-	62,008	0,01613	Fe^{2+}	27,925	0,03581
PO_4^{3-}	31,658	0,03159	Fe^{3+}	18,617	0,05371

Если содержание какого-либо иона выражают в эквивалентной форме, то перед символом ставят знак “r” (реагирующая величина).

Согласно правилу Фрезениуса, все химические соединения, растворенные в водном растворе, реагируют между собой в эквивалентных количествах, т. е.

$$\Sigma rK = \Sigma rA$$

Практически в полном анализе, когда все ионы определены аналитически, точного совпадения цифр ввиду погрешностей анализа не бывает.

Для сопоставления химического состава природных вод различной минерализации и более ясного представления о соотношениях между ионами одной и той же воды проводится пересчет результатов анализа воды в % - эквивалентную форму.

Для вычисления %-экв принимают сумму мг·экв анионов (ΣrA), содержащихся в 1л воды за 100% и вычисляют процент содержания каждого аниона в мг·экв по отношению к этой сумме. Аналогично поступают и с катионами:

$$\%-\underset{(или K)}{экв A} = \frac{100 \cdot rA(или K)}{\sum rA(или K)}$$

Результат анализа ионов, выраженный в различных формах, представляют в виде таблицы 4.2:

Таблица 4.2

Пример выражения результатов химического анализа воды

Катионы	Содержание			Анионы	Содержание		
	мг/л	мг-экв/л	%-экв/л		мг/л	мг-экв/л	%-экв/л
Na^+	78	3,39	34	Cl^-	125	3,53	36
K^+	9	0,23	2	SO_4^{2-}	83	1,73	17
Ca^{2+}	89	4,44	44	NO_3^-	5	0,08	1
Mg^{2+}	24	1,97	20	HCO_3^-	282	4,62	46
Итого pH=7,6	200	10,03	100	Итого	495	9,96	100

Определение общей минерализации. Для определения общей минерализации находят сумму миллиграммов всех ионов, молекул и других соединений, содержащихся в воде согласно выполненному анализу. О

величине общей минерализации можно судит по сухому, или плотному остатку, полученному после выпаривания воды. Растворенные газы, летучие соединения, в том числе органические вещества, при выпаривании и высушивании улетучиваются, но могут идти процессы гидролиза и образования кристаллогидратов. Все это может приводить к значительным погрешностям в определении сухого остатка. Расхождение между экспериментальным определением сухого остатка и расчетной величиной общей минерализации не должно превышать 3 %.

Определение видов жесткости воды. Общая жесткость определяется как сумма миллиграмм-эквивалент в 1 л ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}, карбонатная – как величина иона HCO_3^-, связанного с Ca^{2+} и Mg^{2+}. В случае, когда количество иона HCO_3^- превышает суммарное содержание ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}, вся жесткость считается карбонатной. Постоянную жесткость воды определяют как разницу между общей и карбонатной.

4.2. Графическое изображение результатов химических анализов

Формула Курлова (или формула состава воды) - прием наглядного изображения химического состава природной воды. Эта формула представляет собой псевдодробь, в числителе которой в убывающем порядке записывают процент-эквивалентное содержание анионов, в знаменателе катионов.

Перед дробью сокращенно указывают величину минерализации (М) в г/л с точностью до одного десятичного знака, и компоненты (в том числе и газы), придающие воде специфические свойства (CO_2, H_2S, Br, Y, радиоактивность и др.). Справа от дроби указывают показатели, характеризующие Eh, pH, T (ºC), при наличии данных – дебит Q скважины или источника в $м^3$/сут.

Ионы, присутствующие в количествах менее 10 %-экв/л в форму не вносят.

В наименование состава воды включаются анионы и катионы, содержание которых превышает 25 %-экв/л. Наименование состава воды дается в следующем порядке: по минерализации, по анионному, затем по катионному составу (в

порядке увеличения), по специфическим компонентам, по величине pH, по температуре.

В качестве примера рассмотрим формулу состава воды для приведенного выше результата химического анализа подземных вод.

$$M0,7\ \frac{HCO_3 46 Cl 36 SO_4 17}{Ca 44 Na 34 Mg\, 20}\ pH 7,6$$

Т. е. вода хлоридно-гидрокарбонатная натриево-кальциевая пресная, слабощелочная.

Существуют графические способы выражения химического состава природных вод, которые позволяют на небольшой по размерам схеме показать результаты сотен анализов. Рассмотрим 2 из них: метод треугольных координат и график–квадрат Толстихина.

Метод треугольных координат (графики-треугольники Фере). Применение равносторонних треугольников для отображения химического состава природных вод основано на общеизвестном их свойстве: общая длина перпендикуляров, восстановленная из любой точки равностороннего треугольника на его стороны, является величиной постоянной, т. е. перпендикуляры из каждой точки треугольника могут служить координатами (рис. 4.1).

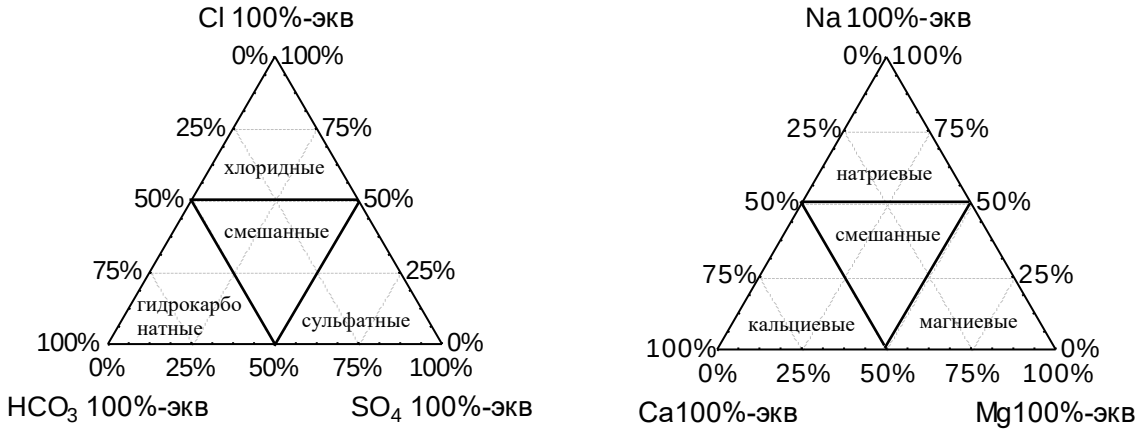
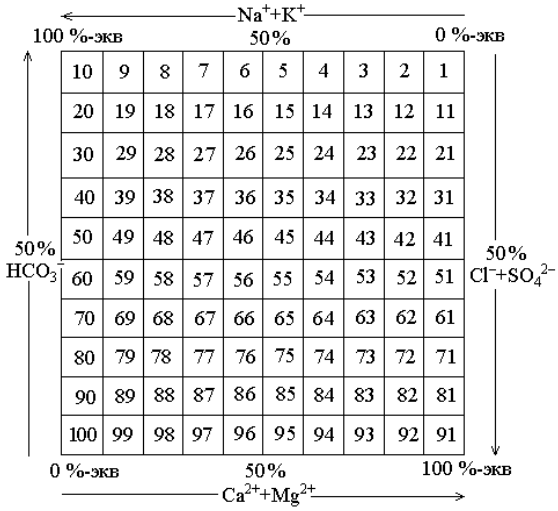


Рис. 4.1. Графическая систематизация химических анализов подземных вод по треугольникам Фере

Графики-треугольники Фере составляются отдельно для катионов и анионов, содержание которых дается в %-экв/л. В вершинах треугольников содержание ионов составляет 100 %-экв/л. Каждая сторона треугольника делится на 10 равных частей по 10 %-экв. Положение анализов определяется пересечением 3-х линий, параллельных основаниям треугольника.

Группировка анализов в вершинах треугольников указывает на преобладание в водах соответствующих ионов; в средней части располагаются смешанные по составу воды. Графики-треугольники дают возможность определения соотношений каждого иона, но сопоставление анализов затрудняется разобщенным изображением анионов и катионов.

График-квадрат Н. И. Толстихина. График-квадрат представляет собой квадрат, каждая сторона которого разделена на 10 равных частей – по 10 %-экв. По горизонтальным сторонам квадрата наносят количество катионов (%-экв), по вертикальным – количество анионов. На левой стороне квадрата сверху вниз откладывается эквивалентное содержание сумы ионов $Cl^-+SO_4^{2-}$; на правой - соответственно, снизу вверх HCO_3^-; на верхней стороне слева направо - $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ и тяжелые металлы (Me), внизу - Na^++K^+. Положение анализа на квадрате отмечается точкой и определяется пересечением 2-х осей координат (рис. 4.2).



10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
40	39	38	37	36	35	34	33	32	31
50	49	48	47	46	45	44	43	42	41
60	59	58	57	56	55	54	53	52	51
70	69	68	67	66	65	64	63	62	61
80	79	78	77	76	75	74	73	72	71
90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
100	99	98	97	96	95	94	93	92	91

Рис. 4.2. Графическая систематизация химических анализов подземных вод по квадрату Н. И. Толстихина

Группировка анализов в вершинах квадрата указывает на преобладание химического состава воды: если точка находится в верхнем правом углу квадрата, вода, как правило, имеет гидрокарбонатный магниево-кальциевый состав; если в левом верхнем углу – гидрокарбонатный натриевый. В левом нижнем углу сосредоточены преимущественно хлоридные и сульфатные натриевые воды, а в правом нижнем – хлоридно-сульфатные магниево-кальциевые, в центре – смешанные по составу воды.

Недостатком использования графиков-квадратов является суммарное изображение ионов Cl^- и SO_4^{2}, Ca^{2+} и Mg^{2+}.

Задание. Обработать химический анализ подземный воды, приведенный в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Результаты химических анализов воды

№ п.п.	Водопункт	Температура воды, ^0C	pH	Своб. CO_2, мг/л	Сухой ост., мг/л	Анионы, мг/л				Катионы, мг/л			Примечание
						CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	
1.	Скважина 1	8	7,2	0,8	298	-	115,9	107,4	8,9	12,9	52,1	15,2	NO_3 –1.4 мг/л
2.	Скважина 2	7	7,7	15,0	328	-	158,6	118,8	5,3	16,0	66,1	14,6	
3.	Скважина 3	6	7,1	49,5	278	-	134,2	71,1	7,1	8,5	50,1	12,1	$Fe_{общ}$ - 0,2 мг/л
4.	Шахтный водоотлив	15	7,8	21,0	3394	348,1	2041,0	4,1	585,0	1364,0	9,0	23,1	NO_3 -3,3 мг/л $Fe_{общ}$ – 0,2 мг/л
5.	Скважина 4	5	8,5	57,0	468	3,0	94,6	258,4	5,3	19,1	73,2	32,8	NO_2 – 0,02 мг/л NO_3 – 0,2 мг/л
6.	Скважина 5	7	7,3	1,6	798	-	405,7	261,2	24,8	170,1	50,1	36,4	NO_3 – 7,0 мг/л
7.	Шахтный водоотлив	10	7,6	33,3	1062	42,0	610,2	174,4	120,6	300,7	23,1	52,3	NO_3 –7,5 мг/л
8.	Скважина 6	8	7,7	88,0	211	-	58,0	93,4	10,6	9,4	30,1	15,8	NO_3 – 0,9 мг/л
9.	Шахтный водоотлив	13	7,3	12,4	3184	9,0	485,1	1564,7	280,1	465,3	244,5	198,2	NO_3 – 1,8 мг/л NO_2 – 1,2 мг/л
10.	Скважина 7	10	7,7	43,7	688	12,0	201,3	179,7	152,4	104,8	70,1	44,9	NO_3 – 0,9 мг/л
11.	Шахтный водоотлив	12	7,6	31,5	3164	24,0	521,7	811,8	921,8	826,5	86,2	149,6	NO_3 – 0,5 мг/л
12.	Скважина 8	9	7,1	8,8	390	-	67,1	206,1	7,1	14,9	62,1	21,8	NO_3 – 1,2 мг/л NH_4 –1,2 мг/л
13.	Скважина 9	9	7,1	19,2	332	-	259,3	68,8	7,5	16,3	70,1	20,6	NO_3 –1,8 мг/л Fe –0,9 мг/л

Продолжение табл. 4.3

№ п.п.	Водопункт	Температура воды, ^0C	pH	Своб. CO_2, мг/л	Сухой ост., мг/л	Анионы, мг/л				Катионы, мг/л			Примечание
						CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	
14.	Шахта	14	7,7	10,5	2078	66,0	744,4	161,7	657,8	703,0	28,1	53,5	NO_3 – 4,0 мг/л
15.	Скважина 10	10	8,3	22,4	328	6,0	137,3	115,6	7,1	11,3	66,1	15,2	
16.	Скважина 11	8	7,9	38,9	447	-	94,6	245,7	7,1	9,4	75,2	31,6	NO_3 – 1,2 мг/л NH_4 – 2,0 мг/л
17.	Скважина 12	7	8,1	71,8	489	-	85,4	256,0	12,4	27,1	80,2	27,3	NO_3 -22,5 мг/л Fe –5,7 мг/л
18.	Скважина 13	8	8,0	13,3	304	-	125,1	104,1	14,2	29,9	56,1	7,9	NO_3 – 8,0 мг/л
19.	Шахта	13	7,3	46,0	1056	-	317,2	385,4	145,3	159,3	116,2	55,3	NO_3 – 1,2 мг/л
20.	Шахта	14	7,4	11,0	1250	-	283,7	503,6	138,2	143,4	134,2	74,1	NO_3 –0,5 мг/л
21.	Скважина 14	9	7,5	78,5	438	-	140,3	216,3	10,6	18,6	86,1	24,3	
22.	Шахта	13	7,9	28,0	1842	-	-	291,8	850,9	537,3	58,1	45,0	NH_4 –0,7 мг/л Fe –2,0 мг/л
23.	Скважина 15	10	6,4	21,1	617	-	30,5	393,4	7,1	19,8	78,2	49,8	NO_3 – 1,5 мг/л NH_4 – 1,0 мг/л Fe – 1,7 мг/л
24.	Скважина 16	8	7,1	36,5	295	-	36,6	141,1	26,6	18,8	47,1	15,2	NO_3 – 8,0 мг/л
25.	Скважина 17	9	7,6	15,4	367	-	244,0	1,0	9,0	46,3	35,3	6,0	

4.3. Оценка качества питьевых вод

При оценке подземных вод для питьевого водоснабжения пользуются следующими нормативными документами: ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая», СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Согласно этим документам, питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства.

Безопасность воды в эпидемическом отношении определяют ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям, представленным в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Микробиологические и паразитологические показатели качества воды

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
Термотолерантные колиформ-ные бактерии (ТТКБ)	число бактерий в 100 мл	отсутствие
Общие колиформные бактерии (ОКБ)	число бактерий в 100 мл	-”-
Общее микробное число (ОМЧ)	число образующих колоний бактерий в 1 мл	не более 50
Колифаги	число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий	число спор в 20 мл	отсутствие
Цисты лямблий	число цист в 50 л	отсутствие

Безвредность питьевой воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативам по:

- обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Российской Федерации, а также веществ антропогенного происхождения, получивших глобальное распространение (таблица 4.5);
- содержанию вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения (таблица 4.6);

- содержанию вредных химических веществ, поступающих в источники водоснабжения в результате хозяйственной деятельности человека (приложение 2 СанПиНа 2.1.1074-01).

Таблица 4.5

Обобщенные показатели и содержания вредных химических веществ в природных водах

Показатели	Ед. изм.	Нормативы (предельно-допустимые концентрации (ПДК), не более	Показатель вредности*	Класс опасности
Обобщенные показатели				
Водородный показатель	Ед. pH	в пределах 6-9		
Общая минерализация (сухой остаток)	мг/л	1000 (1500)**		
Жесткость общая	мг-экв/л	7,0 (10)**		
Окисляемость перманганатная	мг/л	5,0		
Нефтепродукты, суммарно	мг/л	0,1		
Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные	мг/л	0,5		
Фенольный индекс	мг/л	0,25		
Неорганические вещества				
Алюминий (Al^{3+})	мг/л	0,5	с.-т.	2
Барий (Ba^{2+})	-“-	0.1	-“-	2
Бериллий (Be^{2+})	-“-	0,0002	-“-	1
Бор (B, суммарно)	-“-	0,5	-“-	2
Железо (Fe, суммарно)	-“-	0,3 (1,0)**	орг.	3
Кадмий (Cd суммарно)	-“-	0,001	с.-т.	2
Марганец (Mn, суммарно)	-“-	0,1 (0,5)**	орг.	3
Медь (Cu, суммарно)	-“-	1,0	-“-	3
Молибден (Mo, суммарно)	-“-	0,25	с.-т.	2
Мышьяк (As, суммарно)	-“-	0,05	-“-	2
Никель (Ni, суммарно)	-“-	0,1	-“-	3
Нитраты (по NO_3^-)	-“-	45,0	орг.	3
Ртуть (Hg, суммарно)	-“-	0,0005	-“-	1
Свинец (Pb, суммарно)	-“-	0,03	-“-	2
Селен (Se, суммарно)	-“-	0,01	-“-	2
Стронций (Sr^{2+})	-“-	7,0	-“-	2
Сульфаты (SO_4^{2-})	-“-	500	орг.	4
для климатических районов				
- I и II	-“-	1,5	с.-т.	2
- III	-“-	1,2	-“-	2

Продолжение табл. 4.5.

Показатели	Ед. изм.	Нормативы (предельно-допустимые концентрации (ПДК), не более	Показатель вредности*	Класс опасности
Хлориды (Cl^-)	-“-	350	орг.	4
Хром (Cr^{6+})	-“-	0,05	с.-т.	3
Цианиды (CN^n)	-“-	0,035	-“-	2
Цинк (Zn^{2+})	-“-	5.0	орг.	3
Органические вещества***				
γ-ГХЦГ (линдан)	-“-	0,002	с.-т.	1
ДДТ (сумма изомеров)	-“-	0,002	-“-	2
2,4-Д	-“-	0,03	-“-	2

Примечание: * - *лимитирующий признак вредности вещества, по которому установлен норматив: «с.-т.» - санитарно-токсикологический, «орг.» - органолептический;* ** - *величина, указанная в скобках, может быть установлено по постановлению главного государственного санитарного врача по соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки;* *** - *нормативы приняты в соответствии с рекомендациями ВОЗ.*

Таблица 4.6

Содержание вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения

Показатели	Ед. изм.	Нормативы (предельно-допустимые концентрации (ПДК), не более	Показатель вредности	Класс опасности
Хлор				
- остаточный свободный	мг/л	в пределах 0,3-0,5	орг.	3
- остаточный связанный	-“-	в пределах 0,8-1,2	-“-	3
Хлороформ (при хлорировании воды)	-“-	0,2	с.-т.	2
Озон остаточный	-“-	0,3	орг.	
Формальдегид (при озонировании воды)	-“-	0,05	с.-т.	2
Полиакриламид	-“-	2,0	-“-	2
Активированная кремнекислота (по Si)	-“-	10	-“-	2
Полифосфаты (по PO_4^{3-})	-“-	3,5	орг.	3
Остаточные количества алюминий- и железосодержащих коагулянтов	-“-	см. показатели «Алюминий» и «Железо» таблицы 4.5		

При обнаружении в питьевой воде нескольких химических веществ, относящихся к 1 и 2 классам опасности и нормируемых по санитарно-токсикологическому признаку вредности, сумма отношений обнаруженных концентраций каждого из них в воде к величине его ПДК не должна быть больше 1. Расчет ведется по формуле:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + ... + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1$$

Благоприятные органолептические свойства воды определяются ее соответствием нормативам, указанным в таблице 4.7, а также нормативам содержания веществ, оказывающих влияние на органолептические свойства воды, приведенным в табл. 4.5 и 4.6 и в Приложении 2 СанПиН 2.1.4.1074-01.

Таблица 4.7

Нормируемые значения показателей органолептических свойств воды

Показатели	Единицы измерения	Норматив, не более
Запах	баллы	2
Привкус	-“-	2
Цветность	градусы	20 (35)*
мутность	ЕМФ (единицы мутности по формазину) или мг/л (по каолину)	2,6 (3,5)* 1,5 (2,0)*

Примечание: * - *величина, указанная в скобках, может быть установлена по постановлению главного государственного санитарного врача по соответствующей территории для конкретной систему водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки.*

Не допускается присутствие в питьевой воде различимых невооруженным глазом водных организмов и поверхностной пленки.

Радиационная безопасность питьевой воды определяется ее соответствием нормативам по показателям общей α и β-активности, представленным в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Нормируемые показатели общей α и β-активности питьевой воды

Показатели	Единицы измерения	Нормативы	Показатель вредности
Общая α-активность	Бк/л	0,1	радиац.
Общая β-активность	Бк/л	1,0	- « -

5. Построение и анализ карт гидроизогипс

Грунтовые воды - подземные воды первого от поверхности постоянно существующего водоносного горизонта, залегающего на первом выдержанном водоупорном пласте.

Форма поверхности грунтовых вод определяется водопроницаемостью пород, условиями питания водоносного горизонта, конфигурацией берегов рек, к которым стекают грунтовые воды, понижением водоупора, мощностью водоносного пласта и т. д.

О форме их поверхности можно судить по карте изогипс.

Гидроизогипсами называют линии, соединяющие точки одинаковой абсолютной высоты поверхности грунтовых вод, или иначе - это линии - горизонтали зеркала грунтовых вод.

Для построения карты изогипс пользуются данными замеров глубин залегания уровней грунтовых вод в скважинах, шурфах, колодцах, горных выработках, отметками источников, сведениями водомерных постов на поверхностных водоемах.

Так как уровень грунтовых вод постоянно изменяется под влиянием различных природных и искусственных факторов, все данные, используемые при построении карт изогипс, должны быть взяты на одну дату, т. е. получены по одновременным замерам всех точек наблюдения, поэтому карты изогипс всегда датируются.

Карты изогипс составляют в масштабах от 1:10000 до 1:200000 в зависимости от характера и стадии гидрогеологических исследований. Сечение гидроизогипс выбирают в зависимости от принятого масштаба карты, пустоты пунктов наблюдений за уровнем грунтовых вод, уклона их поверхности. Обычно берут сечения 0,5, 1, 2, 5 и более м.

Глубина залегания грунтовых вод в каждой точке замера пересчитывается на абсолютные или относительные отметки:

$$H_в = H_з - h,$$

где $H_в$ - абсолютная отметка уровня грунтовых вод;

$H_з$ - абсолютная отметка поверхности земли;

h - глубина залегания подземных вод.

Вычисленные отметки уровня грунтовых вод наносятся на топографическую основу и методом интерполяции строят изогипсы.

Наиболее удобно интерполировать отметки по способу треугольников: все точки, по которым производятся замеры, соединяют линиями, образующими треугольники. При интерполяции этим методом должны соблюдаться следующие правила:

Линии, образующие треугольники, необходимо проводить так, чтобы длинная сторона была перпендикулярна к направлению падения потока.

Нельзя интерполировать точки, расположенные по разные стороны поверхностных водотоков и водоемов. При наличии таких водотоков определять отметки урезов рек по водомерным постам и использовать их при интерполяции как точки выхода грунтовых вод на урезе реки (предварительно должен быть проанализирован характер дренирования грунтовых вод).

Не следует проводить интерполяцию между грунтами скважин, расположенных далеко друг от друга. Лучше проводить интерполяцию для каждой группы скважин отдельно, иначе можно исказить действительную форму поверхности грунтового потока.

При интерполяции удобно пользоваться палеткой на кальке в виде масштабной сетки, состоящей из системы параллельных линий, проведенных на расстоянии 2 - 5 мм. С помощью масштабной сетки пропорционально делят отрезки, соединяющие точки, отметки уровня которых подлежат интерполяции. После интерполяции соединяют точки с одинаковыми отметками; эти кривые и будут гидроизогипсами.

Необходимо отметить, что грунтовый поток обычно разбивается реками и поверхностными водоемами на отдельные, более мелкие потоки. Поэтому не следует интерполировать точки, расположенные по разные стороны поверхностных водотоков и водоемов. При наличии таких водотоков необходимо определять отметки урезов рек по водомерным постам и использовать их при интерполяции как точки выхода грунтовых вод на урезе реки.

Кроме карт гидроизогипс для целей проектирования и строительства могут составляться карты глубин залегания поверхности грунтовых вод, или карты гидроизобат. **Гидроизобатами** называют линии, соединяющие точки с одинаковыми глубинами залегания грунтовых вод. Карты гидроизобат, так же как и гидроизогипс, строят методом интерполяции глубин залегания уровня грунтовых вод.

Чаще всего для решения различных практических задач, карты гидроизогипс и гидроизобат составляют на одной и той же топографической основе.

Анализ карт гидроизогипс позволяют составить краткую гидрогеохимическую характеристику участка. По карте гидроизогипс можно определить:

- Направление движения грунтовых вод на заданном участке.
- Глубину залегания грунтовых вод в любой точке или на любом участке.
- Уклон грунтового потока.

- Характер взаимосвязи грунтовых вод с поверхностными.
- Условия питания и разгрузки подземных вод.

Направление движения грунтовых вод определяется по нормам к 2-м смежным гидроизогипсам. Движение воды направлено от более высоких отметок уровня к более низким.

Глубину залегания грунтовых вод в любом заданном пункте определяют по разности отметок горизонтами рельефа и гидроизогипсы.

Уклон потока подземных вод (J) определяется для любого заданного участка карты делением сечения карты гидроизогипс на кратчайшие расстояния между двумя гидроизогипсами, взятые в масштабе карты:

$$J = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

где H_1 и H_2 – отметки уровня грунтовых вод в двух точках;

L – расстояние между этими точками в масштабе карты.

Для определения уклона грунтового потока выбирается участка с наиболее равномерным и прямолинейным распределением гидроизогипс.

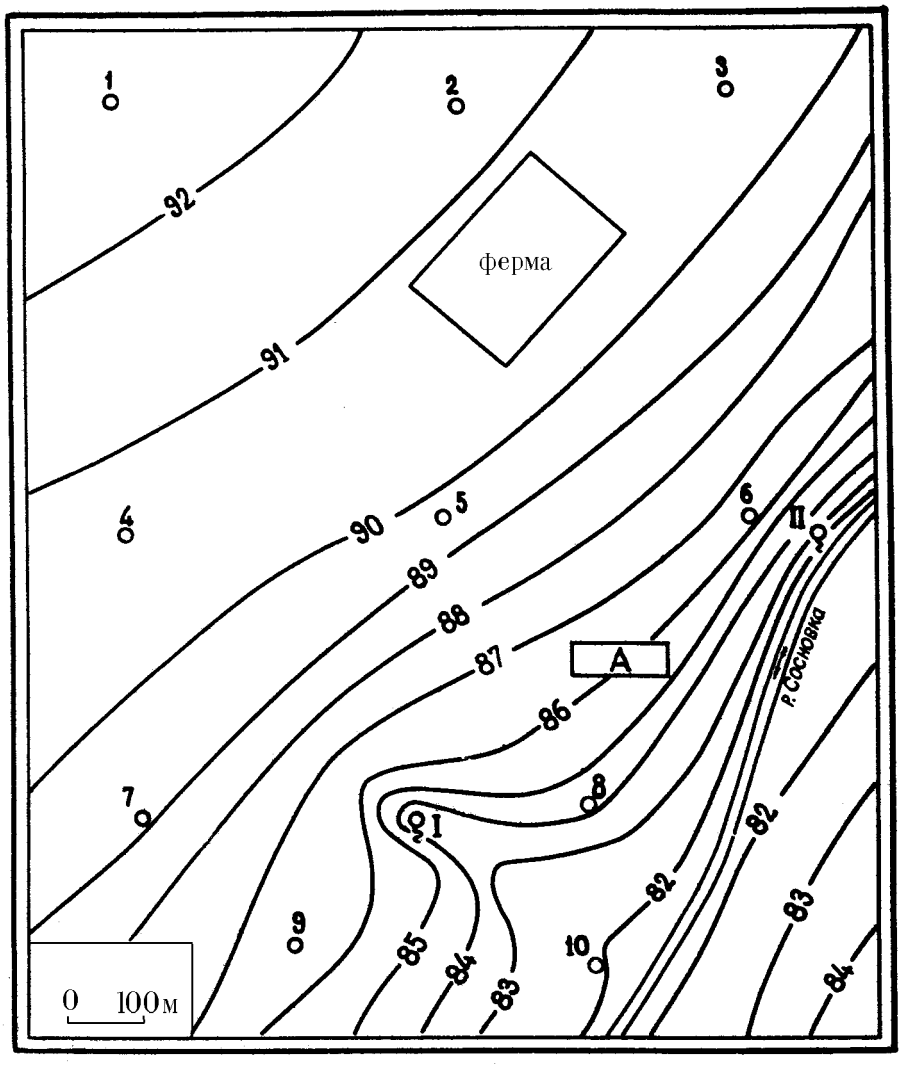
Связь грунтовых вод с поверхностными определяется по характеру сопряжения гидроизогипс с водоемами; если грунтовый поток направлен к реке, то он дренируется ею, если потоку грунтовых вод направлен от реки – река дренируется грунтовыми водами.

По соотношению и характеру изменения гидроизогипс могут быть выделены водоразделы подземных вод, участки их питания и разгрузки.

Участки замкнутых гидроизогипс с высокими отметками указывают на положение водоразделов грунтовых вод, где условия питания наиболее благоприятны.

Зоны с нулевой глубиной до воды указывают на участки выхода подземных вод на поверхность земли.

Задание. Построить карту гидроизогипс на топографической основе заданного масштаба, используя данные таблицы 5.1.



Данные для построения карты гидроизогипс:

№ скважины	Абсолютная отметка устья скважины, м	Глубина залегания грунтовых вод, м	Абсолютная отметка зеркала грунтовых вод, м
1		5,2	
2		4,5	
3		4,3	
4		5,0	
5		4,1	
6		2,0	
7		4,0	
8		1,0	
9		2,6	
10		0,5	

Необходимо:

1. Пользуясь приведенными данными по буровым скважинам, шурфам, колодцам, источникам и водомерному посту на реке – провести на карте гидроизогипсы через 1 м.
2. Определить направление движения подземных вод, показать его стрелками на карте, на характерных участках определить гидравлический уклон потока.
3. Определить по карте, на какой глубине можно встретить подземные воды, выделить зоны с различной глубиной (до 1 м, 1-3 м, 3-6 м, 6 м).
4. Охарактеризовать условия питания и разгрузки подземных вод.
5. Определить характер взаимосвязи реки и подземных вод, выявить влияние оврагов на поверхность подземных вод.

6. Построение и анализ гидрогеологических разрезов

Гидрогеологические разрезы – широко применяемая форма графической обработки и обобщения информации, разрезы характеризуют гидрогеологические условия территории в вертикальном разрезе.

Гидрогеологические разрезы характеризуют условия залегания и приуроченность подземных вод к различным горным породам, их связь с поверхностными водами, положение уровня подземных вод.

Построение разрезов выполняется в следующей последовательности:

1) выбирается наиболее информативный участок, где линия разреза пересекает различные геоморфологические элементы, зоны разломов, долины рек;
2) выбирается горизонтальный и вертикальный масштабы разреза. Горизонтальный масштаб должен соответствовать масштабу карты, вертикальный масштаб должен обеспечить четкое изображение

условий залегания и взаимосвязи водоносных горизонтов и комплексов, рек и т. п.;

3) строится гипсометрический профиль, на котором вертикальными линиями показывается местоположение скважин, отметки их устья и забоя, показывается рельеф поверхности земли. По данным бурения строят геолого-литологические колонки, проводят геологические и литологические границы пород, зоны разломов. Наносят положение уровня подземных вод по замерам в скважинах, колодцах, шурфах, источниках и др. На основании гидрогеологических данных выделяют водоносные горизонты и комплексы, разделяющие их водоупоры, указывают интервалы опробования, количественные показатели изученных свойств.

Для построения разреза необходимы топографическая карта, геологический и геоморфологический профили по выбранному направлению, геолого-литологические колонки скважин, шурфов и других выработок, находящихся на линии разреза или вблизи него, результаты наблюдений за уровнем подземных вод в скважинах, колодцах и др. выработках, результаты наблюдений на гидрометрических постах, специализированные исследования в скважинах и т. п.

Гидрогеологические разрезы анализируют в следующем порядке:

1. Устанавливают водоносные горизонты, условия их залегания, состав пород и данные об уровнях подземных и поверхностных вод.
2. Определяют мощность водоносного пласта как разность отметок его кровли и подошвы, величину напора над кровлей как разность отметок между пьезометрическим уровнем и кровлей пласта. Зоны, где поверхность земли располагается ниже пьезометрической кривой, выделяют как участки возможного самоизлива. Глубина безнапорных подземных вод определяется как разность отметок поверхности земли и уровня подземных вод, мощность - разностью отметок зеркала

подземных вод и водоупорной подошвой водоносного пласта; определяют мощность и строение зоны аэрации, устанавливают наличие относительно водоупорных прослоев в зоне аэрации, т. к. на них может формироваться верховодка, возможно создание и зон местного напора.

3. Характеризуют условия движения подземных вод; направление, уклон потока на разных участках.
4. Выделяют вид, условия питания и разгрузки подземных вод, местоположение областей питания и разгрузки.
5. Устанавливают характер и интенсивность взаимосвязи между водоносными горизонтами из литолого-фациального анализа разреза и соотношений напоров смежных водоносных горизонтов, характера изменения этих соотношений по разрезу.

Задание. Построить гидрогеологический разрез по карте гидроизогипс, используя данные таблицы 6.1.

Таблица 6.1

Данные бурения, необходимые для построения гидрогеологического разреза по линии 1- 11 по карте гидроизогипс

№ слоя (сверху вниз)	Мощность слоя, м	Геолог. индекс	Литологическая характеристика пород	Глубина выработки, м
			скважина 1	20
1	4,8	Q_{IV}	суглинок делювиальный, водонепроницаемый	
2	14,0	Q_{IV}	песок аллювиальный, разнозернистый	
3	1,2	Q_{III}	глина плотная	
			скважина 4	18
1	2,4	Q_{IV}	суглинок делювиальный, водонепроницаемый	
2	12,6	Q_{IV}	песок аллювиальный, разнозернистый	
3	3,0	Q_{III}	глина плотная	
			скважина 9	15
1	1,3	Q_{IV}	суглинок делювиальный, водонепроницаемый	
2	9,6	Q_{IV}	песок аллювиальный, разнозернистый	
3	4,1	Q_{III}	глина плотная	
			Скважина 10	3
1	3,0	Q_{IV}	песок аллювиальный, разнозернистый	
			Скважина 11	10
1	6,8	Q_{IV}	песок аллювиальный, разнозернистый	
2	3,2	Q_{III}	глина плотная	

Примечание: скважина 11 намечается произвольно, на противоположном берегу, в нижнем правом углу карты на 84 горизонтали рельефа.

Список литературы

1. Гавич И. К., Лучшева А. А., Семенова-Ерофеева С. М. Сборник задач по общей гидрогеологии Уч. пос. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1985, 412 с.
2. Гореев П. В., Шемелина В. А., Шулякова О. К. Руководство к практическим занятиям по гидрогеологии: Уч. пос. для учащихся гидрогеологических специальностей геологоразведочных техникумов. М., Высш. школа, 1981, 152 с.
3. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации.
4. ГОСТ 9.602-89. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.
5. Кирюхин В. А., Коротков А. И., Павлов А. Н. Общая гидрогеология: Учебник для вузов. Л.: Недра, 1988, 359 с.
6. Методические разработки для лабораторных и практических работ по курсам «Гидрогеология» и «Инженерная геология» для специальностей 0108; 0101; 0105; и «Гидрогеология с основами инженерной геологии» для специальностей 0209; 0202; 0206. Часть 1. Свердловск, изд. СГИ, 1980, 45 с.
7. Основные положения по составлению серийных легенд государственных гидрогеологических карт масштаба 1:200000 и 1:1000000. М.: МПР РФ, 2001, 15 с.
8. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

Г. П. КОЗИНА

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по выполнению практических работ

по дисциплине «Основы геодезии и топографии»

для студентов очного и заочного обучения

направления подготовки (специальности)
21.05.03 Технология геологической разведки

(уровень специалитета)

Одобрена на заседании кафедры

Геодезии и кадастров
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)

Акулова Е.А.
(Фамилия И.О.)

Екатеринбург, 2020 г

Г. П. КОЗИНА

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по выполнению практических работ

по дисциплине «**Основы геодезии и топографии**»

для студентов очного и заочного обучения

направления подготовки (специальности)
21.05.03 Технология геологической разведки
(уровень специалитета)

СОДЕРЖАНИЕ

1.	РАБОТА С ТОПОГРАФИЧЕСКИМИ КАРТАМИ	4
1.1.	Определение расстояний	6
1.2.	Определение географических коорданат	7
1.3.	Определение прямоугольных координат	7
1.4.	Определение положения точки относительно осевого меридиана зоны	8
1.5.	Определение дирекционного угла, истинного азимута и магнитного азимута линии	8
1.6.	Определение отметок точек и превышения между точками	9
1.7.	построение профиля местности по заданному направлению	10
1.8.	Определение крутизны ската	11
1.9.	Проектирование линии с заданной крутизной ската	12
1.10.	Измерение площадей по топографическим картам полярным планиметром	15
2.	РАБОТА С АЭРОФОТОСНИМКАМИ	17
2.1.	Привязка аэроснимка к топографической карте	17
2.2.	Определение масштаба аэрофотоснимка и высоты фотографирования	18
3.	СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА	20
3.1.	Построение координатной сетки	20
3.2.	Нанесение точек съемочного обоснования по координатам	22
3.3.	Нанесение ситуации, точек рельефа и проведение горизонталей	23
3.4.	Вычерчивание топографического плана	25
4.	ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ	27
4.1.	Обработка результатов нивелирования	27
4.2.	Построение профиля	30
4.3.	Проектирование по прифилю	32
5.	РАБОТА С ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ ПРИБОРАМИ	34
5.1.	Измерение горизонтальных и вертикальных углов	34
5.2.	Измерение расстояний нитяным дальномером	37
5.3.	Измерение превышений	38

I. РАБОТА С ТОПОГРАФИЧЕСКИМИ КАРТАМИ

Для современных топографических карт установлены следующие масштабы: 1:1 000 000, 1:500 000, 1:300 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000.

Топографические карты широко используются в народном хозяйстве для решения различных инженерных задач и служат основой для создания карт специального назначения.

Листы топографических карт различных масштабов объединены специальной системой разграфки и номенклатуры, основой которой является лист карты масштаба 1:1000 000. Каждый лист топографической карты ограничен с севера и юга параллелями, а с запада и востока – меридианами. Линии меридианов и параллелей образуют внутреннюю географическую рамку листа топографической карты, а их пересечение – углы рамки, которым соответствуют географические координаты, подписываемые на карте (широта φ и долгота λ). Например, координаты северо-западного угла рамки (рис. 1.1.).

$$\varphi = 54^0 20' \ , \ \lambda = 14^0 15'$$

Параллельно линиям географической раски с внешней ее стороны на карте показывается минутная рамка, линии которой разделены на черные и белые интервалы. Длины интервалов по северной и южной сторонам рамки соответствуют одной минуте долготы, а по западной и восточной – одной минуте широты.

Каждый интервал минутной рамки разбит точками на интервалы по 10✋. С помощью минутной рамки определяют географические координаты точек на карте: широта φ и долгота λ .

Для определения плоских прямоугольных координат точек на топографических картах наносится прямоугольная координатная сетка. Линии координатной сетки проходят параллельно осям координат зоны, в которой расположен данный лист. Обычно линии координатной сети проходят через 1 км. Оцифровка линий координатной сетки дается у их выходов за географической рамкой (рис. 1.1). Полные абсциссы и ординаты в (километрах) подписываются на выходах крайних линий данного листа. Остальные линии подписываются двумя последними цифрами.

Например:

абсциссы: 6019, 20, 21, 22, 6023,

ординаты: 3452, 53, 54, 3455.

Листы топографических карт сопровождаются зарамочным оформлением. Над северной рамкой указывается номенклатура листа, его название, система координат (рис. 1.1.). Под южной рамкой указывается численный и линейный масштабы карты, высота сечения рельефа, система высот, данные о склонении магнитной стрелки и сближении меридианов, график заложений, выходные данные, указывающие метод и год создания карты.

Между минутной и внешней рамками помещены номенклатуры смежных листов карт того же масштаба. На топографических картах специальными условными знаками изображаются контуры и рельеф местности, а также прочие сведения о ней.

Наличие на картах географической и прямоугольной сеток координат, данных о склонении магнитной стрелки и сближении меридианов, графика заложений и других данных позволяет решать по карте различные топографические и инженерные задачи.

студентами работы выполняются по топографической карте масштаба 1:10 000 на специальных бланках.

1.1. Определение раастояний

Циркулем – измерителем снимается величина отрезка на топографической карте между заданными точками. По линейке до 0,01 см измеряют длину этого отрезка ($\ell_{см}$). С помощью численного масштаба карты (I:M) определяется расстояние на местности (D) в метрах

$$\boldsymbol{D = \ell \cdot M},$$

где ℓ - длина отрезка с карты, измеренная по линейке в см;

M – знаменатель численного масштаба карты.

Пример: ℓ=4,25 см, *M* – 10 000, *D* = 4,25 **&** 10 000 = 42 500 см = 425 м.

Это же расстояние определяют с помощью линейного масштада, который помещается за южной рамкой листа карты под численным масштабом (рис. 1.1). Для этого циркулем – измерителем отрезок с карты откладывается на линейном масштабе так, чтобы правая игла измерителя была поставлена на оцифрованное деление линейного масштаба справа от «0», а левая игла попадала на первое (дробное) основание – слева от «0». По линейному масштабу справа налево считывается расстояние в метрах.

$\boldsymbol{D = 425}$ м.

1.2. Определение географических координат $\varphi \quad \lambda$

Географические координаты определяются по минутной рамке. Для определения широты φ через точку (Рис. 1.1 точки N) проводят параллель до пересечения с минутной рамкой. По западной или восточной сторонам рамки, считают число минут и секунд ($\Delta\varphi$) между южной стороной рамки и параллелью данной точки.

Широта (φ) точки будет $\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$, φ_0 - широта южной стороны рамки, долгота - $\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$, λ_0 - долгота западной стороны рамки.

Для определения долготы через точку проводят меридиан и по северной или южной стороне минутной рамки отсчитывают долготу (λ).

Пример: определить φ и λ точки *N* (Рис. 1.1).

$$\lambda_0 = 54^0 17' 30'' \quad \Delta\varphi = 1' 53'' , \ \varphi_N = 54^0 17' 30'' + 1' 53'' = 54^0 19' 23''$$

$$\lambda_0 = 14^0 15' \quad \Delta\lambda = 0' 32'' , \ \lambda_N = 14^0 15' + 0' 32'' = 14^0 15' 32''$$

1.3. Определение прямоугольных координат X и Y

Прямоугольные координаты точки на карте определяются по координатной сетке. Для этого из точки опускают перпендикуляры на южную и западную стороны квадрата координатной сетки. Измерителям с помощью линейного масштаба определяют расстояния по этим перпендикулярам в метрах, которые представляют приращения координат ΔX и ΔY по оси абсцисс и оси ординат. Полученные приращения прибавляют к оцифрованным координатам сетки X_i и Y_i.

Пример: определить прямоугольные координаты точки D (рис. 1.1).

$$X_D = X_i + \Delta X \ , \ Y_D = Y_i + \Delta Y$$

X_i - абсцисса южной горизонтальной линии сетки квадрата, в котором находится D.

$$X_i = 6022 \text{ км} ,$$

Y_i - ордината западной вертикальной линии этого же квадрата.

$$Y_i = 3453 \text{ км} .$$

$$\Delta X = 684м = 0{,}684км \ , \ \Delta Y = 460м = 0{,}460км$$

$$X_D = 6022км + 0{,}684км = 6022684м$$

$$Y_D = 3453км + 0{,}460км = 3453460м \ .$$

1.4. Определение положения точки относительно осевого меридиана зоны.

Долгота осевого меридиана зоны вычисляется по формуле:

$$L_0 = 6^0 \cdot n - 3^0 ,$$

где n – номер зоны.

Для $n = 3$ $L_0 = 6^0 \cdot 3 - 3^0 = 15^0$

Расстояние от осевого меридиана до точки определяется по формуле:

$$d_D = Y_D - 500км , \; Y_D = 453460м$$

где Y_D - ордината точки.

$$d_D = 453460м - 500км = -46540м$$

следовательно, точка D расположене к западу от осевого меридиана на расстоянии 46540 м.

1.5. Определение дирекционного угла α, истинного азимута A и магнитного азимута азимута A_m линии.

Для определения дирекционного угла заданной линии через начальную точку линии проводят прямую параллельную оси абсцисс, направлением на север (рис. 1.1., линия 1 – 2), от которой транспортиром измеряют угол по ходу часовой стрелки до направления на конечную точку линии.

Пример: $\alpha_{1-2} = 238^0$.

Истинный и магнитный азимуты вычисляют по формулам, пользуясь данными о сближении меридианов и склонении магнитной стрелки или по графику взаимного расположения меридианов.

$$A = \alpha + \gamma ,$$

$$A_m = \alpha - (\delta - \gamma) .$$

где γ - сближение меридианов,

δ - склонение магнитной стрелки.

При вычислении A и A_m по формулам учитываются знаки δ и γ.

Азимут истинный $A = 238^0 + (-0^0 35¶) = 237^0\ 25¶$.

Азимут магнитный $A_m = 238^0 - (0^0 45¶ – (-0^0\ 35¶)) = 236^0\ 40¶$.

Контроль вычисления A и A_m выполняют с помощью графика взаимного расположения меридианов (рис. 1.2).

Схема взаимного расположения меридранов

Из схемы видно, что $A_m = \alpha$ - (-0^0 35¶+0^0 45¶).

Для определения магнитного азимута на текущий год необходимо учесть годовое изменение склонения магнитной стрелки $\Delta\alpha = +2'$

2¶ & 34 года = 68 = 1^0 08¶ ; $\delta = 0^0 45¶ + 1^0\ 08¶ = 1^0\ 53¶$.

На 1993 год $A_m = 238^0 – (0^0\ 35¶ + 1^0\ 53¶) = 238^0 – 2^0\ 28¶ = 235^0\ 32¶$.

1.6 Определение отметок точек и превышений

Отметки точек на карте определяют по горизонталям. если точка находится на горизонтали, то ее отметка равна отметке этой горизонтали. Точки I находится на горизонтали с отметкой 187,5 м. Следовательно, $H_I = 187{,}5$ м (рис. 1.3).

Если точка находится между горизонталями, то ее отметка определяется по формуле $\boldsymbol{H = H_0 + h'}$

где $\boldsymbol{H_0}$ - отметка ближайшей к точке горизонтали,

$\boldsymbol{h'}$ - превышение между точкой и горизонталью $\boldsymbol{H_0}$.

Превышение $\boldsymbol{h'}$ может быть как положительным, так и отрицательным. Зная, что высота между горизонталями изменяется пропорционально заложению, $\boldsymbol{h'}$ определяют по формуле: $\boldsymbol{h' = \frac{h \cdot в}{a}}$,

где h – высота сечения рельефа,

a - расстояние между горизонталями (заложение),

$в$ – расстояние от точки до ближайшей горизонтали H_0.

Пример: Определить отметку H точки 2.

$$h = 2{,}5м \ , \ в = \frac{I}{2}a \ , \ h' = \frac{2{,}5}{2} = 1{,}25м \ ,$$

$$H_0 = 190{,}0 \ , \ H_2 = H_0 + h' = 190{,}0м + 1{,}25м = 191{,}2м \ .$$

Привышение между двумя точками (точки I и 2) находят как разность отметок этих точек

$$h_{1-2} = H_2 - H_1 ,$$

$$H_I = 187{,}5м \ , \quad H_2 = 191{,}2м \ ,$$

$$h_{1-2} = 191{,}2м - 187{,}5 = +3{,}7м.$$

Рис. 1.3. Определение отметок точек

1.7. Помтроение профиля местности по заданному направлению

Профиль по заданному направлению строят по отметкам точек, расположенных на этой линии. Горизонтальный масштаб 1:10 000 (равен масштабу карты), вертикальный – 1:1 000. Пример: Построить профиль по линии 3 – 4 (рис. 1.4.). (Сплошные горизонтали проведены через 2,5 м).

Для построения профиля на миллиметровой бумаге проводят прямую АВ – основание профиля (рис. 1.5), на которую переносят все точки пересечения (а,в,с…) заданного направления с горизонталями карты, и подписывают их отметки. Основанию профиля дают условную отметку H_0 , которая должна быть меньше минимальных отметок точек линии на 15 – 30 м. В примере H_0 = 170,0 м). К основанию профиля в отмеченных точках проводят пунктиром перпендикуляры, на которых откладывают в данном

вертикальном масштабе (1:1000) значения отметок. Полученные точки соединяют отрезками прямых линий.

Шкала отметок в вертикальном масштабе

Рис. 1.5. Профиль по заданному направлению

1.8. Определение крутизны ската

Крутизна ската ν^0 определяют по графику заложений (рис. 1.6.). Для этого измерителем берут заложение «а» (в примере по направлению СД), которое затем откладывают на графике заложений вдоль его вертикальных линий. Затем по основанию графика заложений определяют угол наклона, характеризующий крутизну ската (рис. 1.6.).

$$\nu^0 = 1^0,3.$$

График заложений

Рис. 1.6. Определение крутизны ската

1.9. Проектирование линии с заданной крутизной ската

Между точками 1 и 2 (рис. 1.7.) спроектировать линию с крутизной ската не более 2^0. Для решения этой задачи по графику заложений измерителем берут заложение, которое соответствует заданной крутизне ската $\nu^0 = 2^0$. Этим раствором циркуля из точки I засекают следующую горизонталь и получают точку «а», затем из точки «а» засекают этим же раствором циркуля следующую горизонталь, получают точку «б» и т.д.

Соединив все точки, получают линию заданного уклона.

Задание выполняют на кальке, на которую предварительно копируют участок местности с горизонталями вдоль проектируемой линии.

Рис. 1.7. Проектирование линии с заданной крутизной ската

Образец бланка

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

кафедра геодезии и фотограмметрии

РАБОТА С ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТОЙ

1. Расстояние между точками

D = 4,25 см х 10 000 = 425 м по численному масштабу

По линейному масштабу D = 400 м + 25 м = 425 м

2. Географические координаты точек

$$\varphi_Д = 54^0 19' 37'' \qquad \lambda_N = 54^0 19' 23''$$

$$\lambda_Д = 14^0 17' 07'' \qquad \lambda_N = 14^0 15' 32''$$

3. Прямоугольные координаты точек

$X_Д$ = 6022584 м X_N = 6022264 м

$X_Д$ = 453460 м $У_N$ = 451788 м

4. Долгота осевого меридиана зоны

$$L_0 = 6^0 \ \& \ n - 3^0 = 6^0 \ \& \ 3 - 3^0 = 15^0$$

5. Расстояние точки от осевого меридиана зоны

$d_Д = У_Д$ -500 км = 453460 м – 500 км = - 46540 м

6. Дирекционный угол и азимуты линии (1-2)

Дирекционный угол α = 238 ^{0}

Истинный азимут А = 237^0 25¶

Магнитный азимут A_m = 236^0 40¶

На 1993 г. магнитный азимут A_m = 235^0 32¶

7. Абсолютные отметки точек

$$H_1 = 187,5 \text{ м}$$

$$H_2 = 191,2 \text{ м}$$

8. Превышение между точками

$$h = H_2 - H_1 = 191,2 \text{ м} - 187,5 \text{ м} = + 3,7 \text{ м}$$

9. профиль местности по заданной линии

10. Крутизна ската ν^0

$$\nu^0_{max} = 7^0 \qquad \nu^0_{min} = 7^0,5$$

11. Проектирование линии с крутизной ската не более 2^0

Преподаватель МД-94-1

Петров

1.10. Измерение площадей по топографическим картам полярным планиметром

полярный планиметр состоит из двух рычагов: полюсного и обводного. Обводный рычаг имеет ручку со шпилем для обвода контуров и подвижную каретку со счетным механизмом. Вместо шпиля может использоваться марка (точка, окружность), выгравированная на стеклянной пластине. полюсный рычаг на одном конце имеет груз с иглой, которая при обводе контура накалывается на бумагу и служит полюсом планиметра. На другом конце этого рычага находится шарнирная головка, которая вставляется в углубление на каретке счетного механизма и соединяет тем самым оба рычага планиметра в одно целое.

Рис. 1.8. счетный механизм планиметра

Счетный механизм планиметра (рис. 1.8.) состоит из циферблата (1) счетного колеса (2) , вращающегося на оси, параллельной обводному рычагу и верньера (3). При обводе фигуры счетное колесо катится по бумаге и дает отсчет. Первую цифру отсчета берут с циферблата, одно деление которого соответствует целому обороту счетного колеса (4) . Следующие две цифры отсчета берут со счетного колеса по нулевому штриху верньера 32 . Четвертая цифра отсчитывается по верньеру – это номер штриха верньера, совпадающего со штрихом счетного колеса - 5. Отсчет на рис. 1.8 равен 4323. площадь, измеренную планиметром вычисляют по формуле:

$$S = C \cdot \Delta h_{cp}.\ \ \Delta n = n_2 - n_1$$

где: C - цена деления планиметра;

n_1 - отсчет по планиметру до обвода контура;

n_2 - отсчет по планиметру после обвода контура.

Образец бланка

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

кафедра геодезии и фотограмметрии

Определение площади на топокартах планиметром							
Обвод квадрата километровой сетки топокарты					Обвод контура измеряемой площади		
Приемы	Отсчеты по планиметру		Разность отсчетов Δn		Отсчеты по планиметру		Разность отсчетов Δn
I	n_1	1102	994		n_1	0085	1184
	n_2	2096			n_2	1269	
	n_2	2096			n_2	1269	
II			993				1191
	n_3	3089			n_3	2460	
	n_3	3089			n_3	2460	
III			986				1195
	n_4	4075			n_4	3655	
$\Delta n_{cp} = 991{,}0$					$\Delta n_{cp} = 1190$		
Площадь квадрата 100 га					Измеряемая площадь		

		$S = C \cdot \Delta n_{ср}$ S = 0,1009 **&** 1190 = 120,1 га
Цена деления планиметра $C = \frac{100га}{\Delta n_{ср}} = \frac{100}{991} = 0{,}1009га$		МД -94-2 Петров

Цену деления планиметра определяют обводом квадрата координатной сетки на топографической карте масштаба 1:10 000, площадь которого известно (P_0 = 100 га).

Для измерения площади устанавливают полюс планиметра вне контура так, чтобы при обводе угол между обводным и полюсным рычагами был в пределах от 30 ^{0} до 150 ^{0}.

Затем устанавливают обводной шпиль над выбранной начальной точкой квадрата и берут по отсчетному механизму отсчет n_1. Обводят квадрат по часовой стрелке до исходной точки и берут отсчет n_2.

Затем выполняют следующие обводы, не меняя положения полюса; берут отсчеты n_3 и n_4. Отсчеты записывают в специальный бланк. Вычисляют разности отсчетов: $\Delta n_1 = n_2 - n_1$, $\Delta n_2 = n_3 - n_2$, $\Delta n_3 = n_4 - n_3$.Расхождение разностей не должно превышать 10 – 12 делений.

Находят среднее арифметическое из разностей по трем приемам:

$$\Delta n_{ср} \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2 + \Delta n_3}{3} = \frac{994 + 993 + 986}{3} = 992$$

цену деления планиметра вычисляют по формуле:

$$C = \frac{P_0}{\Delta n_{ср}} = \frac{100га}{991} = 0{,}1009га .$$

Заданную площадь по топографической карте измеряют также тремя приемами, обводя эту площадь по контуру (см. образец бланка, стр. 16).

$$S = C \cdot \Delta n_{ch} = 0{,}1009 \cdot 1190 = 120{,}1 га \ .$$

2. РАБОТА С АЭРОФОТОСНИМКАМИ

Современные топографические карты создаются с помощью аэрофотосъемки. Аэрофотосъемка характеризуется масштабом фотографирования, фокусным расстоянием аэрофотоаппарата, высотой фотографирования, форматом кадра и рядом других характеристик, которые можно определить непосредственно по аэрофотоснимкам.

2.1. Привязка аэроснимка к топографической карте

Для выполнения задания используют аэроснимок и соответствующую карту. Привязка снимка к карте заключается в отождествлении фотоизображения контуров границ снимка с их графическим изображением на топографической карте. С этой целью рассматривают аэрофотоснимок и карту, опознавая на них идентичные объекты: населенные пункты, элементы дорожной сети, гидрография, контуры растительного покрова и т.д. Изучив изображения идентичных объектов на аэрофотоснимке и карте, с помощью штриховых наметок карандашом фиксируют на карте примерные границы снимка. Если привязка аэрофотоснимка сделана правильно, то полученная фигура должна быть близка к квадрату.

2.2. Определение масштаба аэрофотоснимка и высоты фотографирования

Масштаб аэрофотоснимка определяют по формуле:

$1 \coloneqq \frac{\ell}{L \cdot M}$, отсюда знаменатель масштаба аэроснимка $m = \frac{L}{\ell} \cdot M$,

где: ℓ - длина отрезка на аэрофотоснимке;

L - длина этого же отрезка на топографической карте;

M - знаменатель масштаба карты;

m - знаменатель масштаба аэроснимка.

Для определения масштаба аэрофотоснимка используют два отрезка, концы которых опознают на аэрофотоснимке и карте с погрешностью не более 0,2 мм. С этой целью используют четкие контурные точки аэрофотоснимка и карты: перекрестки дорог, углы построек, углы леса и сельхозугодий.

Оба отрезка должны проходить примерно через главную точку аэроснимка, а расстояния от главной точки до концов отрезка должны быть примерно равными (допустимая разность длин не должна превышать 1 – 2 см). Главная точка «0» аэрофотоснимка находится в точке пересечения линий, соединяющих координатные метки аэрофотоаппарата, изображения которых располагаются в середине каждой из четырех сторон аэрофотоснимка (рис. 2.1.).

Рис. 2.1. Определение главной точки аэроснимка

Образец бланка

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

кафедра геодезии и фотограмметрии

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСШТАБА АЭРОФОТОСНИМКА

И ВЫСОТЫ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ

Аэроснимок № 034

Лист карты Y-35-38-А-в-3

Исходные данные

Масштаб карты 1:M = 1:10 000

Фокусное расстояние

аэрофотоаппарата f = 100 мм

$$m = \frac{L \cdot M}{\ell} \qquad H = m_{cp} \cdot f$$

допуст. $\Delta m = \frac{2 \cdot \Delta d \cdot M}{\ell_{cp}}$

M = 10 000

Схема расположения отрезков на аэроснимке

Измерение длины отрезков

на аэроснимке	на карте
ℓ_1 = 178,7 мм	L_1 = 195,2 мм
ℓ_2 =148,3 мм	L_2 = 217,0 мм
m_1 = 10926	m_2 = 10943

$\Delta m = m_1 - m_2 = 17$ доп. $\Delta m = 280$

$m_{ср} = 10934$

Высота фотографирования

H = 1093 м

Преподаватель МД-94-1

Иванов

Опознав выбранные точки аэрофотоснимка на топографической карте, измеряют отрезок с помощью измерителя и линейки. Вычисления выполняют в бланке (стр. 19). Разность знаменателей масштаба Δm аэрофотоснимка, полученная из определений по двум отрезкам, не должна превышать величины:

допустимая $\Delta m = \frac{2\Delta d \cdot M}{\ell_{ср}}$, $\Delta m = m_2 - m_1$

где: Δd - допустимая ошибка положения контуров на топографической карте ($\Delta d = \pm 1 мм$).

В качестве окончательного значения знаменателя масштаба аэрофотоснимка принимают его среднее значение из двух определений:

$$m_{ср} = (m_1 + m_2) : 2 \quad .$$

Высоту фотографирования определяют по формуле:

$$H = f \cdot \frac{L \cdot M}{\ell} \quad \text{или} \quad H = f \cdot m_{ср} \ ,$$

где f - фокусное расстояние аэрофотоаппарата, которым была выполнена аэрофотосъемка.

Фокусное расстояние задается преподавателям.

Высоту фотографирования вычисляют в метрах.

3. СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА

По данным топографической съемки необходимо составить топографический план местности в масштабе 1:2000 с высотой сечения рельефа 1 м.

Составление плана выполняют в такой последовательности:

построение координатной сетки;

нанесение точек съемочного обоснования по координатам;

нанесение ситуации, точек рельефа на план и проведение горизонталей;

вычерчивание топографического плана.

3.1. Построение координатной сетки

Координатную сетку строят на листе чертежной бумаги размером 289 х 210 мм (формат А 4). Стороны координатной сетки принимают равными 5 х 5 см.

Для построения сетки на листе бумаги карандашом проводят диагонали (относительно углов листа). Из точки пересечения диагоналей откладывают на них циркулем-измерителем 4 равных отрезка (полудиагонали) длиной 12 – 13 см (рис. 3.1.), получают точки а,б,в,г. Соединив эти точки на диагоналях, получают стороны вспомогательного прямоугольника а,б,в,г, на которых, начиная от точки г, измерителем откладывают равные отрезки (по 5 см) – стороны сетки квадратов. Общий размер сетки 20 см по оси *X*, 15 см – по оси *У*.

Правильность построения координатной сетки контролируют путем измерения циркулем-измерителем диагоналей всех квадратов сетки. Ошибки в длинах диагоналей не должны превышать 0,2 – 0,3 мм. После контроля все вспомогательные построения (на рис. 3.1.показаны пунктиром) убирают.

3.2. Нанесение точек съемочного обоснования по координатам

Для нанесения точек съемочного обоснования по координатам сетку координат оцифровывают через 100 метров. За начало координат принимают юго-западный угол рамки. Координаты юго-западного угла сетки выбирают

так, чтобы точки съемочного обоснования разместились примерно в середине сетки. От юго-западного угла к северу подписывают абсциссы Х, к востоку – ординаты У.

Координаты, высоты точек съемочного обоснования и горизонтальные проложения приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Номера точек	Координаты		Высоты, м	Горизонт. проложен., м
	Х	У		
I	5319,8	2490,0	148,2	
				169,2
2	5488,8	2481,6	156,6	
				155,8
3	5469,6	2636,3	154,7	
				159,2
4	5311,2	2619,8	146,5	
				130,1

в примере координаты юго-западного угла удобно взять равными Х = 5,2 км, У = 2,4 км (рис. 3.4). Нанесение каждой точки съемочного обоснования производят с помощью циркуля – измерителя и масштабной линейки. Вначале определяют, в каком квадрате располагается данная точка. Затем значение абсциссы циркулем-измерителем откладывают по обеим сторонам квадрата, наколы соединяют тонкой прямой линией. На этой линии откладывают значение ординаты У. Делают накол, полученную точку обводят условным знаком (кружочком), рядом слева подписывают номер точки, справа отметку до 0,1 м. Накладку точек съемочного обоснования обязательно контролируют. Для этого значение горизонтального проложения

между двумя точками циркулем - измерителем берут по масштабной линейке и сравнивают с расстоянием между соответствующими точками на плане. Расхождение между этими величинами допускается 0,2 мм на плане (рис. 3.4.).

3.3. Нанесение ситуации, точек рельефа и проведение горизонталей

Ситуацию наносят на план по данным полевых измерений и абрисов (рис. 3.2 табл. 3.2).

Съемочные пикеты, снятые полярным способом, наносят на план по горизонтальному углу и горизонтальному проложению. Горизонтальные углы откладывают при помощи кругового транспортира от начального направления по ходу часовой стрелки, а горизонтальное проложение по линейке или циркулем-измерителем в заданном масштабе. Полученную точку обводят кружочком, рядом подписывают номер и отметку. Руководствуясь абрисом и записями, сделанными в примечании, вычерчивают условными знаками элементы ситуации. Виды угодий пока обозначают надписями (рис. 3.2.).

Нанесение съемочных пикетов, снятых на местности способом прямоугольных координат (перпендикуляров), производят с помощью линейки и треугольника, откладывая по линейке расстояния, указанные в абрисе, вдоль начального направления и перпендикулярно к нему в масштабе 1:2000 (рис. 3.2 а., начальное направление линия 3 – 4).

Рис. 3.2. а) Съемка способом перпендикуляров

Таблица 3.2

Исходные данные к составлению
топографического плана
станция 1 H_1 = 148,2
начальное направление на т.2

Пикет	Гориз. угол ^{0}	Гориз. пролож.	Высоты Н, м	Примечание
1	350	20,0	150,0	гран. пашни
2	5	92,0	155,0	гран. пашни
3	27	64,5	153,2	шосс. дор.
4	44	94,0	153,7	шосс. дорога (шир. 5 м, гравий)
5	53	52,6	151,5	точка рельефа
6	355	70,0	154,0	столб ЛЭП

Проводят горизонтали по отметкам точек с высотой сечения 1 м путем линейного интерполирования отметок по линии ската. в результате интерполирования находят на плане точки, отметки которых кратны принятому сечению. (На рис. 3.3 проведены горизонтали и отметками 154 и 153 м).

Рис. 3.3. Проведение горизонталей: а) графическим интерполированием, б) с помощью палетки

Горизонтали можно провести с помощью палетки. Для изготовления палетки берут восковку размером примерно 7 х7 см. На восковке проводят

ряд параллельных линий через равные интервалы (0,5 см или 1,0 см), подписывают их значениями отметок через 1 метр, начиная с минимальной отметки (например 151, 152 и т.д. (рис. 3,3 б). Затем палетку накладывают на 2 соседние А и Б точки на плане таким образом, чтобы эти точки заняли на палетке соответствующее положение по высоте (152,4 и 154,4). Направление линии АБ пересекает линии палетки в точке «а» с отметкой 153 м, в точке «б» с отметкой 154 м. Точки «а» и «б» перекалывают на план и подписывают их отметки. Таким же образом находят положение горизонталей между другими точками на плане. Соединяя точки с одинаковыми отметками плавными линиями, проводят горизонтали.

3.4. Вычерчивание топографического плана

План оформляют в соответствии с «Условными знаками для топографических планов масштабов 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500».

Вычерчивают план в следующей последовательности:

пункты съемочного обоснования;

здания, постройки, отдельные местные предметы;

дороги, линии электропередач, просеки, границы контуров и другие элементы линейной протяженности;

надписи объектов и отметки высотных точек.

Вычерчивают горизонтали, выделяют утолщенные горизонтали краткие 5 метрам, размещают надписи горизонталей;

почвенно-растительный покров (условные знаки угодий, лес, луг и пр.);

рамку и зарамочное оформление.

Топографический план вычерчивают в карандаше.

Образец топографического плана приведен на рис. 3.4.

Рис. 3.4. Вычерчивание топографического плана

4. ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ

Трассой называют ось проектируемого линейного сооружения: дороги, канала, трубопровода и др. Профиль трассы является основным графическим, по которому выполняется проектирование высотного положения будущего инженерного сооружения. Строят профиль по результатам технического нивелирования пикетов, закрепленных на трассе через 100 м, промежуточных точек и поперечников.

4.1. Обработка результатов нивелирования

По результатам технического нивелирования по пикетажу трассы (рис. 4.1.) разбитой между пикетами 0 и 6 с известными отметками (H_0 = 127,410 м, H_6 = 133,446 м), получены превышения $h_{изм.}$, которые выписаны в специальную ведомость вычисления отметок в графу 2 (табл. 4.1., стр. 29).

Сначала вычисляют невязку нивелирного хода f_h и допустимое значение невязки доп. f_h по формулам:

$$f_h = \sum h_{изм.} - (H_6 - H_0) ,$$

доп. $f_h = 50мм\sqrt{L_{км}}$, где: f_h - полученная невязка нивелирного хода, $\sqrt{h_{изм.}}$ - сумма измеренных превышений по всему нивелирному ходу H_6 – отметка конечного пикета (ПК 6), H_0 - отметка начального пикета (ПК 0), L – длина хода в км (0 . 6 км.).

f_h = + 6016 – (133,446 – 127,410) = 6016 – 6036 = - 20 мм;

доп. $f_h = 50мм\sqrt{0{,}6_{км}} = 40мм$.

Если полученная невязка меньше допустимой, то ее распределяют с обратным знаком на все измеренные превышения, для чего находим поправки δ_h к превышениям ($h_{изм}$).

$$\delta_h = -\frac{f_h}{n}, \text{ где n – число превышений.}$$

Поправки округляют до целых миллиметров, распределяют так, чтобы сумма поправок была равна невязке с обратным знаком. В примере $\delta_h = -(-\frac{20мм}{9}) = +2мм$ (и остаток 2 мм). Остаток 2 мм распределяют еще по 1 мм на 2 превышения Таким образом, в нашем примере два превышения получили поправку по 3 мм, а семь превышение – по 2 мм.

Контроль: $\sum \delta_h \cdot 7 + 3мм \cdot 2 = +20мм$

Поправки выписывают в графу 2 над значениями $h_{изм.}$ В графу 3 записывают исправленные превышения ($h_{испр.}$), которые вычисляют по формуле.

$h_{испр.} = h_{изм.} + \delta_h$ = + 8800 +2 = + 0802; - 2100 + 2 = - 2098 и т.д.

Контроль: $\sum h_{испр.} = H_6 - H_0$

Рис. 4.1. Схема нивелирного хода

Далее вычисляют отметки пикетов плюсовых точек оси трассы, отметки поперечного профиля.

Отметки пикетов и плюсовых точек трассы вычисляют по формуле;

$H_n = H_{n-1} + h_{испр.}$,

где: H_n -отметка определяемого пикета

H_{n-1} - отметка предыдущего пикета

$h_{испр.}$ - исправленное превышение между предыдущим и определяемым пикетами.

В нашем примере:

$H_1 = H_0 + h_{испр.} = 127,410 + 0,802 = 128,212$,

$H_2 = H_1 + h_{испр.} = 128,212 - 2,098 = 126,114$.

Контролем правильности вычисления отметок является полученная в результате вычисления отметка конечного пикета (ПК 6), (H_6 = 133,446 м). Отметки всех точек записывают в графу 4 используя полученные отметки пикетов оси трассы, вычисляют отметки точек поперечника.

В ведомости вычисления отметок нивелирного хода выписаны превышения между пикетом 5 и точками поперечного профиля.

Отметки точек поперечного профиля вычисляют по формуле:

$$H_1 = H_5 + h_i ,$$

где: H_1 - отметка определяемой точки;

H_5 - отметка пикета 5;

h_i - превышение между ПК 5 и точкой поперечного профиля.

Таблица 4.1.

Ведомость вычисления отметок

Номер точек	Превышения, мм		Отметки Н м
	$h_{изм.}$	$h_{испр.}$	
1	2	3	4
ПК 0	+2		127,410
	+0800	+0802	
ПК 1	+2		128,212
	- 2100	- 2098	
ПК 1+ 40	+ 2		126,114
	- 0190	- 0188	
ПК 2	+2		127,618
	+2412	+ 2414	
X	+ 2		130.032
	+ 1408	+ 1410	

ПК 3	+ 2		131,442
	+ 2598	+ 2600	
ПК 4	+ 3		134,042
	- 1202	- 1199	
ПК 5	+ 3		132,843
	+ 0600	+ 0603	
ПК 6			133,446
$\sum h$	+ 6016	+ 6036	$H_6 - H_0 = +6036$

Поперечный профиль

Номер точек	Превышения $h_{испр.}$	Отметка H м
ПК 5		132,843
	+0810	
Л + 5		133,653
	- 1588	
Л + 10		131,255
	- 1342	
П + 10		131,501

В примере: $H_{Л+5} = 132 \cdot 843 + 0{,}810 = 133{,}653 м$

$$H_{Л+10} = 132 \cdot 843 - 1{,}588 = 131{,}255 м$$

$$H_{Л+10} = 132 \cdot 843 - 1{,}342 = 131{,}501 м$$

Вычисленные отметки записывают в ведомость в графу «отметки» против соответствующей точки.

4.2. Построение профиля

По вычисленным отметкам пикетов и промежуточных точек на миллиметровой бумаге строят продольный профиль трассы и профиль поперечника. Профили строят в масштабах:

Продольный профиль:

горизонтальный масштаб 1:2 000;

вертикальный масштаб 1:200;

Поперечный профиль:

горизонтальный масштаб 1:200;

вертикальный масштаб 1:200;

На листе миллиметровой бумаги размером 400 х 400 мм вычерчивают сетку профиля. Названия граф и размеры их в миллиметрах показаны на рис. 4.2.

В графе «расстояния» отмечают положение пикетов (через 5 см) и плюсовых точек в заданном масштабе. Между пикетами и плюсовыми точками выписывают расстояния. Икс – точки не строят. Ниже этой графи подписывают номера пикетов.

В графе «фактические отметки» выписывают из ведомости нивелирного хода отметки пикетов и плюсовых точек с округлением до 0,01 м.

Выбирают и подписывают отметку условного горизонта профиля, которая должна быть на 5 – 8 метров меньше самой низкой отметки по трассе. (В примере минимальная отметка ПК 1 + 60 Н = 125,93, следовательно отметку условного горизонта можно взять 120,0 м).

От линии условного горизонта на перпендикулярах, проведенных пунктирными линиями через точки трассы, откладывают отметки точек в масштабе 1:200. Полученные точки последовательно соединяют прямыми линиями, в результате чего получают продольный профиль местности по оси трассы.

Над продольным профилем строят сетку для поперечного профиля. Заполняют графи «расстояния» и «фактические отметки» так же, как и при построении продольного профиля. Под сеткой подписывают пикетажные обозначения точек поперечника (рис. 4.2.).

Выбрав условный горизонт, по вычисленным отметкам строят положение точек поперечника и, соединив эти точки, получают поперечный профиль местности.

4.3. Проектирование по профилю

Вдоль продольного профиля проектируют положение оси будущего инженерного сооружения. Проектную линию намечают графически с учетом следующих требований:

проектную отметку нулевого пикета принимают равной фактической отметке этого пикета;

уклоны отдельных участков проектной линии не должны превышать 0,050;

шаг проектирования (длину отдельного участка) принимают от 200 м до 600 м;

объем земляных работ должен быть минимальным, а объемы насыпей и выемок должны быть примерно одинаковыми, т.е. на профиле должно соблюдаться примерное равенство площадей насыпей и выемок;

изменение уклона проектной линии производят на пикетах или плюсовых точках.

На рис. 4.2. проектная отметка ПК 0 равна фактической отметке (127,41). Намечено три участка проектной линии с разными уклонами. Длина каждого участка 200 м. Вычисляют уклон участка проектной линии по формуле:

$$i = \frac{h}{D} = \frac{H_{кон.} - H_{нач.}}{D},$$

где: i - уклон участка проектной линии,

h - превышение участка проектной линии,

D - горизонтальной проложение участка проектной линии,

$H_{нач.}$ - проектная отметка начального пикета участка проектной линии,

$H_{кон.}$ - проектная отметка конечного пикета участка проектной линии.

В примере уклоны равны:

$$i_1 = \frac{H_2 - H_0}{200} = \frac{127{,}62 - 127{,}41}{200} = \frac{0{,}21}{200} = 0{,}001 ,$$

$$i_2 = \frac{H_4 - H_2}{200} = \frac{134.04 - 127{,}61}{200} = \frac{6.43}{200} = 0{,}032 ,$$

$$i_3 = \frac{H_6 - H_4}{200} = \frac{133{,}45 - 134{,}01}{200} = \frac{-0{,}64}{200} = -0{,}003 .$$

Полученные уклоны округляют до 0,001 и выписывают в графу «Проектные уклоны» над диагональю. Под диагональю выписывают горизонтальное проложение участка с данным уклоном. Направление диагонали показывает знак уклона:

- уклон положительный;
- уклон отрицательный;
- уклон нулевой (горизонтальный участок).

Вычисляют проектные отметки точек продольного профиля по формуле:

$$H_{n+1} = H_n + i \cdot d ,$$

где: H_{n+1} - проектная отметка определяемой точки,

H_n - проектная отметка предыдущей точки,

i - уклон данного участка,

d - горизонтальное проложение между соответствующими точками.

В примере

$$H_1 = H_0 + i \cdot d = 127{,}41 + 0.001 \cdot 100 = 127{,}51м$$

$$H_{1+40} = H_1 + i \cdot d = 127{,}51 + 0.001 \cdot 40 = 127{,}55м$$

$$H_{1+60} = H_1 + i \cdot d = 127{,}51 + 0.001 \cdot 60 = 127{,}57м$$

$$H_2 = H_1 + i \cdot d = 127{,}51 + 0.001 \cdot 100 = 127{,}61м$$

Полученные проектные отметки выписывают в графу «Проектные отметки». Таким же образом вычисляют проектные отметки для второго участка.

$$H_3 = H_2 + i \cdot d = 127{,}61 + 0.032 \cdot 100 = 127{,}61 + 3{,}20 = 130{,}81$$ и т.д.

Контролем вычислений служат проектные отметки концов участка проектной линии (ПК 2, ПК 4, ПК 6).

Вычисляют рабочие отметки по формуле

$$H_{раб.} = H_{проект.} - H_{фактич.}$$

$$H_{раб.} = 127{,}51 - 128{,}21 = -0{,}70$$ и т.д.

Рабочие отметки выписывают около проектной линии: положительные (высота насыпи) – выше линии, отрицательные (глубина выемки) – ниже проектной линии.

На поперечном профиле по вычислено проектной отметке пикета 5 (H_5 = 133,71) от которого был разбит поперечник, наносят положение проектной линии. Ее проводят горизонтально по 6 метров влево и вправо от оси трассы. Показывают кюветы, (если линия идет в выемке) и откосы (если линия идет по насыпи). Уклон откосов и бортов канав 45 ^{0}. Ширина дна кюветов 0,6 м., глубина 1 м.

Над проектной линией выписывают ее отметку (в примере 133,71).

Все проектные данные – проектные линии, уклоны, проектные отметки, рабочие отметки вычерчивают на профиле красным цветом.

Слева над продольным профилем вычерчивают штамп. (Размеры произвольные рис. 4.2).

5. РАБОТА С ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ ПРИБОРАМИ

Работа с геодезическими приборами включает измерение горизонтальных углов, вертикальных углов, расстояний теодолитом (рис. 5.1) и измерение превышений нивелиром (рис. 5.5.).

Для выполнения измерений теодолит или нивелир приводят в рабочее положение – горизонтируют и фиксируют. Для горизонтирования теодолита поворотом алидады (8) устанавливают уровень (13) по направлению двух подъемных винтов прибора (5). Вращая эти винты в разные стороны выводят пузырек уровня на середину (в нольпункт). Открепив алидаду, поворачивают ее на 90 ^{0}, устанавливая уровень по направлению третьего подъемного винта. Вращением этого винта приводят пузырек уровня на середину. Затеи вращением диоптрийного кольца (14) устанавливают резкое изображение сетки нитей (рис. 5.3).

5.1. Измерение горизонтальных и вертикальных углов

Устанавливают теодолит в вершине угла, горизонтируют его, вращением алидады (9) и трубы (10) при положении вертикального круга слева (КЛ) наводят ее с помощью визира (3) на левую визирную цель (рис. 5.2), устанавливают ее резкое изображение с помощью кремальеры (12).

Рис. 5.2. Расположение марок при измерении горизонтальных углов

Рис. 5.3. Сетка нитей теодолита

Далее наводящими винтами алидады (9) и трубы (11) точно совмещают центр сетки нитей с визирной целью и с помощью микроскопа (1) берут отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам и записывают в журнал (Табл. 5.1.), затем поворачивают алидаду, наводят сетку нитей на правую визирную цель и также берут и записывают отсчеты по кругам теодолита. Выполненные действия при «круге лево» (КЛ) составляют первый полуприем. Второй полуприем выполняют при «круге право» (КП), для чего трубу переводят через зенит и далее действуют аналогично первому полуприему (КЛ). Порядок записи результатов измерений показан в жернале цифрами с (1) по 8 .

Значение горизонтального угла получают дважды:

1 полуприем КЛ $\beta_л = 95^0 30' - 48^0 25' = 47^0 05'$ (9)

2 полуприем КП $\beta_п = 275^0 30' - 228^0 26' = 47^0 04'$ (10)

Допустимое расхождение угла КЛ – КП не должно превышать 2¶. За окончательное значение угла принимается его средняя величина

$$\beta_{ср} = (\beta_л + \beta_п) : 2 = 47^0 04'.5 \qquad (11)$$

Вертикальные углы вычисляют по формуле $\nu = КЛ - МО$

МО = (КЛ + КП – 180 ^{0}) : 2, где КЛ и КП отсчеты по вертикальному кругу теодолита, МО – место нуля вертикального круга.

МО = (16 ^{0} 32 ¶ + 163 ^{0} 27 ¶ – 180 ^{0}) : 2 = - 0¶.5 (12)

$$\nu = 16^0 32' - (-0,'5) = 16^0 32,'5 \quad (14)$$

Таблица 5.1.

ЖУРНАЛ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ И ДЛИН ЛИНИЙ

Дата 4 декабря исполнитель Иванов С. И.

Точки стояния	Круг	Точки визирования	Горизонтальный круг		
			Отсчет ° ′	Измеренный угол ° ′	Средний угол ° ′
1	2	3	4	5	6
В	КЛ	Д	48 25 (1)	(9) 47 05	(11) 47 04,5
		С	95 30 (3)		
	КП	Д	228 26 (5)	(10) 47 05	
		С	275 30 (7)		

Точки		Круг	Вертикальный круг			Длина линий
Стояния	Визирования		Отсчет	Место нуля	Угол наклона	Измеренн. Гориз. прол.
7	8	9	10	11	12	13
В	Д	КЛ	16 32 (2)	(12) - 0′, 5	(14) 16 32,5	17,6 (16)
		КП	163 27 (6)			
В	С	КЛ	351 18 (4)	(13) + 0,5	(15) -8 42,5	
		КП	188 43 (8)			
		КЛ				

5.2. Измерение расстояний нитяным дальномером

Измерение расстояний нитяным дальномером производят по рейке с сантиметровыми шашечными делениями (рис. 5.4), для чего труба теодолита наводят на рейку и наводящим винтом трубы (11) совмещают верхнюю дальномерную нить сетки нитей с ближайшим целым дециметровым делением рейки (например 10 дц.). Затем берут отсчет n_2 по нижней нити с точностью до 1 мм.

На рис. 5.4 n_1 = 1000 мм n_2 =1176 мм

Измеренное расстояние $S = K\,(n_1 - n_2)$, где К – коэффициент дальномера. $K = 100$

$S = 100\ (1176\text{-}1000) = 17{,}6$ м

Результат записывают в графу 13 журнала (табл. 5.1). (16)

5.3. Измерение превышений

Нивелир (рис. 5.5) приводят в рабочее положение – горизонтируют, приводя на середину пузыре круглого уровня (7) подъемными винтами (11), фокусируют сетку нитей (1). Затем наводят трубу на заднюю рейку, добиваются ее резкого изображения с помощью кремальеры (5). Элевационным винтом (8) приводят пузырек цилиндрического уровня (9) на середину, берут отсчет по черной стороне рейки средней горизонтальной нитью до 1 мм (рис. 5.6), затем – по красной стороне рейки. Отсчеты записывают в графу 3 журнала ((1) (2) табл. 5.2). Затем рейку устанавливают на переднюю точку и действуя аналогично, берут отсчеты по черной и красной сторонам передней рейки (3) и (4), записывая их в графу 4 журнала.

Превышение вычисляют по формуле $\boldsymbol{h = a - в}$

где : a - отсчет по задней рейке,

$в$ – отсчет по передней рейке.

Превышение вычисляют дважды: по черным и красным сторонам рейки

$h_ч = 1171 - 1793 = -622$ (5)

$h_к = 5854 - 6478 = -624$ (6) $h_ч - h_к = 2$ мм

Расхождение между $h_к$ и $h_к$ не должно превышать 5 мм. В графе 7 вычисляют среднее превышение (7)

$h_{ср.} = (h_ч + h_к) : 2 = -623$ мм.

Рис. 5.5. Основные части нивелира Н-3

1 – диоптрийное кольцо; 2 – зрительная труба; 3 – визир; 4 – объектив; 5 – кремальера; 6 – наводящий вид; 7 – круглый уровень; 8 – элевационный винт; 9 – цилиндрический уровень; 10 – закрепительный винт; 11 – подъемный винт; 12 – подставка.

Рис. 5.6. Поле зрения зрительной трубы нивелира

Таблица 5.2

Журнал нивелирования

№№ станций	Номер точек наблюдений	Отсчеты по рейкам, мм			Превышения, мм	
		Задней а	Передний в	Промежуточный	Вычисленный	Средние
1	2	3	4	5	6	7
	1	1171 (1)				
1		5854 (2)			- 622 (5)	
	2		1793 (3)			- 623 (7)
			6478 (4)		- 624 (6)	

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____С.А. Упоров

Е.А.Акулова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Основы геодезии и топографии»

для студентов очного и заочного обучения

направления подготовки (специальности)
21.05.03 Технология геологической разведки
(уровень специалитета)

Одобрена на заседании кафедры

Геодезии и кадастров
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)

Акулова Е.А.
(Фамилия И.О.)

Екатеринбург, 2020 г

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»
(ФГБОУ ВО «УГГУ»)

Е.А.Акулова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «**Основы геодезии и топографии**»

для студентов очного и заочного обучения

направления подготовки (специальности)
21.05.03 Технология геологической разведки
(уровень специалитета)

Стр.

1.Общие положения ……. 3

2. Требования к уровню освоения образовательной программы…… 4

3. Внутренние факторы, способствующие активизации самостоятельной работы 6

4. Виды самостоятельной работы ……. 7

5. Организация СРС……. 9

6. Деятельность студентов по формированию и развитию навыков учебной самостоятельной работы…… 19

7. Требования к учебно-методическому обеспечению самостоятельной работы студентов…… 28

8. Самостоятельная работа студента - необходимое звено становления исследователя и специалиста……. 31

Список используемой литературы…… 34

1.Общие положения

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в

рейтинговой технологии обучения. Государственным стандартом предусматривается, как правило, 50% часов из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу студентов (далее СРС). В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

Самостоятельная работа студентов - это любая деятельность, связанная с воспитанием мышления будущего профессионала. Любой вид занятий, создающий условия для зарождения самостоятельной мысли, познавательной активности студента связан с самостоятельной работой. В широком смысле под самостоятельной работой следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне её, в контакте с преподавателем и в его отсутствии.

Самостоятельная работа студентов – это средство вовлечения студента в самостоятельную познавательную деятельность, формирующую у него психологическую потребность в систематическом самообразовании.

Сущность самостоятельной работы студентов как специфической педагогической конструкции определяется особенностями поставленных в ней учебно-познавательных задач. Следовательно, самостоятельная работа – это не просто самостоятельная деятельность по усвоению учебного материала, а особая система условий обучения, организуемых преподавателем.

Основные задачи самостоятельной работы:

- развитие и привитие навыков студентам самостоятельной учебной работы и формирование потребностей в самообразовании;

- освоение содержания дисциплины в рамках тем, выносимых на самостоятельное изучение студента;

- осознание, углубление содержания и основных положений курса в ходе конспектирования материала на лекциях, отработки в ходе подготовки к семинарским и практическим занятиям;

- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий, при написании курсовых и дипломной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

Активная самостоятельная работа студентов возможна только при наличии серьезной и устойчивой мотивации. Самый сильный мотивирующий фактор - подготовка к дальнейшей эффективной профессиональной деятельности.

2. Требования к уровню освоения образовательной программы

Объектом профессиональной деятельности выпускника по направлению подготовки бакалавриата 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» являются земельные ресурсы, используемые в различных отраслях народного хозяйства, их распределение по категориям земель, землевладениям и землепользованиям, правовой режим землепользования, количественная и качественная характеристики, управление и контроль за их состоянием и использованием, а также объекты недвижимости, включая земельные участки, находящиеся в границах городов и других поселений, их правовой статус, регистрация, оценка, контроль использования; городская среда; кадастровые информационные системы; проектно-техническая документация.

Выпускник по направлению подготовки бакалавриата 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» должен знать:

— методы проектирования и проведения технико-экономических расчетов; принципы землеустройства, земельного кадастра и городского кадастра; технологии проектирования; постановления, распоряжения, приказы вышестоящих и других органов;

— методические и нормативные материалы по землеустройству, земельному кадастру и городскому кадастру;

— стандарты, технические условия и другие руководящие материалы по разработке и оформлению проектно-сметной документации; технические средства проектирования в землеустройстве, земельном и городскому кадастрах, основы патентоведения;

— передовой отечественный и зарубежный опыт землеустройства, земельного и городского кадастров;

— технические, экономические, экологические и социальные требования к проектам (схемам) землеустройства и автоматизированным системам земельного и городского кадастров;

— законы, указы, постановления, приказы, методические и нормативные материалы по вопросам землеустройства организации государственного земельного и городского

кадастров и автоматизированных кадастровых систем; перспективы их развития; организацию экономического планирования и оперативного регулирования производства;

— структуру проектных предприятий и кадастровых организаций, производственные и функциональные связи между его подразделениями;

— задачи и содержание земельно-кадастровых систем; порядок разработки системы государственного земельного и городского кадастров; прогнозов, планов, схем и проектов землеустройства, технических и рабочих проектов;

— экономико-математические и статистические методы и модели;

— средства вычислительной техники, коммуникаций и связи; порядок постановки задач, их алгоритмизации;

— методы определения экономической эффективности землеустройства; внедрения кадастровых систем и технологий;

— стандарты унифицированной системы проектной и кадастровой документации;

— порядок разработки и оформления технической документации;

— основы экономики, организации производства, труда и управления в землеустройстве и земельном кадастре, основы трудового законодательства, правила и нормы охраны труда.

Государственным образовательным стандартом предусмотрено 8640 часов теоретического обучения (240 з.е).

Срок освоения основной образовательной программы подготовки выпускника при очной форме обучения составляет 208 недель, в том числе: теоретическое обучение, включая научно-исследовательскую работу студентов, практикумы, в том числе лабораторные - 177 недель; экзаменационные сессии 23 недели; практики: 30 недель; итоговая государственная аттестация, включая подготовку и защиту выпускной квалификационной работы (проекта) 6 недель; каникулы (включая 8 недель последипломного отпуска) 31 неделя.

Максимальный объем учебной нагрузки студента устанавливается 54 часа в неделю, включая все виды его аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы.

Объем аудиторных занятий студента при очной форме обучения не должен превышать в среднем за период теоретического обучения 24 часов в неделю. При этом в указанный объем не входят обязательные практические занятия по физической культуре и занятия по

факультативным дисциплинам. При очно-заочной (вечерней) форме обучения объем аудиторных занятий должен быть не менее 10 часов в неделю.

Следует заметить, что самостоятельная работа в пределах теоретического обучения составляет 4150 часов. Учебные практики составляют 16 недель, из расчета 36 часов в неделю самостоятельная работа составляет 576 часов. В период экзаменационной сессии самостоятельная работа студента в среднем составляет 25-30 часов. Не составляет исключение и выпускная квалификационная работа, где самостоятельная работа может составлять в среднем 500 часов. В итоге, за весь период обучения самостоятельная работа студентов составляет более 5000 часов. Для эффективного использования этого времени при подготовке дипломированного специалиста необходимо рационально его использовать, грамотно организовать работу и иметь мотивацию для ее реализации.

3. Внутренние факторы, способствующие активизации самостоятельной работы

Среди них можно выделить следующие:

1. Полезность выполняемой работы. Если студент знает, что результаты его работы будут использованы в лекционном курсе, в методическом пособии, в лабораторном практикуме, при подготовке публикации или иным образом, то отношение к выполнению задания существенно меняется в лучшую сторону и качество выполняемой работы возрастает. При этом важно психологически настроить студента, показать ему, как необходима выполняемая работа.

Другим вариантом использования фактора полезности является активное применение результатов работы в профессиональной подготовке. Так, например, если студент получил задание на дипломную (квалификационную) работу на одном из младших курсов, он может выполнять самостоятельные задания по ряду дисциплин гуманитарного и социально-экономического, естественно-научного и общепрофессионального циклов дисциплин, которые затем войдут как разделы в его квалификационную работу.

Материальные стимулирующие факторы могут выражаться в надбавках к основной стипендии, номинированные на именные стипендии, участие в конкурсах научно-исследовательских работ, где в качестве приза могут выступать материальные поощрения.

2. Участие студентов в творческой деятельности. Это может быть участие в научно-исследовательской, опытно-конструкторской или методической работе, проводимой на кафедре.

3. Участие в олимпиадах по учебным дисциплинам, конкурсах научно-исследовательских или прикладных работ и т.д.

4. Использование мотивирующих факторов контроля знаний (накопительные оценки, рейтинг, тесты, нестандартные экзаменационные процедуры). Эти факторы при определенных условиях могут вызвать стремление к состязательности, что само по себе является сильным мотивационным фактором самосовершенствования студента.

5. Поощрение студентов за успехи в учебе и творческой деятельности (стипендии, премирование, поощрительные баллы) и санкции за плохую учебу. Например, за работу, сданную раньше срока, можно проставлять повышенную оценку, а в противном случае ее снижать.

6. Индивидуализация заданий, выполняемых как в аудитории, так и вне ее, постоянное их обновление.

7. Мотивационным фактором в интенсивной учебной работе и, в первую очередь, самостоятельной является личность преподавателя. Преподаватель может быть примером для студента как профессионал, как творческая личность. Преподаватель может и должен помочь студенту раскрыть свой творческий потенциал, определить перспективы своего внутреннего роста.

4. Виды самостоятельной работы

В образовательном процессе высшего профессионального образовательного учреждения выделяется два вида самостоятельной работы – аудиторная, под руководством преподавателя, и внеаудиторная. Тесная взаимосвязь этих видов работ предусматривает дифференциацию и эффективность результатов ее выполнения и зависит от организации, содержания, логики учебного процесса (межпредметных связей, перспективных знаний и др.):

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Основными видами самостоятельной работы студентов без участия преподавателей являются:

— формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.);

— написание рефератов;

— подготовка к лабораторным работам, их оформление;

— выполнение микроисследований;

— подготовка практических разработок;

— выполнение домашних заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным разделам содержания дисциплин и т.д.;

— выполнение конкретного задания в период прохождения учебной практики;

— компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов;

— подготовка докладов и презентаций для конкурсов НИРС и конкурсов профессионального мастерства;

— подготовка к контрольным мероприятиям, таким как текущий контроль знаний в виде проверочных тестов или расчетно-графических работ, зачетов, экзаменов;

— выполнение курсовой работы или проекта;

— подготовка выпускной квалификационной работы.

Основными видами самостоятельной работы студентов с участием преподавателей являются:

— текущие консультации;

— прием и разбор домашних заданий (в часы практических занятий);

— прием и защита лабораторных работ (во время проведения л/р);

— выполнение курсовых работ (проектов) в рамках дисциплин (руководство, консультирование и защита курсовых работ (в часы, предусмотренные учебным планом);

— выполнение учебно-исследовательской работы (руководство, консультирование и защита УИРС);

— прохождение и оформление результатов практик (руководство и оценка уровня сформированности профессиональных умений и навыков);

— выполнение выпускной квалификационной работы (руководство, консультирование и защита выпускных квалификационных работ) и др.

5. Организация СРС

Аудиторная самостоятельная работа может реализовываться при проведении практических занятий, семинаров, выполнении лабораторного практикума и во время чтения лекций.

При чтении лекционного курса непосредственно в аудитории контролируется усвоение материала основной массой студентов путем проведения экспресс-опросов по конкретным темам, тестового контроля знаний, опроса студентов и т.д.

На практических и лабораторных занятиях различные виды СРС позволяют сделать процесс обучения более интересным и поднять активность значительной части студентов в группе.

На практических занятиях не менее 1 часа из двух (50% времени) отводится на самостоятельное решение задач. Лабораторные занятия строятся следующим образом:

1. Вводное слово преподавателя (цели занятия, основные вопросы, которые должны быть рассмотрены).

2. Беглый опрос.

3. Решение 1-2 типовых задач.

4. Самостоятельное решение задач.

5. Проверка решения задач с обязательной работой над ошибками. Лабораторная или практическая работа считается выполненной при условии отсутствия ошибок.

Для проведения занятий необходимо иметь большой банк заданий и задач для самостоятельного решения, причем эти задания могут быть дифференцированы по степени сложности. В зависимости от дисциплины или от ее раздела можно использовать два пути:

1. Давать определенное количество задач для самостоятельного решения, равных по трудности, а оценку ставить за количество решенных за определенное время задач.

2. Выдавать задания с задачами разной трудности и оценку ставить за трудность решенной задачи.

По результатам самостоятельного решения задач следует выставлять по каждому занятию оценку.

При проведении лабораторных работ и учебных практик студенты могут выполнять СРС как индивидуально, так и малыми группами, каждая из которых разрабатывает свою задачу. Выполненная задача затем рецензируется преподавателем и членами бригады. Публичное обсуждение и защита своего варианта повышают роль СРС и усиливают стремление к ее качественному выполнению. Данная система организации практических занятий позволяет вводить в задачи научно-исследовательские элементы, упрощать или усложнять задания.

Активность работы студентов на обычных практических занятиях может быть усилена введением новой формы СРС, сущность которой состоит в том, что на каждую задачу студент получает свое индивидуальное задание (вариант), при этом условие задачи для всех студентов одинаковое, а исходные данные различны. Перед началом выполнения задачи преподаватель дает лишь общие методические указания (общий порядок решения, точность и единицы измерения определенных величин, имеющиеся справочные материалы и т.п.). Выполнение СРС на занятиях с проверкой результатов преподавателем приучает студентов грамотно и правильно выполнять технические расчеты, пользоваться вычислительными средствами и справочными данными. Изучаемый материал усваивается более глубоко, у студентов меняется отношение к лекциям, так как без понимания теории предмета, без хорошего конспекта трудно рассчитывать на успех в решении задачи. Это улучшает посещаемость как практических, так и лекционных занятий.

Выполнение лабораторного практикума, как и другие виды учебной деятельности, содержит много возможностей применения активных методов обучения и организации СРС на основе индивидуального подхода.

Любая лабораторная работа должна включать глубокую самостоятельную проработку теоретического материала, изучение методик проведения и планирование эксперимента, освоение измерительных средств, обработку и интерпретацию экспериментальных данных. При этом часть работ может не носить обязательный характер, а выполняться в рамках самостоятельной работы по курсу. В ряд работ целесообразно включить разделы с дополнительными элементами научных исследований, которые потребуют углубленной самостоятельной проработки теоретического материала.

Разработка комплекса методического обеспечения учебного процесса является важнейшим условием эффективности самостоятельной работы студентов. К такому комплексу следует отнести тексты лекций, учебные и методические пособия, лабораторные практикумы, банки заданий и задач, сформулированных на основе реальных данных, банк расчетных, моделирующих, тренажерных программ и программ для самоконтроля, автоматизированные обучающие и контролирующие системы, информационные базы дисциплины или группы родственных дисциплин и другое. Это позволит организовать проблемное обучение, в котором студент является равноправным участником учебного процесса.

Результативность самостоятельной работы студентов во многом определяется наличием активных методов ее контроля. Существуют следующие виды контроля:

- входной контроль знаний и умений студентов при начале изучения очередной дисциплины;

- текущий контроль, то есть регулярное отслеживание уровня усвоения материала на лекциях, практических и лабораторных занятиях;

- промежуточный контроль по окончании изучения раздела или модуля курса;

- самоконтроль, осуществляемый студентом в процессе изучения дисциплины при подготовке к контрольным мероприятиям;

- итоговый контроль по дисциплине в виде зачета или экзамена;

- контроль остаточных знаний и умений спустя определенное время после завершения изучения дисциплины.

В последние годы наряду с традиционными формами контроля - коллоквиумами, зачетами, экзаменами достаточно широко вводятся новые методы, то есть организация самостоятельной работы студентов производится на основе современных образовательных технологий. В качестве такой технологии в современной практике высшего профессионального образования часто рассматривается рейтинговая система обучения, позволяющая студенту и преподавателю выступать в виде субъектов образовательной деятельности, т.е. являться партнерами.

Тестовый контроль знаний и умений студентов, который отличается объективностью, экономит время преподавателя, в значительной мере освобождает его от рутинной работы и позволяет в большей степени сосредоточиться на творческой части преподавания, обладает высокой степенью дифференциации испытуемых по уровню знаний и умений и очень

эффективен при реализации рейтинговых систем, дает возможность в значительной мере индивидуализировать процесс обучения путем подбора индивидуальных заданий для практических занятий, индивидуальной и самостоятельной работы, позволяет прогнозировать темпы и результативность обучения каждого студента.

Тестирование помогает преподавателю выявить структуру знаний студентов и на этой основе переоценить методические подходы к обучению по дисциплине, индивидуализировать процесс обучения. Весьма эффективно использование тестов непосредственно в процессе обучения, при самостоятельной работе студентов. В этом случае студент сам проверяет свои знания. Не ответив сразу на тестовое задание, студент получает подсказку, разъясняющую логику задания и выполняет его второй раз.

Следует отметить и все шире проникающие в учебный процесс автоматизированные обучающие и обучающе-контролирующие системы, которые позволяют студенту самостоятельно изучать ту или иную дисциплину и одновременно контролировать уровень усвоения материала.

Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы.

С первых же сентябрьских дней на студента обрушивается громадный объем информации, которую необходимо усвоить. Нужный материал содержится не только в лекциях (запомнить его – это только малая часть задачи), но и в учебниках, книгах, статьях. Порой возникает необходимость привлекать информационные ресурсы Интернет.

Система вузовского обучения подразумевает значительно большую самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности. Вчерашнему школьнику сделать это бывает весьма непросто: если в школе ежедневный контроль со стороны учителя заставлял постоянно и систематически готовиться к занятиям, то в вузе вопрос об уровне знаний вплотную встает перед студентом только в период сессии. Такая ситуация оборачивается для некоторых соблазном весь семестр посвятить свободному времяпрепровождению («когда будет нужно – выучу!»), а когда приходит пора экзаменов, материала, подлежащего усвоению, оказывается так много, что никакая память не способна с ним справиться в оставшийся промежуток времени.

Работа с книгой.

При работе с книгой необходимо подобрать литературу, научиться правильно ее читать, вести записи. Для подбора литературы в библиотеке используются алфавитный и систематический каталоги.

Важно помнить, что рациональные навыки работы с книгой - это всегда большая экономия времени и сил.

Правильный подбор учебников рекомендуется преподавателем, читающим лекционный курс. Необходимая литература может быть также указана в методических разработках по данному курсу.

Изучая материал по учебнику, следует переходить к следующему вопросу только после правильного уяснения предыдущего, описывая на бумаге все выкладки и вычисления (в том числе те, которые в учебнике опущены или на лекции даны для самостоятельного вывода).

При изучении любой дисциплины большую и важную роль играет самостоятельная индивидуальная работа.

Особое внимание следует обратить на определение основных понятий курса. Студент должен подробно разбирать примеры, которые поясняют такие определения, и уметь строить аналогичные примеры самостоятельно. Нужно добиваться точного представления о том, что изучаешь. Полезно составлять опорные конспекты. При изучении материала по учебнику полезно в тетради (на специально отведенных полях) дополнять конспект лекций. Там же следует отмечать вопросы, выделенные студентом для консультации с преподавателем.

Выводы, полученные в результате изучения, рекомендуется в конспекте выделять, чтобы они при перечитывании записей лучше запоминались.

Опыт показывает, что многим студентам помогает составление листа опорных сигналов, содержащего важнейшие и наиболее часто употребляемые формулы и понятия. Такой лист помогает запомнить формулы, основные положения лекции, а также может служить постоянным справочником для студента.

Различают два вида чтения; первичное и вторичное. Первичное - эти внимательное, неторопливое чтение, при котором можно остановиться на трудных местах. После него не должно остаться ни одного непонятного олова. Содержание не всегда может быть понятно после первичного чтения.

Задача вторичного чтения полное усвоение смысла целого (по счету это чтение может быть и не вторым, а третьим или четвертым).

Правила самостоятельной работы с литературой.
Как уже отмечалось, самостоятельная работа с учебниками и книгами (а также самостоятельное теоретическое исследование проблем, обозначенных преподавателем на лекциях) – это важнейшее условие формирования у себя научного способа познания. Основные советы здесь можно свести к следующим:

• Составить перечень книг, с которыми Вам следует познакомиться; «не старайтесь запомнить все, что вам в ближайшее время не понадобится, – советует студенту и молодому ученому Г. Селье, – запомните только, где это можно отыскать» (Селье, 1987. С. 325).

• Сам такой перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и дипломных работ, а что Вас интересует за рамками официальной учебной деятельности, то есть что может расширить Вашу общую культуру...).

• Обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и дипломных работ это позволит очень сэкономить время).
• Разобраться для себя, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть.

• При составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и научными руководителями (или даже с более подготовленными и эрудированными сокурсниками), которые помогут Вам лучше сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время...

•Естественно, все прочитанные книги, учебники и статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц).

• Если книга – Ваша собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные для Вас мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора (это очень хороший совет, позволяющий экономить время и быстро находить «избранные» места в самых разных книгах).

• Если Вы раньше мало работали с научной литературой, то следует выработать в себе способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда Вам понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое,

то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать), и это может занять немалое время (у кого-то – до нескольких недель и даже месяцев); опыт показывает, что после этого студент каким-то «чудом» начинает буквально заглатывать книги и чуть ли не видеть «сквозь обложку», стоящая это работа или нет...

• «Либо читайте, либо перелистывайте материал, но не пытайтесь читать быстро... Если текст меня интересует, то чтение, размышление и даже фантазирование по этому поводу сливаются в единый процесс, в то время как вынужденное скорочтение не только не способствует качеству чтения, но и не приносит чувства удовлетворения, которое мы получаем, размышляя о прочитанном», – советует Г. Селье (Селье, 1987. – С. 325-326).

• Есть еще один эффективный способ оптимизировать знакомство с научной литературой – следует увлечься какой-то идеей и все книги просматривать с точки зрения данной идеи. В этом случае студент (или молодой ученый) будет как бы искать аргументы «за» или «против» интересующей его идеи, и одновременно он будет как бы общаться с авторами этих книг по поводу своих идей и размышлений... Проблема лишь в том, как найти «свою» идею...

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От того на сколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Выделяют четыре основные установки в чтении научного текста:

- информационно-поисковый (задача – найти, выделить искомую информацию)
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить как сами сведения излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений)
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему)
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к научному тексту связано существование и нескольких ***видов чтения***:

1. библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;

2. просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;

3. ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц, цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

4. изучающее – предполагает досконального освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

5. аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач. Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым или в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках учебной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с научным текстом.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

1. Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения;

2. Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала;

3. Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала;

4. Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора;

5. Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Методические рекомендации по составлению конспекта:

1. Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта;

2. Выделите главное, составьте план;

3. Кратко сформулируйте основные положения текста, отметьте аргументацию автора;

4. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно.

5. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли.

В тексте конспекта желательно приводить не только тезисные положения, но и их доказательства. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы.

Выполняя самостоятельную работу под контролем преподавателя

студент должен:

– освоить минимум содержания, выносимый на самостоятельную работу студентов и предложенный преподавателем в соответствии с Государственными образовательными

стандартами высшего профессионального образования (ГОС ВПО/ГОС СПО) по данной дисциплине.

– планировать самостоятельную работу в соответствии с графиком самостоятельной работы, предложенным преподавателем.

– самостоятельную работу студент должен осуществлять в организационных формах, предусмотренных учебным планом и рабочей программой преподавателя.

– выполнять самостоятельную работу и отчитываться по ее результатам в соответствии с графиком представления результатов, видами и сроками отчетности по самостоятельной работе студентов.

студент может:

сверх предложенного преподавателем (при обосновании и согласовании с ним) и минимума обязательного содержания, определяемого ГОС ВПО/ГОС СПО по данной дисциплине:

– самостоятельно определять уровень (глубину) проработки содержания материала;

– предлагать дополнительные темы и вопросы для самостоятельной проработки;

– в рамках общего графика выполнения самостоятельной работы предлагать обоснованный индивидуальный график выполнения и отчетности по результатам самостоятельной работы;

– предлагать свои варианты организационных форм самостоятельной работы;

– использовать для самостоятельной работы методические пособия, учебные пособия, разработки сверх предложенного преподавателем перечня;

– использовать не только контроль, но и самоконтроль результатов самостоятельной работы в соответствии с методами самоконтроля, предложенными преподавателем или выбранными самостоятельно.

Самостоятельная работа студентов должна оказывать важное влияние на формирование личности будущего специалиста, она планируется студентом самостоятельно. Каждый студент самостоятельно определяет режим своей работы и меру труда, затрачиваемого на овладение учебным содержанием по каждой дисциплине. Он выполняет внеаудиторную работу по личному индивидуальному плану, в зависимости от его подготовки, времени и других условий.

6. Деятельность студентов по формированию и развитию навыков учебной самостоятельной работы

В процессе самостоятельной работы студент приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления, саморефлексии и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

Основной формой самостоятельной работы студента является изучение конспекта лекций, их дополнение, рекомендованной литературы, активное участие на практических и семинарских занятиях. Но для успешной учебной деятельности, ее интенсификации, необходимо учитывать следующие субъективные факторы:

1. Знание школьного программного материала, наличие прочной системы зияний, необходимой для усвоения основных вузовских курсов. Это особенно важно для математических дисциплин. Необходимо отличать пробелы в знаниях, затрудняющие усвоение нового материала, от малых способностей. Затратив силы на преодоление этих пробелов, студент обеспечит себе нормальную успеваемость и поверит в свои способности.

2. Наличие умений, навыков умственного труда:

а) умение конспектировать на лекции и при работе с книгой;

б) владение логическими операциями: сравнение, анализ, синтез, обобщение, определение понятий, правила систематизации и классификации.

3. Специфика познавательных психических процессов: внимание, память, речь, наблюдательность, интеллект и мышление. Слабое развитие каждого из них становится серьезным препятствием в учебе.

4. Хорошая работоспособность, которая обеспечивается нормальным физическим состоянием. Ведь серьезное учение - это большой многосторонний и разнообразный труд. Результат обучения оценивается не количеством сообщаемой информации, а качеством ее усвоения, умением ее использовать и развитием у себя способности к дальнейшему самостоятельному образованию.

5. Соответствие избранной деятельности, профессии индивидуальным способностям. Необходимо выработать у себя умение саморегулировать свое эмоциональное состояние и устранять обстоятельства, нарушающие деловой настрой, мешающие намеченной работе.

6. Овладение оптимальным стилем работы, обеспечивающим успех в деятельности. Чередование труда и пауз в работе, периоды отдыха, индивидуально обоснованная норма

продолжительности сна, предпочтение вечерних или утренних занятий, стрессоустойчивость на экзаменах и особенности подготовки к ним,

7. Уровень требований к себе, определяемый сложившейся самооценкой.

Адекватная оценка знаний, достоинств, недостатков - важная составляющая самоорганизации человека, без нее невозможна успешная работа по управлению своим поведением, деятельностью.

Одна из основных особенностей обучения в высшей школе заключается в том, что постоянный внешний контроль заменяется самоконтролем, активная роль в обучении принадлежит уже не столько преподавателю, сколько студенту.

Зная основные методы научной организации умственного труда, можно при наименьших затратах времени, средств и трудовых усилий достичь наилучших результатов.

Эффективность усвоения поступающей информации зависит от работоспособности человека в тот или иной момент его деятельности.

Работоспособность - способность человека к труду с высокой степенью напряженности в течение определенного времени. Различают внутренние и внешние факторы работоспособности.

К внутренним факторам работоспособности относятся интеллектуальные особенности, воля, состояние здоровья.

К внешним:

- организация рабочего места, режим труда и отдыха;
- уровень организации труда - умение получить справку и пользоваться информацией;
- величина умственной нагрузки.

Выдающийся русский физиолог Н. Е. Введенский выделил следующие условия продуктивности умственной деятельности:

- во всякий труд нужно входить постепенно;
- мерность и ритм работы. Разным людям присущ более или менее разный темп работы;
- привычная последовательность и систематичность деятельности;
- правильное чередование труда и отдыха.

Отдых не предполагает обязательного полного бездействия со стороны человека, он может быть достигнут простой переменой дела. В течение дня работоспособность

изменяется. Наиболее плодотворным является *утреннее время (с 8 до 14 часов),* причем максимальная работоспособность приходится на период с 10 до 13 часов, затем *послеобеденное* - (с 16 до 19 часов) и *вечернее* (с 20 до 24 часов). Очень трудный для понимания материал лучше изучать в начале каждого отрезка времени (лучше всего утреннего) после хорошего отдыха. Через 1-1,5 часа нужны перерывы по 10 - 15 мин, через 3 - 4 часа работы отдых должен быть продолжительным - около часа.

Составной частью научной организации умственного труда является овладение техникой умственного труда.

Физически здоровый молодой человек, обладающий хорошей подготовкой и нормальными способностями, должен, будучи студентом, отдавать *учению 9-10 часов в день* (из них 6 часов в вузе и 3 - 4 часа дома). Любой предмет нельзя изучить за несколько дней перед экзаменом. Если студент в году работает систематически, то он быстро все вспомнит, восстановит забытое. Если же подготовка шла аврально, то у студента не будет даже общего представления о предмете, он забудет все сданное.

Следует взять за правило: *учиться ежедневно, начиная с первого дня семестра*.

Время, которым располагает студент для выполнения учебного плана, складывается из двух составляющих: одна из них - это аудиторная работа в вузе по расписанию занятий, другая - внеаудиторная самостоятельная работа. Задания и материалы для самостоятельной работы выдаются во время учебных занятий по расписанию, на этих же занятиях преподаватель осуществляет контроль за самостоятельной работой, а также оказывает помощь студентам по правильной организации работы.

Чтобы выполнить весь объем самостоятельной работы, необходимо заниматься по 3 - 5 часов ежедневно. Начинать самостоятельные внеаудиторные занятия следует с первых же дней семестра, пропущенные дни будут потеряны безвозвратно, компенсировать их позднее усиленными занятиями без снижения качества работы и ее производительности невозможно. Первые дни семестра очень важны для того, чтобы включиться в работу, установить определенный порядок, равномерный ритм на весь семестр. Ритм в работе - это ежедневные самостоятельные занятия, желательно в одни и те же часы, при целесообразном чередовании занятий с перерывами для отдыха. Вначале для того, чтобы организовать ритмичную работу, требуется сознательное напряжение воли. Как только человек втянулся в работу, принуждение снижается, возникает привычка, работа становится потребностью.

Если порядок в работе и ее ритм установлены правильно, то студент изо дня в день может работать, не снижая своей производительности и не перегружая себя. Правильная смена одного вида работы другим позволяет отдыхать, не прекращая работы.

Таким образом, первая задача организации внеаудиторной самостоятельной работы – это составление расписания, которое должно отражать время занятий, их характер (теоретический курс, практические занятия, графические работы, чтение), перерывы на обед, ужин, отдых, сон, проезд и т.д. Расписание не предопределяет содержания работы, ее содержание неизбежно будет изменяться в течение семестра. Порядок же следует закрепить на весь семестр и приложить все усилия, чтобы поддерживать его неизменным (кроме исправления ошибок в планировании, которые могут возникнуть из-за недооценки объема работы или переоценки своих сил).

При однообразной работе человек утомляется больше, чем при работе разного характера. Однако не всегда целесообразно заниматься многими учебными дисциплинами в один и тот же день, так как при каждом переходе нужно вновь сосредоточить внимание, что может привести к потере времени. Наиболее целесообразно ежедневно работать не более чем над двумя-тремя дисциплинами.

Начиная работу, не нужно стремиться делать вначале самую тяжелую ее часть, надо выбрать что-нибудь среднее по трудности, затем перейти к более трудной работе. И напоследок оставить легкую часть, требующую не столько больших интеллектуальных усилий, сколько определенных моторных действий (черчение, построение графиков и т.п.).

Самостоятельные занятия потребуют интенсивного умственного труда, который необходимо не только правильно организовать, но и стимулировать. При этом очень важно уметь поддерживать устойчивое внимание к изучаемому материалу. Выработка внимания требует значительных волевых усилий. Именно поэтому, если студент замечает, что он часто отвлекается во время самостоятельных занятий, ему надо заставить себя сосредоточиться. Подобную процедуру необходимо проделывать постоянно, так как это является тренировкой внимания. Устойчивое внимание появляется тогда, когда человек относится к делу с интересом.

Следует правильно организовать свои занятия по времени: 50 минут - работа, 5-10 минут - перерыв; после 3 часов работы перерыв - 20-25 минут. Иначе нарастающее утомление повлечет неустойчивость внимания. Очень существенным фактором, влияющим на повышение умственной работоспособности, являются систематические занятия

физической культурой. Организация активного отдыха предусматривает чередование умственной и физической деятельности, что полностью восстанавливает работоспособность человека.

Самопроверка.

После изучения определенной темы по записям в конспекте и учебнику, а также решения достаточного количества соответствующих задач на практических занятиях и самостоятельно студенту рекомендуется, используя лист опорных сигналов, воспроизвести по памяти определения, выводы формул, формулировки основных положений и доказательств.

В случае необходимости нужно еще раз внимательно разобраться в материале.

Иногда недостаточность усвоения того или иного вопроса выясняется только при изучении дальнейшего материала. В этом случае надо вернуться назад и повторить плохо усвоенный материал. Важный критерий усвоения теоретического материала - умение решать задачи или пройти тестирование по пройденному материалу. Однако следует помнить, что правильное решение задачи может получиться в результате применения механически заученных формул без понимания сущности теоретических положений.

Консультации

Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала или при решении задач у студента возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удается, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. В своих вопросах студент должен четко выразить, в чем он испытывает затруднения, характер этого затруднения. За консультацией следует обращаться и в случае, если возникнут сомнения в правильности ответов на вопросы самопроверки.

Подготовка к экзаменам и зачетам.

Изучение многих общепрофессиональных и специальных дисциплин завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

Экзаменационная сессия - это серия экзаменов, установленных учебным планом. Между экзаменами интервал 3-4 дня. Не следует думать, что 3-4 дня достаточно для успешной подготовки к экзаменам.

В эти 3-4 дня нужно систематизировать уже имеющиеся знания. На консультации перед экзаменом студентов познакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

Требования к организации подготовки к экзаменам те же, что и при занятиях в течение семестра, но соблюдаться они должны более строго. Во-первых, очень важно соблюдение режима дня; сон не менее 8 часов в сутки, занятия заканчиваются не позднее, чем за 2-3 часа до сна. Оптимальное время занятий, особенно по математике - утренние и дневные часы. В перерывах между занятиями рекомендуются прогулки на свежем воздухе, неутомительные занятия спортом. Во-вторых, наличие хороших собственных конспектов лекций. Даже в том случае, если была пропущена какая-либо лекция, необходимо во время ее восстановить (переписать ее на кафедре), обдумать, снять возникшие вопросы для того, чтобы запоминание материала было осознанным. В-третьих, при подготовке к экзаменам у студента должен быть хороший учебник или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра. Здесь можно эффективно использовать листы опорных сигналов.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения, используя при этом листы опорных сигналов.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

Правила подготовки к зачетам и экзаменам:

• Лучше сразу сориентироваться во всем материале и обязательно расположить весь материал согласно экзаменационным вопросам (или вопросам, обсуждаемым на семинарах), эта работа может занять много времени, но все остальное – это уже технические детали (главное – это ориентировка в материале!).

• Сама подготовка связана не только с «запоминанием». Подготовка также предполагает и переосмысление материала, и даже рассмотрение альтернативных идей.

• Готовить «шпаргалки» полезно, но пользоваться ими рискованно. Главный смысл подготовки «шпаргалок» – это систематизация и оптимизация знаний по данному предмету,

что само по себе прекрасно – это очень сложная и важная для студента работа, более сложная и важная, чем простое поглощение массы учебной информации. Если студент самостоятельно подготовил такие «шпаргалки», то, скорее всего, он и экзамены сдавать будет более уверенно, так как у него уже сформирована общая ориентировка в сложном материале.

• Как это ни парадоксально, но использование «шпаргалок» часто позволяет отвечающему студенту лучше демонстрировать свои познания (точнее – ориентировку в знаниях, что намного важнее знания «запомненного» и «тут же забытого» после сдачи экзамена).

• Сначала студент должен продемонстрировать, что он «усвоил» все, что требуется по программе обучения (или по программе данного преподавателя), и лишь после этого он вправе высказать иные, желательно аргументированные точки зрения.

Правила написания научных текстов (рефератов, курсовых и дипломных работ):

• Важно разобраться сначала, какова истинная цель Вашего научного текста - это поможет Вам разумно распределить свои силы, время и.

• Важно разобраться, кто будет «читателем» Вашей работы.

• Писать серьезные работы следует тогда, когда есть о чем писать и когда есть настроение поделиться своими рассуждениями.

• Как создать у себя подходящее творческое настроение для работы над научным текстом (как найти «вдохновение»)? Во-первых, должна быть идея, а для этого нужно научиться либо относиться к разным явлениям и фактам несколько критически (своя идея – как иная точка зрения), либо научиться увлекаться какими-то известными идеями, которые нуждаются в доработке (идея – как оптимистическая позиция и направленность на дальнейшее совершенствование уже известного). Во-вторых, важно уметь отвлекаться от окружающей суеты (многие талантливые люди просто «пропадают» в этой суете), для чего важно уметь выделять важнейшие приоритеты в своей учебно-исследовательской деятельности. В-третьих, научиться организовывать свое время, ведь, как известно, свободное (от всяких глупостей) время – важнейшее условие настоящего творчества, для него наконец-то появляется время. Иногда именно на организацию такого времени уходит немалая часть сил и талантов.

• Писать следует ясно и понятно, стараясь основные положения формулировать четко и недвусмысленно (чтобы и самому понятно было), а также стремясь структурировать свой

текст. Каждый раз надо представлять, что ваш текст будет кто-то читать и ему захочется сориентироваться в нем, быстро находить ответы на интересующие вопросы (заодно представьте себя на месте такого человека). Понятно, что работа, написанная «сплошным текстом» (без заголовков, без выделения крупным шрифтом наиболее важным мест и т, п.), у культурного читателя должна вызывать брезгливость и даже жалость к автору (исключения составляют некоторые древние тексты, когда и жанр был иной и к текстам относились иначе, да и самих текстов было гораздо меньше – не то, что в эпоху «информационного взрыва» и соответствующего «информационного мусора»).

• Объем текста и различные оформительские требования во многом зависят от принятых в конкретном учебном заведении порядков.

Содержание основных этапов подготовки курсовой работы

Курсовая работа - это самостоятельное исследование студентом определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов, касающихся конкретной финансовой ситуации.

Курсовая работа не должна составляться из фрагментов статей, монографий, пособий. Кроме простого изложения фактов и цитат, в курсовой работе должно проявляться авторское видение проблемы и ее решения.

Рассмотрим основные этапы подготовки курсовой работы студентом.

Выполнение курсовой работы начинается с выбора темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов избранной темы;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана;
- составление графика выполнения курсовой работы.

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания курсовой работы. Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют студенту написать первую (теоретическую) главу.

Выполнение курсовой работы предполагает проведение определенного исследования. На основе разработанного плана студент осуществляет сбор фактического материала, необходимых цифровых данных. Затем полученные результаты подвергаются анализу, статистической, математической обработке и представляются в виде текстового описания, таблиц, графиков, диаграмм. Программа исследования и анализ полученных результатов составляют содержание второй (аналитической) главы.

В третьей (рекомендательной) части должны быть отражены мероприятия, рекомендации по рассматриваемым проблемам.

Рабочий вариант текста курсовой работы предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки курсовая работа сдается на кафедру для ее оценивания руководителем.

Защита курсовой работы студентов проходит в сроки, установленные графиком учебного процесса.

Рекомендации по подготовке к защите курсовой работы

При подготовке к защите курсовой работы студент должен знать основные положения работы, выявленные проблемы и мероприятия по их устранению, перспективы развития рассматриваемой экономической ситуации.

Защита курсовой работы проводится в университете при наличии у студента курсовой работы, рецензии и зачетной книжки. Оценка - дифференцирована. Преподаватель оценивает защиту курсовой работы и заполняет графу "оценка" в ведомости и в зачетной книжке.

Не допускаются к защите варианты курсовых работ, найденные в Интернет, сканированные варианты учебников и учебных пособий, а также копии ранее написанных студенческих работ.

7. Требования к учебно-методическому обеспечению самостоятельной работы студентов

Для нормальной самостоятельной работы студент должен быть обеспечен достаточным количеством учебных пособий разного вида. Чем более разнообразны учебные пособия, тем более успешна будет самостоятельная работа студента, так как каждый может выбрать себе учебное пособие по силам, по склонностям, по материальным возможностям. Должны быть пособия краткие и подробные, с неглубокими и глубокими теоретическими обоснованиями, теоретического и практического содержания. Нужны справочники, конспекты-справочники, учебники. Часть учебных пособий должна находиться в учебной студенческой библиотеке, часть пособий студент должен иметь возможность купить для личного пользования в книжном магазине учебного заведения. Основная часть учебных пособий должна быть в бумажном виде (книги, брошюры, чертежи и т.д.).

Наряду с ними нужно создавать, накапливать в учебных фондах и продавать учебные пособия электронного вида. Этот вид учебных пособий в обозримом будущем не может стать основным и вряд ли когда-нибудь станет. Это – вспомогательные, дополнительные учебные пособия, используемые в основном для заочного, дистанционного образования. Количество учебных пособий в учебном фонде библиотеки должно быть таким, чтобы каждый студент мог получить хотя бы один из рекомендованных учебников.

Многоуровневая система высшего образования должна предоставлять человеку условия для развития его потенциальных возможностей и наиболее полного удовлетворения потребности личности в самореализации. Поэтому на каждом из уровней подготовки самостоятельная работа студентов (СРС) есть обязательное условие, которое должно быть соблюдено для достижения проектируемых результатов обучения. Правильная (психологически и дидактически обоснованная) организация СРС при изучении каждой дисциплины – это один из основных педагогических путей развития и становления творческих качеств личности учащегося на каждом уровне обучения.

Из дидактики следует, что для непрерывного развития учащегося и становления его как творческой личности все элементы содержания образования (знания, умения и навыки, опыт творческой и оценочной деятельности), выделенные в рамках определенной дисциплины, должны быть им усвоены с установкой на перенос и активное использование.

Поэтому на первом уровне обучения каждого студента по каждой учебной дисциплине нужно снабдить комплектом учебно-методических материалов, помогающих ему организовывать самостоятельную работу. В такой комплект обязательно должны входить: программа, адаптированная для студента; учебная литература (учебник, задачник, руководство по выполнению лабораторных работ); система заданий для самостоятельной работы студентов; методические указания по организации самостоятельной работы при выполнении заданий по разным видам занятий, включая и курсовые работы (проекты).

На втором и третьем уровнях обучения их следует снабдить методическими указаниями по выполнению выпускной работы, завершающей подготовку специалиста. Программа должна содержать: обоснование необходимости изучения дисциплины, написанное в убеждающей и понятной для студентов форме; четкую формулировку цели изучения и задач, которые должны быть решены для достижения общей цели; последовательность тем и разделов курса дисциплины, обязательных для данного направления подготовки; перечень видов деятельности, которые должен освоить студент, выполняя задания по дисциплине; перечни методологических и предметных знаний, общеобразовательных и специальных умений (с указанием уровня их усвоения), которыми необходимо овладеть в процессе изучения данной дисциплины; сроки и способы текущего, рубежного и итогового контроля уровня усвоения знаний сформированности умений.

Учебная литература по содержанию и последовательности представления материала должна соответствовать программе. Объем, научный уровень и стиль изложения должны позволять каждому студенту самостоятельно усвоить приведенный в ней материал за время, отведенное на его изучение, и овладеть знаниями, умениями, видами деятельности, перечисленными в программе. Для обеспечения терминологической однозначности в системе знаний, усваиваемых студентом, каждое учебное пособие (или другой вид учебной литературы) должно содержать словарь основных терминов, используемых в нем.

Задания для самостоятельной работы должны быть конкретными. Их содержание, соответствуя программе, должно знакомить студентов с современными методами решения задач данной дисциплины.

Структура заданий должна соответствовать принципу доступности: от известного к неизвестному и от простого к сложному, а трудоемкость – времени, выделенному программой на самостоятельную работу по изучению данной темы. В заданиях следует

указывать знания и умения, которыми должен овладеть студент по мере их выполнения. Кроме того, в них нужно включать вопросы для самоконтроля и взаимного контроля, тесты и контрольные вопросы для оценки и самооценки уровня усвоения знаний, сформированности умений.

Методические указания по организации СРС на каждом уровне обучения должны способствовать непрерывному развитию у них рациональных приемов познавательной деятельности в процессе изучения конкретных дисциплин. Основное назначение всех методических указаний – дать возможность каждому студенту перейти от деятельности, выполняемой под руководством преподавателя, к деятельности, организуемой самостоятельно, к полной замене контроля со стороны преподавателя самоконтролем. Поэтому они должны содержать подробное описание рациональных приемов выполнения перечисленных видов деятельности, критериев оценки выполненных работ, а также рекомендации по эффективному использованию консультаций и по работе при подготовке и сдаче экзаменов.

Каждый из названных учебно-методических материалов влияет в большей степени на один из этапов усвоения знаний и видов деятельности, но одновременно способствует осуществлению других этапов и более полной реализации их задач.

Так, программа с четко выделенной целью и перечнем задач, влияющих на ее достижение, определяет мотивационный этап и способствует организации деятельности на всех остальных, указывая последовательность изучаемых разделов, сроки контроля. Учебная литература служит информационной основой, прежде всего для ориентировочного этапа. В то же время работа с литературой усиливает мотивацию, если изложение материала по уровню сложности соответствует зоне ближайшего развития студента; помогает осуществлению исполнительского и контрольного этапов, если в ней указаны особенности выполнения заданий, даны контрольные вопросы.

Задания для самостоятельной работы организуют исполнительский этап, задавая последовательность видов деятельности, необходимых для усвоения знаний и приобретения умений. Так как задания содержат средства контроля, то они определяют и контрольный этап.

Вопросы и задачи в заданиях требуют от студента не только воспроизведения знаний, но и проявления творчества, формируют и развивают его опыт творческой деятельности. Это расширяет основы мотивации, усиливает и укрепляет ее. В целом содержание и структура

заданий, отвечающих перечисленным требованиям, позволяет регулярно занимающимся студентам получать удовлетворение от самостоятельно выполненной работы. Такой эмоциональный фон, в свою очередь, формирует положительное отношение к выполненному делу, а через него – и к изучаемой дисциплине.

Методические указания по организации СРС способствуют грамотному и рациональному осуществлению исполнительского этапа, обеспечивают контрольный этап. Для этого виды деятельности, активно используемые при изучении дисциплины, должны быть подробно описаны в указаниях с выделением последовательности действий и даже операций. В этом случае сами виды деятельности становятся предметом изучения, что дает верное направление ориентировочному этапу и, безусловно, усиливает мотивацию обучения. Работа студентов с такими методическими указаниями позволяет им уже при изучении общенаучных дисциплин усвоить полную и обобщенную ориентировочную основу для каждого из таких видов деятельности, как работа с литературой, проведение эксперимента, решение задач.

Таким образом, создание для каждой учебной дисциплины рассмотренного комплекта учебно-методических материалов обеспечивает обязательные этапы усвоения знаний, видов деятельности, опыта творчества, Снабжение таким комплектом каждого студента – необходимое условие полной реализации в процессе обучения всех возможностей СРС как вида познавательной деятельности, метода и средства учения и преподавания.

7. Самостоятельная работа студента - необходимое звено становления исследователя и специалиста

Прогресс науки и техники, информационных технологий приводит к значительному увеличению научной информации, что предъявляет более высокие требования не только к моральным, нравственным свойствам человека, но и в особенности, постоянно возрастающие требования в области образования – обновление, модернизация общих и профессиональных знаний, умений специалиста.

Всякое образование должно выступать как динамический процесс, присущий человеку и продолжающийся всю его жизнь. Овладение научной мыслью и языком науки является необходимой составляющей в самоорганизации будущего специалиста исследователя. Под этим понимается не столько накопление знаний, сколько овладение

научно обоснованными способами их приобретения. В этом, вообще говоря, состоит основная задача вуза.

Специфика вузовского учебного процесса, в организации которого самостоятельной работе студента отводятся все больше места, состоит в том, что он является как будто бы последним и самым адекватным звеном для реализации этой задачи. Ибо во время учебы в вузе происходит выработка стиля, навыков учебной (познавательной) деятельности, рациональный характер которых будет способствовать постоянному обновлению знаний высококвалифицированного выпускника вуза.

Однако до этом пути существуют определенные трудности, в частности, переход студента от синтетического процесса обучения в средней школе, к аналитическому в высшей. Это связано как с новым содержанием обучения (расширение общего образования и углубление профессиональной подготовки), так и с новыми, неизвестными до сих пор формами: обучения (лекции, семинары, лабораторные занятия и т.д.). Студент получает не только знания, предусмотренные программой и учебными пособиями, но он также должен познакомиться со способами приобретения знаний так, чтобы суметь оценить, что мы знаем, откуда мы это знаем и как этого знания мы достигли. Ко всему этому приходят через собственную самостоятельную работу.

Это и потому, что самостоятельно приобретенные знания являются более оперативными, они становятся личной собственностью, а также мотивом поведения, развивают интеллектуальные черты, внимание, наблюдательность, критичность, умение оценивать. Роль преподавателя в основном заключается в руководстве накопления знаний (по отношению к первокурсникам), а в последующие годы учебы, на старших курсах, в совместном установлении проблем и заботе о самостоятельных поисках студента, а также контролирования за их деятельностью. Отметим, что нельзя ограничиваться только приобретением знаний предусмотренных программой изучаемой дисциплины, надо постоянно углублять полученные знания, сосредотачивая их на какой-нибудь узкой определенной области, соответствующей интересам студента. Углубленное изучение всех предметов, предусмотренных программой, на практике является возможным, и хорошая организация работы позволяет экономить время, что создает условия для глубокого, систематического, заинтересованного изучения самостоятельно выбранной студентом темы.

Конечно, все советы, примеры, рекомендации в этой области, даваемые преподавателем, или определенными публикациями, или другими источниками, не гарантируют

никакого успеха без проявления собственной активности в этом деле, т.е. они не дают готовых рецептов, а должны способствовать анализу собственной работы, ее целей, организации в соответствии с индивидуальными особенностями. Учитывая личные возможности, существующие условия жизни и работы, навыки, на основе этих рекомендаций, возможно, выработать индивидуально обоснованную совокупность методов, способов, найти свой стиль или усовершенствовать его, чтобы изучив определенный материал, иметь время оценить его значимость, пригодность и возможности его применения, чтобы, в конечном счете, обеспечить успешность своей учебе с будущей профессиональной деятельности.

Список используемой литературы

1. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ СТАНДАРТ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ направление подготовки бакалавриата 21.03.02 «Землеустройство и кадастры.

2. Методические рекомендации для студентов по организации самостоятельной работы./ ГОУ ВПО «Московский государственный гуманитарный университет
им. М.А. Шолохова». 2010г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ Е.А. Удоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

ЭКОНОМИКА

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Авторы: Мочалова Л.А., д.э.н., доцент; Комарова О.Г.

Одобрены на заседании кафедры

Экономики и менеджмента
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)

Мочалова Л.А.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 9 от 11.04.2019
(Дата)

Рассмотрены методической комиссией

Факультета геологии и геофизики
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)

Протокол №8 от 19.04.2019
(Дата)

Екатеринбург
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ……..……...…….5

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ…….18

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ……..…29

ПОДГОТОВКА ДОКЛАДА……..…….……32

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ……36

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ……38

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ……...…….88

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ……89

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……..100

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении - это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества специалиста и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знаний должна соответствовать уровню развития студентов;
- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;
- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны – это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе лекций, практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планиро-

вание самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «Экономика» обращают внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к сдаче экзамена.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Экономика» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т.ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- ответы на вопросы для самопроверки (самоконтроля);
- подготовка к практическим (семинарским) занятиям (в т.ч. подготовка доклада, подготовка к выполнению практико-ориентированного задания);
- подготовка к тестированию;
- подготовка к экзамену.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Раздел 1. ВВЕДЕНИЕ В ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ТЕОРИЮ

1.1. Экономическая теория: предмет и метод, основные этапы развития

1. Дайте определение понятию «экономика».
2. Что изучает экономическая теория? Охарактеризуйте различные подходы к предмету экономической теории.
3. Назовите основные отличия между макро- и микроэкономикой. В чем проявляется их взаимосвязь?
6. Перечислите и охарактеризуйте функции экономической теории.
7. Какова взаимосвязь между экономическими фактами, теорией и государственной экономической политикой?
8. Охарактеризуйте методы экономической теории.
9. Дайте определение экономическим категориям и законам. Какое значение они имеют с точки зрения познания экономической действительности? Претерпевают ли они изменения в историческом аспекте?
10. В чем заключается сущность меркантилисткой концепции? Каковы основные цели, рекомендации, положения школы?
11. Что такое физиократизм, каковы его основные идеи?
12. В чем заключается сущность концепции А. Смита об «экономическом человеке» и «невидимой руке»?
13. В чем заключаются характерные особенности классической политической экономии, раскройте ее роль и значение.
14. Каковы исторические предпосылки возникновения марксизма?
15. Что такое маржинальная революция и каковы основные положения маржиналистов?
16. Обрисуйте основные особенности институционального направления в экономической науке.
17. В чем отличие концепции, выдвинутой Дж. М. Кейнсом, от неоклассической теории?
18. Что такое чикагский монетаризм? Охарактеризуйте его основные положения.
19. Охарактеризуйте понятие «потребность». На какие группы делятся потребности экономических субъектов?
20. Что такое «благо»? Охарактеризуйте виды благ, приведите примеры.
21. Кто такие экономические субъекты (агенты)? Охарактеризуйте их функции в экономическом кругообороте.
22. Изобразите простую модель экономического кругооборота. Назовите факторы, которые не учитываются в данной модели.
23. Каково предназначение экономических ресурсов?
24. Какие вы знаете факторы производства?
25. Сформулируйте сущность основной проблемы экономической теории.
26. Почему кривая производственных возможностей имеет выпуклый вид по отношению к началу координат? Что означала бы прямая, а не выпуклая линия производственных возможностей?
27. Какой вид хозяйствования является эффективным, а какой неэффективным? Приведите конкретные примеры.
28. Дайте определение понятию «экономические интересы». Охарактеризуйте проблему упорядочения личных, коллективных и общественных интересов.

1.2. Сущность и типы экономических систем. Отношения собственности

1. Дайте определение понятию «экономическая система».

2. Охарактеризуйте способы координации выбора, реализуемого экономическими субъектами, которые осуществляют деятельность в определенной экономической системе.

3. Что собой представляют издержки эксплуатации экономической системы? Назовите их виды. Проведите аналогию между данными издержками в экономике и трением в физике.

4. Назовите основные элементы экономической системы с точки зрения формационного подхода, объясните их экономическую сущность и охарактеризуйте взаимосвязи между ними.

5. Что следует понимать под термином «воспроизводство»? Охарактеризуйте виды воспроизводства.

6. Объясните значимость каждой стадии воспроизводственного цикла: производства, распределения, обмена и потребления. В чем проявляется диалектическая связь производства и потребления?

7. Дайте определение понятию «собственность». Охарактеризуйте объективную и субъективную стороны отношений собственности.

8. Имеется ли разница между содержанием терминов «право собственности» и «отношения собственности»?

9. Чем различаются владение, распоряжение, пользование объектом собственности? Кто является полным собственником, а кто – частичным?

10. Назовите достоинства и недостатки частной и государственной форм собственности. Охарактеризуйте их разновидности.

11. Назовите основные критерии отличия традиционной, администра-тивно-командной и рыночной экономики. Каким образом в каждой из перечисленных экономических систем происходит решение трех основных вопросов экономики: ЧТО, КАК и ДЛЯ КОГО производить?

12. Что следует понимать под такой системой хозяйства как смешанная экономика? Охарактеризуйте известные вам национальные модели смешанной экономики (например, американскую, шведскую, японскую, южнокорейскую, российскую).

13. Что такое переходная экономика?

14. Охарактеризуйте типы переходной экономики.

15. Каковы цели и задачи переходной экономики в России в 90-е годы XX в.?

16. Каковы достоинства и недостатки административно-командной системы?

1.3. Общая характеристика рыночной системы хозяйствования

1. Дайте определение рынку. Назовите основополагающие предпосылки и условия его формирования и развития.

2. Что собой представляет процесс разделения труда? Назовите его виды и формы проявления. С чем связано то, что с расширением и углублением разделения труда одновременно развертывается процесс его обобществления?

3. Охарактеризуйте сущность общественного разделения труда и специализации, которые являются важнейшими условиями возникновения рынка.

4. Что собой представляет товарное производство?

5. Чем отличаются друг от друга понятия «благо» и «товар»? Как можно объяснить то, что не всякое благо, имеющее потребительскую ценность, является товаром?

6. Что собой представляет меновая стоимость товара? Охарактеризуйте подходы к ее определению.

7. Чем отличаются друг от друга формы простого товарного обмена и товарного обращения?

8. Почему для развития рынка важна экономическая обособленность, или хозяйственная автономия, рыночных субъектов?

9. Каким образом свободный обмен экономическими ресурсами способствует повышению эффективности рыночной экономики?

10. Охарактеризуйте основные элементы рынка (цена, спрос, предложение, конкуренция).

11. Что означает понятие «невидимая рука рынка»?

12. Назовите различные виды рынка в соответствии с различными классификационными признаками.

13. Охарактеризуйте достоинства рыночной экономики по сравнению с другими экономическими системами.

14. Назовите проблемы, которые рынок не может решить? Каковы причины его несостоятельности?

15. Необходимо ли вмешательство государства в рыночную экономику? Если да, то в чем оно должно заключаться?

16. Что собой представляет инфраструктура рынка? Каково ее предназначение? Назовите элементы инфраструктуры современного рынка.

17. Охарактеризуйте направления и задачи преобразования административно-командной системы в рыночную.

18. Объясните экономическую роль приватизации в переходной экономике.

19. Назовите цели, способы и этапы приватизации в России.

20. Объясните смысл следующего утверждения: «Зачастую то, что является оптимальным с позиции рынка, является социально неприемлемым».

21. Что собой представляет социальная политика государства? Каковы ее основные направления и формы реализации?

22. Какая форма социальной политики государства экономически более приемлема: активная или пассивная? Поясните свой ответ.

23. Что такое социальная справедливость? Существуют ли противоречия между понятиями «распределение доходов» и «социальная справедливость» в условиях рыночной и административно-командной экономики? Если да, то какие?

24. Охарактеризуйте термин «благосостояние». Каковы его экономический и этический аспекты?

25. Проанализируйте следующее утверждение американского экономиста П. Хейне: «Поскольку в действительности доход не распределяется, он, по существу, не может и перераспределяться… Самое большое, что может сделать государство, – это изменить правила игры в надежде обеспечить более желанный результат». Ответьте, почему же мы продолжаем использовать выражение «государственная политика перераспределения доходов»?

26. Проклассифицируйте доходы по различным признакам.

27. Охарактеризуйте различные концепции справедливого распределения доходов, указав их достоинства и недостатки.

28. В чем заключается отличие функционального и персонального распределений доходов?

29. Как изменит конфигурацию кривой Лоренца социальная политика государства, направленная на увеличение трансфертов для малообеспеченных семей и повышение ставок налогообложения доходов наиболее обеспеченной доли населения?

30. Согласны ли вы со следующим утверждением: «Чем ниже коэффициент Джини, тем в большей степени мы можем утверждать, что распределение доходов осуществляется в условиях совершенной конкуренции»? Аргументируйте свой ответ.

Раздел 2. ОСНОВЫ МИКРОЭКОНОМИКИ

2.1. Спрос и предложение. Формирование рыночной цены

1. Дайте определение понятиям «спрос» и «объем спроса».

2. Используя термин «платежеспособный спрос», поясните, чем отличаются друг от друга такие экономические категории, как «производитель» и «продавец», «потребитель» и «покупатель».

3. Сформулируйте закон спроса и назовите исключения из него.

4. Перечислите неценовые факторы, влияющие на объем спроса.

5. Чем отличается движение по кривой и сдвиг кривой спроса?

6. Дайте определение понятиям «предложение» и «объем предложения».

7. Сформулируйте закон предложения. Поясните, почему кривая предложения является восходящей.

8. Назовите неценовые факторы, влияющие на объем предложения.

9. Охарактеризуйте подходы Л. Вальраса и А. Маршалла к установлению рыночного равновесия. Объясните различия между ними.

10. Что означает двойное и множественное рыночное равновесие?

11. Назовите случаи отсутствия рыночного равновесия в статичной модели.

12. В чём заключается отличие между статичной и динамической моделями рыночного равновесия?

2.2. Теория потребительского выбора

1. Сформулируйте три объяснения закона спроса.

2. Дайте определение понятию «полезность». В каких единицах измеряется полезность?

3. Что вы понимаете под термином «предельная полезность»?

4. Какова динамика предельной полезности по мере увеличения количества потребляемого блага?

5. Может ли предельная полезность принимать отрицательное значение?

6. Чем, по-вашему, объясняется сходство кривой предельной полезности и кривой рыночного спроса (обе имеют отрицательный наклон)? Может ли кривая спроса иметь положительный наклон?

7. На основании различия понятий «общая» и «предельная полезность» объясните «парадокс Смита»: почему вода, столь полезная для человека, стоит так дешево, а алмаз, чья польза намного меньше для удовлетворения жизненных потребностей, стоит так дорого?

8. Объясните следующее утверждение. «Не потому дорог бензин, что высоки затраты на добычу нефти, а, наоборот, из-за высокой ценности для автомобилистов бензина будут высоки и затраты на добычу нефти».

9. Охарактеризуйте закон убывающей предельной полезности. Как может быть использован данный закон при объяснении потребительского поведения?

10. Сформулируйте правило максимизации общей полезности.

11. Охарактеризуйте смысл эффектов дохода и замещения. В каком случае они объясняют действие закона спроса.

12. Что собой представляют товары Гиффена?

13. Какие эффекты взаимного влияния потребителей Вы знаете?

14. Что собой представляет излишек потребителя? Каких видов он бывает и как рассчитывается?

2.3. Производство экономических благ. Издержки и прибыль предприятия

1. Охарактеризуйте сущность деятельности предприятия.

2. Назовите виды предприятий в соответствии с различными классификационными признаками.

3. Почему, по Вашему мнению, предприятия объединяются? Какие формы объединения предприятий Вы знаете?

4. Каково предназначение производственной функции? Претерпевает ли она изменение при совершенствовании технологии производства?

5. Свяжите между собой понятия «масштаб производства» и «предельная производительность фактора». Что такое постоянная, возрастающая и убывающая отдача от масштаба?

6. Сформулируйте правило использования факторов производства.

7. Что собой представляет изокванта? Назовите и поясните свойства изокванты. Каких видов она бывает?

8. Какие издержки производства являются внешними (явными), а какие - внутренними (неявными)? Приведите примеры.

9. Охарактеризуйте различия между следующими понятиями: «бухгалтерская прибыль», «экономическая прибыль», «нормальная прибыль».

10. Если предприятие имеет нулевой объем производства, то будет ли оно иметь определенные затраты; если да, то какие?

11. На чем основано деление издержек производства на постоянные и переменные?

12. Объясните, почему равенство предельного дохода и предельных издержек является условием максимальной прибыли (минимальных убытков).

13. Объясните экономический смысл излишка производителя. Каких видов он бывает и как рассчитывается?

2.4. Предприятие в условиях совершенной и несовершенной конкуренции

1. Что следует понимать под рыночной структурой? Какие типы рыночных структур Вы знаете? В чем заключаются их особенности?

2. Что собой представляет модель предприятия? С какой целью она используется?

3. Назовите основные черты такой рыночной структуры, как совершенная (чистая) конкуренция.

4. Ответьте, почему предприятие, функционирующее в условиях совершенной конкуренции, называют «ценополучателем»?

5. Какую форму имеет кривая спроса на продукцию конкурентного предприятия?

6. Чем определяется угол наклона кривой общей выручки конкурентного предприятия? При каких условиях линия будет более крутой или более пологой (пунктирные линии)?

7. Может ли конкурентное предприятие влиять на величину своей общей выручки? Если да, то таким образом? Если нет, то почему?

8. Охарактеризуйте сущность чистой монополии. Есть ли реальные возможности существования данной рыночной структуры?

9. Зачем предприятие-монополист прибегает к снижению цен, ведь оно должно быть заинтересовано в максимально высокой цене?

10. Какие бывают входные барьеры для вступления в отрасль?

11. Почему в условиях чистой монополии кривая спроса и кривая предельного дохода не совпадают?

12. Что такое ценовая дискриминация? Назовите ее виды.

13. Назовите типичные черты олигополистического рынка. Приведите конкретные примеры олигополий.

14. Охарактеризуйте модели ценового поведения олигополистов.

15. На чем основана рыночная власть у предприятий – монополистических конкурентов: ведь их объемы производства и продаж, как правило, очень малы?

16. Охарактеризуйте ситуации равновесия монополистического конкурента в краткосрочном и долгосрочном периодах.

17. Дайте понятие дифференциации продукции. Назовите ее формы.

18. В чем проявляется влияние монополизма (несовершенной конкуренции) на интересы потребителей и интересы общества в целом?

19. Назовите основные направления антимонопольной политики государства.

2.5. Рынки факторов производства

1. Отметьте особенности рынков факторов производства по сравнению с рынками готовой продукции?
2. Кем и чем определяются спрос и предложение природных ресурсов на рынке?
3. В чем заключаются особенности труда по сравнению с другими факторами производства?
4. От чего зависит эластичность спроса на труд?
5. Почему формы кривых предложения одного работника и рыночного предложения труда неодинаковы?
6. Объясните экономическую сущность заработной платы. Что такое ставка заработной платы? Какие факторы лежат в основе дифференциации ставок заработной платы?
7. В чем главное отличие капитала от прочих факторов производства?
8. В чем разница между физическим и финансовым капиталом?
9. Объясните сущность амортизации. Почему амортизационные отчисления относятся к экономическим издержкам?
10. Назовите три сегмента рынка капиталов. Что является ценой на данных сегментах рынка? Кто обеспечивает на них спрос и предложение?
11. Почему при принятии инвестиционных решений необходимо учитывать рыночную ставку процента? Объясните сущность процедуры дисконтирования при инвестировании.
12. В чем заключается специфика рынка природных ресурсов?
13. Объясните сущность экономической ренты.
14. Каковы причины возникновения дифференциальной ренты? Как определяется цена природного ресурса?
15. Охарактеризуйте сущность предпринимательства.
16. В чем заключаются особенности различных видов предпринимательства?
17. Какими специфическими чертами обладает предпринимательство как фактор производства, которые выделяют его из всего комплекса факторов производства?
18. Зависят ли способности к предпринимательству от следующих факторов: а) образования; б) национальности; в) климата, в условиях которого живет человек; г) наследственности; д) социально-общественного устройства страны?
19. Какие функции по отношению к предпринимательству выполняет прибыль? Охарактеризуйте факторы экономической прибыли.
20. Предпринимательство связано с риском. Ответьте, с чем конкретно связан этот риск и какие существуют способы по его снижению.
21. Что такое юридическое лицо? Каковы признаки предприятия как юридического лица?
22. В чем заключается смысл существования предприятия в соответствии с технологическим и институциональным подходами?
23. Назовите достоинства и недостатки следующих форм предпринимательства: а) индивидуального предприятия; б) партнерства (хозяйственного товарищества); в) корпорации (хозяйственного общества). Можно ли назвать одну из данных форм наиболее оптимальной для ведения бизнеса?
24. Выделите основные особенности организационно-правовых форм предпринимательской деятельности в России.
25. Чем отличаются цели создания коммерческих и некоммерческих организаций?
26. Объясните роль малых, средних и крупных предприятий в экономике. Каково распределение функций между ними с точки зрения развития экономики?

27. Опишите порядок создания и регистрации нового предприятия в России? Какие трудности в данном случае могут возникнуть? Какие ресурсы необходимы?

28. Охарактеризуйте понятие «банкротство». Какова процедура банкротства предприятий в России? Что такое санация? Что включают в себя мероприятия по санации предприятия?

29. Дайте определение терминам «управление» и «менеджмент».

30. Назовите функции, уровни и основные элементы менеджмента на предприятии.

Объясните смысл следующих понятий: диверсификация производства, концентрация производства, централизация производства?

Раздел 3. ОСНОВЫ МАКРОЭКОНОМИКИ

3.1. Национальная экономика: цели и результаты развития

1. Дайте определение макроэкономики. В чем специфика объекта её изучения?
2. Как можно объяснить возникновение макроэкономики в 1930-х гг. XX века? Какое событие в это время вызвало к ней особый интерес?
3. Назовите основные макроэкономические цели. С помощью каких инструментов макроэкономической политики они достижимы?
4. Что такое макроэкономическая модель? Насколько детально макроэкономическая модель должна отражать реальность?
5. Объясните сущность следующих терминов: эндогенные переменные, экзогенные переменные; переменные потока, переменные запаса.
6. Опишите секторальную структуру национальной экономики.
7. Что собой представляют модели закрытой и открытой экономики?
8. Назовите основные формы результатов функционирования национальной экономики. В чем заключаются их особенности?
9. Дайте определение понятию «национальное богатство». Что является источником его возникновения?
10. Назовите основные макроэкономические показатели системы национальных счетов. Покажите взаимосвязь между ними.
11. Кто такие «резиденты» и «нерезиденты» страны?
12. Охарактеризуйте методы расчета валового внутреннего продукта.Почему при его расчете учитывается стоимость только конечной продукции?
13. Объясните смысл показателя «национальный доход» и опишите методику его расчета.
14. Поясните отличие личного дохода от личного располагаемого дохода.
15. В чем заключается проблема полноты учета всего совокупного общественного продукта в составе валового внутреннего продукта. Каким образом она решается?
16. Что собой представляет теневая (ненаблюдаемая) экономика и как можно учесть ее продукцию при расчете совокупного общественного продукта?
17. В чем различие между номинальным и реальным ВВП?
18. Какие индексы цен вы знаете? Опишите методику их расчета.
19. Охарактеризуйте отраслевую структуру национальной экономики.
20. Что собой представляет межотраслевой баланс? Каким образом и с какой целью он составляется?

3.2. Макроэкономическое равновесие и макроэкономическая динамика

1.Что собой представляет макроэкономическое равновесие? Охарактеризуйте ситуацию частичного и общего макроэкономического равновесия.

2. Охарактеризуйте взгляды кейнсианцев и классиков к проблеме обеспечения стабильности макроэкономического равновесия.

3.Каковы подходы кейнсианской и классической школ к анализу экономики в краткосрочном и долгосрочном периодах? Дайте определение понятию «гистерезис».

4.Дайте определение совокупному спросу. Назовите его составляющие элементы. Какие факторы вызывают динамику совокупного спроса?

5.Дайте определение совокупному предложению. Какие факторы вызывают динамику совокупного предложения?

6.В чем заключается особенность синтетической кривой предложения?

7.Какие причины могут привести к смещению кривой совокупного предложения?

8. Ситуацию макроэкономического равновесия можно графически проиллюстрировать при помощи следующих моделей: 1) «кейнсианский крест»; 2) модель *AD-AS*. В чем вы видите сходства и различия двух указанных моделей?

9.Согласны ли вы со следующим высказыванием: «Политика, направленная на стимулирование совокупного спроса, всегда ведет к инфляции»?

10. Чем определяется наклон кривой потребления и кривой сбережений?

11. Что такое предельная склонность к потреблению и предельная склонность к сбережению? Как объяснить то, что их сумма равна единице?

12. Что собой представляют инвестиции? Назовите факторы, влияющие на инвестиции.

13. Какая из составных частей совокупных расходов (абстрагируемся от государственных расходов и чистого экспорта) отличается большей нестабильностью – потребительские расходы или инвестиционные расходы? Аргументируйте свой ответ.

14. В чем вы видите разницу между планируемыми и фактическими инвестициями? Почему вообще возникает это расхождение?

15. Что такое инфляционный и дефляционный разрыв?

16. Что означает выражение «автономные инвестиции»? От чего независимы такого рода инвестиции?

17. Объясните действие эффекта мультипликатора автономных расходов. Ответьте, почему увеличение любого из компонентов автономных расходов вызывает рост совокупного дохода на величину, большую, чем сам прирост расходов.

18. Каким образом мультипликатор автономных расходов связан с предельной склонностью к потреблению?

19. Каким образом проявляет себя эффект мультипликатора на различных участках кривой совокупного предложения: а) при ситуации, далекой от состояния полной занятости;б) при состоянии, приближающемся к ситуации полной занятости;в) при состоянии полной занятости?

20. В чем заключается «парадокс бережливости»? Почему он проявляет себя лишь в условиях экономики с неполной занятостью?

21. Что включает в себя понятие «макроэкономическая динамика»?

22. В чем проявляются циклические колебания экономики? С помощью каких показателей можно охарактеризовать экономическую конъюнктуру?

23. В чем отличие экономического цикла от тренда? Изобразите их графически.

24. Охарактеризуйте фазы экономического цикла.

25. Какие вы знаете виды экономических циклов в зависимости от продолжительности? Противоречат ли они друг другу?

26. Охарактеризуйте факторы экономических циклов и соответствующие методологические подходы к их рассмотрению.

27. Приведите примеры нововведений, в различной степени влияющих на экономическую конъюнктуру.

28. Что такое инфляция? Чем отличается инфляция от обычного повышения цен?

29. В чем проявляется подавленная инфляция? В чем вы видите смысл эпитета «подавленная»? Как можно объяснить причины «брежневской» стабильности цен; что стало результатом этого?

30. Каковы проявления открытой инфляции? С помощью каких показателей ее можно измерить и проанализировать?

31. Назовите основные причины инфляции.

32. В чем принципиальное различие между инфляцией спроса и инфляцией издержек? Как бы вы изобразили графически инфляцию спроса и инфляцию издержек с помощью кривых совокупного спроса и совокупного предложения?

33. В чем вы видите различия между умеренной, галопирующей и гиперинфляцией? Каковы критерии их разграничения? Каков критерий гиперинфляции по Кейгену?

34. Что собой представляют инфляционные ожидания? В чем различие концепций адаптивных и рациональных инфляционных ожиданий?

35. Что демонстрирует кривая Филлипса? Как выглядит данная кривая в краткосрочном и долгосрочном периодах?

36. Каковы социально-экономические последствия инфляции?

37. Назовите методы борьбы с инфляцией в соответствии со стадиями инфляционного процесса.

38. Что понимается под экономическим ростом?

39. Назовите основные факторы экономического роста.

40. Чем определяются экстенсивный и интенсивный типы развития экономики различных стран?

41. Назовите показатели экономического роста.

42. В чем суть модели экономического роста Харрода-Домара? Что такое гарантированный и естественный темп прироста?

43. В чем заключается ограниченность модели Харрода-Домара? Каким образом в модели Солоу преодолена ограниченность модели Харрода-Домара?

44. В чем суть золотого правила накопления?

45. Каким образом увеличение темпа роста населения влияет на равновесный экономический рост?

46. Как научно-технический прогресс влияет на равновесный экономический рост? Перечислите виды нейтрального научно-технического прогресса и прокомментируйте их.

47. Назовите меры государства, способствующие росту экономики.

3.3. Деньги, кредит, банки. Кредитно-денежная политика

1. Что такое деньги?
2. Назовите и дайте объяснение функциям денег.
3. Объясните, почему при использовании денег в качестве орудия обмена издержки обращения ниже, чем при использовании бартера.
4. Как влияет инфляция на полезность денег как меры стоимости и средства накопления?
5. Опишите историю появления денег. Охарактеризуйте различные формы денег в соответствии с эволюцией их развития.
6. Каковы преимущества бумажных денег по сравнению с монетами, изготовленными из драгоценных металлов? Каковы преимущества золотых и серебряных монет? Объясните, почему бумажные деньги вытеснили из обращения золотые и серебряные монеты.
7. Охарактеризуйте особенности наличных и безналичных денег.
8. Что собой представляет денежное обращение? Какие основные показатели характеризуют денежное обращение?
9. Представьте структуру денежной массы с учетом ликвидности ее элементов.
10. Сформулируйте закон денежного обращения. Какие факторы влияют на количество денег в обращении?
11. Какой основной фактор определяет: а) спрос на деньги для сделок; б) спрос на деньги как средство накопления?

12. Как определяется равновесная ставка процента на денежном рынке? Какое воздействие на спрос на деньги для сделок и равновесную ставку процента может оказать: а) расширение использования кредитных карточек; б) уменьшение промежутка между выплатами очередной заработной платы рабочим; в) увеличение номинального ВВП?

13. Допустим, что денежный рынок изначально находился в состоянии равновесия, а затем увеличилось предложение денег. Как при этом изменилась равновесная процентная ставка? Какое влияние оказало ее изменение на объем производства, занятости, уровень цен, уровень доходности других финансовых активов? Что произойдет при уменьшении предложения денег?

14. Охарактеризуйте модель одновременного равновесия на рынках благ и денег.

15. Какие факторы являются постоянными, а какие – переменными при построении линий *IS* и *LM*?

16. Что собой представляет кредит? Какие формы кредита вы знаете?

18. Что способствует возникновению предложения и спроса на кредит?

19. Охарактеризуйте структуру современной кредитно-денежной системы. Назовите ее основные функции.

20. Каковы основные функции Центрального банка в современной кредитно-денежной системе?

21. Что собой представляет кредитно-денежная политика Центрального банка?

22. Как инструменты кредитно-денежной политики могут повлиять на ставку процента и предложение денег?

23. Назовите основные виды кредитно-денежной политики.

24. Что собой представляют коммерческие банки? Какие функции они выполняют в рамках современной кредитно-денежной системы?

25. Охарактеризуйте операции коммерческих банков.

26. Что такое банковские резервы?

27. В чем заключается сущность дилеммы «прибыльность – ликвидность», стоящей перед коммерческими банками?

28. Охарактеризуйте процесс создания кредитных денег коммерческими банками. Как наличие избыточных резервов влияет на способность банков создавать деньги? Как стремление к обеспечению ликвидности влияет на способность банков создавать деньги?

29. Что такое денежный мультипликатор и как он рассчитывается?

30. Какую функцию выполняют специализированные кредитно-финансовые учреждения в кредитно-денежной системе?

3.4. Государственные финансы и налогообложение. Бюджетно-налоговая политика

1. Охарактеризуйте сущность финансов и их функции в экономике страны.
2. Опишите структуру финансовой системы государства.
3. Объясните значение государственных финансов с точки зрения выполнения государством своих экономических, политических, социальных и иных функций.
4. Назовите основные направления расходования государственных средств и источники их финансирования.
5. Составьте основное уравнение государственных расходов и доходов.
6. Что собой представляет государственный бюджет? Объясните необходимость формирования госбюджета, опишите его структуру.
7. Охарактеризуйте процедуру принятия государственного бюджета в развитой стране.
8. Что собой представляют внебюджетные фонды? Приведите примеры внебюджетных фондов в России.
9. Охарактеризуйте понятие «бюджетный федерализм». Каким образом формируются бюджеты разных уровней и как происходит расходование привлеченных средств?

10. Какие регионы в России являются регионами-донорами, а какие – дотационными регионами?

11. Что означают понятия: «общий профицит», «первичный профицит», «общий дефицит» и «первичный дефицит»?

12. Назовите причины и виды бюджетного дефицита. Какие существуют способы сокращения бюджетного дефицита и каковы последствия их применения для национальной экономики (в частности, в чем выражается эффекты монетаризации и вытеснения)?

13. Что собой представляет государственный долг? К каким последствиям может привести внутренний и внешний государственный долг? Может ли государство стать банкротом?

14. Существует ли, по вашему мнению, проблема перемещения государственного долга, возникающего в результате заимствований на внешних и внутренних финансовых рынках, на будущие поколения?

15. Что собой представляет управление государственным долгом? В чем проявляется цикличность данного процесса? Какие факторы существенно влияют на него?

16. Проклассифицируйте государственные ценные бумаги в соответствии с различными признаками. Может ли вызвать выпуск государственных ценных бумаг инфляционные процессы в стране?

17. Охарактеризуйте сущность налогов и их роль в национальной экономике.

18. Выскажите собственное отношение к следующим высказываниям: а) «Налоги – это дозволенная форма грабежа» (Ф. Аквинский); б) «Налоги для тех, кто их выплачивает, – признакне рабства, а свободы» (А. Смит); в) «Налоги – это то, чем мы оплачиваем цивилизованное общество» (О. Холмс).

19. Назовите принципы, которыми необходимо руководствоваться при построении налоговой системы страны.

20. Охарактеризуйте налоговые теории равенства выгод и равенства жертв с точки зрения их достоинств и недостатков. Приведите примеры из реальной жизни.

21. Охарактеризуйте основные элементы налоговой системы страны.

22. Дайте классификацию налогов по различным признакам. Приведите конкретные примеры различных видов налогов из зарубежной и отечественной практики.

23. Назовите отличительные особенности прямых и косвенных налогов.

24. Обоснуйте ваше мнение относительно характера налогообложения в России – прогрессивный, пропорциональный или регрессивный.

25. В чем заключается проблема перемещения налогов? По какому из перечисленных налогов налоговое бремя может быть переложено по закону с плательщика налога на носителя налога: налог на доходы физических лиц, налог на имущество физических лиц, акцизы, налог на добавленную стоимость, налог на прибыль организаций?

26. Какая закономерность описывается кривой Лаффера?

27. Объясните, как Вы понимаете выражение «налоговая лазейка». Несут ли один и тот же социально-экономический смысл понятия «налоговая оптимизация» и «налоговое правонарушение»?

28. Как влияет размер налогов на величину ВВП? Охарактеризуйте различные подходы к данной проблеме.

29. Охарактеризуйте сущность бюджетно-налоговой политики. Назовите ее основные инструменты.

30. Что собой представляет дискреционная бюджетно-налоговая политика? Каковы пути ее реализации? В чем заключаются ее недостатки?

31. Каковы особенности недискреционной бюджетно-налоговой политики? Объясните смысл действия встроенных стабилизаторов на экономическую конъюнктуру?

32. В чем заключаются основные отличия между стимулирующей и сдерживающей бюджетно-налоговой политикой?

3.5. Мировая экономика и внешнеэкономическая политика

1. Охарактеризуйте механизм функционирования мировой экономики.
2. Каковы достоинства и недостатки открытой и закрытой экономики? С чем связана тенденция повышения открытости экономики стран?
3. Назовите виды международных экономических отношений.
4. В чем проявляется международное разделение труда? Какие факторы оказывают на него влияние? С помощью каких показателей можно определить уровень участия страны в международном разделении труда?
5. Охарактеризуйте меркантилистскую теорию международной торговли. В чем заключается ее ограниченность?
6. Сформулируйте принцип абсолютного преимущества Смита и принцип сравнительного преимущества Рикардо. Если страна имеет абсолютное преимущество в производстве какого-то товара, означает ли это, что она имеет и сравнительное преимущество в его производстве?
7. Сформулируйте теорему международной торговли Хекшера-Олина.
8. В чем заключается парадокс Леонтьева? Почему его нельзя считать полным опровержением теории Хекшера-Олина?
9. Охарактеризуйте сущность двух видов внешнеторговой политики (фритрейдерства и протекционизма) с точки зрения достоинств и недостатков. Какие могут существовать тарифные и нетарифные ограничения при реализации политики протекционизма?
10. Что такое платежный баланс и для чего он составляется? В чем заключается смысл системы двойной записи при его составлении? Какие операции регистрируются по кредиту,а какие – по дебету?
11. Охарактеризуйте структуру платежного баланса. Какой баланс называется активным, а какой – пассивным?
12. Дайте определение понятиям «валюта», «валютный рынок», «валютная система», «валютная котировка», «валютный курс». Поясните влияние девальвации и ревальвации валюты на экономику страны.
13. Каким образом определяются номинальные и реальные валютные курсы? В чем заключается суть паритета покупательной способности?
14. Сравните системы фиксированных и плавающих валютных курсов. Каковы достоинства и недостатки каждой из них?
15. Проанализируйте этапы формирования мировой валютной системы. Каковы их особенности? Как решается проблема дефицита платежного баланса в условиях: Золотого стандарта, Бреттон-Вудской системы, Ямайской системы?
16. Если курс национальной валюты повысится (понизится), как это скажется на условиях экспортной и импортной деятельности?
17. Что такое «конвертируемость национальной валюты»? Какие выделяются виды валют в зависимости от их конвертируемости? Приведите примеры.
18. В чем заключается смысл мировой экономической интеграции? Назовите ее формы. Приведите примеры.
19. Охарактеризуйте этапы формирования Европейского союза. В чём заключается смысл развития данной интеграционной группировки?
20. Охарактеризуйте деятельность международных организаций с точки зрения выполнения ими функций по мониторингу и регулированию важнейших процессов мировой экономики.

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. ВВЕДЕНИЕ В ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ТЕОРИЮ

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ – это наука, изучающая и формирующая теоретические представления об экономических процессах и явлениях, о функционировании хозяйства, об экономических отношениях, которые основаны, с одной стороны, на логике и историческом опыте, а с другой – на теоретических концепциях и взглядах ученых-экономистов.

ПРИКЛАДНАЯ ЭКОНОМИКА является *точной* наукой. Она ставит перед собой практические задачи управления хозяйственной деятельностью. Ей свойственны расчеты с использованием реальной информации, конкретных показателей экономической деятельности. Прикладная экономика приближена к микроэкономике.

МИКРОЭКОНОМИКА (приставка «микро-» означает «малый») изучает экономическое поведение индивидуумов, отдельных домохозяйств, предприятий и отраслей.

МАКРОЭКОНОМИКА (приставка «макро-» означает «большой») занимается изучением законов функционирования национальной экономики в целом, а также входящих в нее так называемых агрегатов – домохозяйств, предприятий, правительственного сектора – и связей между ними. Под агрегатами понимается совокупность отдельных экономических единиц (например, домохозяйств), которые в процессе экономического анализа рассматриваются как единое целое.

ПОЗИТИВНАЯ ЭКОНОМИКА ищет объективные, или научные, объяснения функционирования экономики; она имеет дело с тем, что было, есть или может быть.

НОРМАТИВНАЯ ЭКОНОМИКА предлагает рецепты действий, основанные на субъективных оценочных суждениях; она имеет дело с тем, что должно быть.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА представляет собой комплекс мер, направленных на регулирование поведения экономических агентов (потребителей и производителей) или последствий их деятельности с целью достижения поставленных экономических целей (экономической свободы, экономического роста, полной занятости, стабилизации цен, справедливого налогообложения и др.), в достижении которых заинтересованы все макроэкономические субъекты. При реализации экономической политики государство использует административные (прямые) и экономические (косвенные) методы воздействия, эффективность которых зависит от степени учета основных принципов экономической теории и результатов ее исследований.

МЕРКАНТИЛИЗМ (от итал. слова «мерканте» – купец, торговец) – направление экономической мысли, представители которого источник богатства видели во внешней торговле (за счет активного торгового баланса).

ФИЗИОКРАТИЗМ (от греч. слова «физиократия» – власть природы) – это теоретическая школа, которая получила развитие одновременно с меркантилизмом. Представители физиократизма центральную роль в экономике отводили сельскохозяйственному производству, выражали интересы крупного капиталистического фермерства, критиковали меркантилизм.

КЛАССИЧЕСКАЯ ПОЛИТИЧЕСКАЯ ЭКОНОМИЯ (от лат. слова «классикус» – образцовый) – экономическое течение, ориентированное на решение проблем свободного предпринимательства.

ПОЛИТИЧЕСКАЯ ЭКОНОМИЯ МАРКСИЗМА возникла в XIX в. в Германии. Основоположником экономического научного направления является Карл Маркс (основной труд – «Капитал»). Продолжил и развил идеи Маркса Фридрих Энгельс.

МАРЖИНАЛИЗМ (от фр. слова «мёжинал» – предельный, дополнительный) – направление экономической теории, которое широко использует в анализе экономических процессов и законов предельные величины. В качестве самостоятельного течения экономической мысли маржинализм оформился во второй половине XIX в. Маржинальная революю-

ция заключается в переходе от концепции классической экономической школы к неоклассической теории.

КЕЙНСИАНСТВО – учение, получившее развитие с середины 30-х гг. XX в.

ЧИКАГСКИЙ МОНЕТАРИЗМ – экономическая теория, основанная на определяющей роли денежной массы, находящейся в обращении, на состояние экономики в целом, а также на осуществлении политики стабилизации экономики, ее функционирования и развития.

РЕСУРСЫ – это совокупность всех материальных и нематериальных благ, используемых при создании экономических благ. Все ресурсы условно делят на два класса: свободные (неэкономические) и экономические.

СВОБОДНЫЕ (НЕЭКОНОМИЧЕСКИЕ) РЕСУРСЫ – ресурсы, находящиеся в неограниченном количестве и, как следствие, имеющие нулевую цену на рынке.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ – ресурсы, находящиеся в ограниченном количестве и, как следствие, имеющие определённую цену на рынке.

ФАКТОРЫ ПРОИЗВОДСТВА – экономические ресурсы, вовлеченные в производство.

ПОТРЕБНОСТЬ – это состояние неудовлетворенности или нужды человека в чём-либо. Именно потребности выступают внутренним побудительным фактором активной деятельности человека.

БЛАГО – это средство, непосредственно удовлетворяющее потребности. Количество потребностей наряду с редкостью (ограниченностью) блага определяет его ценность. Ценность блага есть то, что за него можно получить. Стоимость блага есть то, что за него надо отдать.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СУБЪЕКТЫ (АГЕНТЫ) – это участники экономических отношений, возникающих в процессе производства, распределения, обмена и потребления экономических благ.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ КРУГООБОРОТ – это движение экономических благ и ресурсов между экономическими субъектами, которое сопровождается денежными потоками (доходами и расходами).

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ СТОИМОСТЬ БЛАГА – это определённая жертва для собственника блага, которая выражается в количестве другого блага, от производства которого следует отказаться, чтобы произвести определенное количество данного блага.

ПРОИЗВОДСТВО представляет собой процесс взаимодействия средств производства и людей с целью получения необходимых экономических благ. В зависимости от вида удовлетворяемых создаваемым экономическим благом потребностей различают материальное и нематериальное производство.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ предполагает определенным образом осуществ-ляемое разделение созданного экономического блага между участниками процесса производства. В качестве известных способов распределения созданного блага выступают следующие: поровну, по потребностям, по затратам, по результатам труда, по вложенному капиталу.

ОБМЕН обеспечивает выход созданного экономического блага на рынок, связывая процессы производства и потребления. Он способствует перемещению в пространстве различных экономических благ таким образом, чтобы полнее удовлетворялись потребности экономических субъектов.

ПОТРЕБЛЕНИЕ представляет собой процесс использования экономического блага по назначению. Это конечная цель производства, его предпосылка и условие, а также собственно «производство» рабочей силы. В зависимости от функционального назначения потребляемого блага различают личное и производственное потребление.

СОБСТВЕННОСТЬ выражает объективно складывающиеся экономиче-ские отношения между людьми в процессе производства, распределения, обмена и потребления по поводу присвоения средств производства и произведенных благ.

ПРАВО СОБСТВЕННОСТИ – определенная совокупность правомочий, принадлежащих лицу-правообладателю.

ФОРМА СОБСТВЕННОСТИ – это вид собственности, характери-зуемый по признаку субъекта собственности.

ЧАСТНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ выступает в качестве собственности одного или группы членов общества.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СОБСТВЕННОСТЬ выступает в качестве собственности всех членов общества. В зависимости от уровня органов власти и управления, которые распоряжаются объектом собственности, выделяют следующие ее формы: федеральную, субфедеральную (региональную), местную (муниципальную).

РАЗДЕЛЕНИЕ ТРУДА – это исторический процесс обособления различных видов трудовой деятельности в самостоятельные или взаимосвязанные производства.

ТОВАРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО – это такая общественная форма производства, при которой блага производятся не для собственного потребления, а для удовлетворения потребностей других экономических субъектов.

РЫНОЧНАЯ СИСТЕМА ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ – это система взаимосвязей между экономическими субъектами, основанная на действии механизма саморегуляции, равноправии прав частных собственников, меновых отношениях и платности всех экономических благ.

ПРИВАТИЗАЦИЯ – передача государственной собственности в частные руки. Она способствует устранению фактической монополии государственной собственности, обеспечению многообразия и равноправия различных форм собственности.

Раздел 2. ОСНОВЫ МИКРОЭКОНОМИКИ

СПРОС (D) – обобщающий термин, описывающий поведение фактических и потенциальных покупателей товара.

ЭЛАСТИЧНОСТЬ СПРОСА ПО ЦЕНЕ ($E^D{}_P$) показывает, на сколько процентов изменится объем спроса на товар при изменении его цены на один процент при условии, что прочие факторы останутся неизменными.

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ЭЛАСТИЧНОСТЬ СПРОСА ($E^{DA}{}_{PB}$) показывает, на сколько процентов изменится объем спроса на товар А при изменении цены товара В на один процент при условии, что прочие факторы останутся неизменными.

ЭЛАСТИЧНОСТЬ СПРОСА ПО ДОХОДУ ($E^D{}_I$) показывает, на сколько процентов изменится объем спроса на товар при изменении величины доходов покупателей на один процент при условии, что прочие факторы останутся неизменными.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ (S) – обобщающий термин, описывающий поведение фактических и потенциальных продавцов товара.

ЭЛАСТИЧНОСТЬ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЦЕНЕ ($E^S{}_P$) показывает, на сколько процентов изменится объем предложения товара при изменении его цены на один процент при условии, что прочие факторы останутся неизменными.

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ЭЛАСТИЧНОСТЬ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ($E^{SA}{}_{PB}$) показывает, на сколько процентов изменится объем предложения товара A при изменении цены товара B на один процент при условии, что прочие факторы останутся неизменными.

ПОЛЕЗНОСТЬ (U) – это удовлетворение, получаемое людьми от потребления благ. Это понятие сугубо индивидуальное.

КРИВАЯ БЕЗРАЗЛИЧИЯ – это кривая, демонстрирующая все возможные наборы двух благ (A и B), дающие потребителю равный объем удовлетворения (т. е. они для него абсолютно равноценны).

БЮДЖЕТНАЯ ЛИНИЯ – это линия, показывающая различные наборы двух благ (*A* и *B*), которые могут быть приобретены при данной величине дохода (бюджета) и ценах благ.

ИЗЛИШЕК ПОТРЕБИТЕЛЯ (рента потребителя) – это разница между той суммой денег, которую потребитель согласен уплатить за покупаемое экономическое благо, и той суммой, которую он действительно платит.

ПРЕДПРИЯТИЕ – это самостоятельно хозяйствующий субъект, созданный в порядке, установленном действующим законодательством, и осуществляющий производство продукции, выполнение работ и оказание услуг в целях удовлетворения общественных потребностей и получения прибыли.

ПРОИЗВОДСТВО – процесс преобразования ресурсов в блага, прямо или косвенно служащих удовлетворению человеческих потребностей.

ТЕХНОЛОГИЯ – это определенная устойчивая комбинация факторов производства.

ИЗОКВАНТА – это кривая, демонстрирующая все возможные сочетания двух факторов производства, обеспечивающие один и тот же объем выпуска экономического блага (*Q*).

ИЗОКОСТА – это линия, показывающая различные сочетания двух факторов производства, которые обеспечивают определенную сумму общих затрат, ограниченных бюджетом производителя.

ИЗДЕРЖКИ ПРОИЗВОДСТВА – это совокупность затрат, связанных с использованием факторов для производства экономического блага.

ИЗЛИШЕК ПРОИЗВОДИТЕЛЯ (рента производителя) – это разница между той суммой денежных средств, которую он получает от реализации определенного количества экономического блага, и той суммой, на которую он согласен.

РЫНОЧНАЯ СТРУКТУРА – характеристика рынка с точки зрения его воздействия на положение и поведение производителей, а также влияния производителей на его состояние.

МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ СОВЕРШЕННОЙ (ЧИСТОЙ) КОНКУРЕНЦИИ – модель поведения предприятия в условиях идеальных конкурентных отношений, когда предприятий много, у всех из них равные возможности и отсутствует возможность влияния на рынок и цену продукции.

МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ЧИСТОЙ МОНОПОЛИИ – модель поведения предприятия, когда одно предприятие становится единственным производителем продукции, у которой нет близких заменителей; оно может влиять на рынок и цену продукции. Это чисто теоретическая модель. В качестве сфер деятельности, где она может наблюдаться, являются те, которые относятся к естественным монополиям.

ЦЕНОВАЯ ДИСКРИМИНАЦИЯ («ценовое разделение») – это продажа одной и той же продукции разным потребителям (группам потребителей) по разным ценам, при этом различия в ценах не обусловлены различиями в издержках производства. Смысл проведения данной ценовой политики состоит в стремлении монополиста присвоить себе излишек потребителя.

МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ОЛИГО-ПОЛИИ – модель поведения предприятия в условиях рыночной ситуации, когда на рынке функционирует несколько производителей продукции, которые обладают определенной властью над ценой (их власть ограничена количеством производителей, поделивших рынок между собой). Эта модель характерна для сфер деятельности, которые требуют значительных капиталовложений: металлургия, электротехника, химическая промышленность, машиностроение, топливная энергетика.

МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ МОНОПОЛИСТИЧЕСКОЙ КОНКУРЕНЦИИ – модель поведения предприятия в рыночной ситуации, которая характеризуется наличием множества производителей, производящих дифференцированную продукцию.

РЫНОК ТРУДА – это сфера взаимоотношений между продавцами и покупателями трудовых услуг, т. е. между теми, кто желает работать (в их число входят занятые и безработные), и теми, кто нанимает работников для производства товаров и услуг.

ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА – это доход от предоставления трудовых услуг.

СТАВКА ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ – цена, выплачиваемая за использование единицы труда в течение определенного периода: часа, дня и т. д.

КАПИТАЛ в широком смысле – ценность, приносящая приток дохода; самовозрастающая стоимость. Это производственные фонды предприятий, земля, ценные бумаги, банковские депозиты, человеческий капитал (накопленные профессиональные знания).

ССУДНЫЙ ПРОЦЕНТ – цена, уплачиваемая собственнику капитала за его использование в течение определенного периода времени.

ИНВЕСТИРОВАНИЕ – процесс создания или пополнения запаса капитала.

ДИСКОНТИРОВАНИЕ – процедура определения сегодняшней стоимости будущей суммы денег.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ РЕНТА – доход, получаемый собственником ресурса, предложение которого строго ограничено.

ПРИРОДНАЯ РЕНТА – доход от использования природного ресурса, предложение которого строго ограничено.

ОБЩАЯ РЕНТА – доход, который получает собственник природного ресурса. Она включает абсолютную ренту и при возможности дифференцированную.

АБСОЛЮТНАЯ РЕНТА – доход, который получают все собственники природного ресурса независимо от его качества.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ РЕНТА – дополнительный доход от использования природного ресурса, образуемый благодаря лучшим характеристикам (сверхприбыль).

ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО – сфера деятельности, предполагающая наличие способности организовывать производство, объединять факторы производства для создания продукции, создавать что-то новое, рисковать, нести ответственность за свою деятельность.

ПРИБЫЛЬ – это вознаграждение за такой человеческий ресурс, как предпринимательские способности.

УПРАВЛЕНИЕ – это сознательное воздействие на объекты и процессы, а также на участие в них людей, осуществляемое с целью придания определенной направленности хозяйственной деятельности и получения желаемых результатов.

МЕНЕДЖМЕНТ – это определенная философия, основанная на интуиции и профессионализме организаторов деятельности или процесса, умении добиваться поставленных целей при использовании труда, интеллекта, мотивов поведения других людей.

Раздел 3. ОСНОВЫ МАКРОЭКОНОМИКИ

МАКРОЭКОНОМИКА – это комплекс знаний, взглядов, идей, объясняющих поведение экономики страны как единого целого и основных ее совокупных величин.

НАЦИОНАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА представляет собой совокупность всех экономических явлений и процессов, происходящих в стране на основе действующих в ней имущественных отношений и организационных форм.

НАЦИОНАЛЬНОЕ БОГАТСТВО – это многолетний результат функционирования национальной экономики, отражающий её экономический потенциал и представляющий всю совокупность благ и ресурсов, которыми она располагает на данный момент времени.

СИСТЕМА НАЦИОНАЛЬНЫХ СЧЕТОВ (СНС) – это система взаимосвязанных показателей совокупного выпуска и совокупного дохода страны, характеризующих результаты функционирования экономики, ориентированной на рыночные отношения.

ВАЛОВОЙ ВНУТРЕННИЙ ПРОДУКТ (ВВП) (англ. GIP – Gross Internal Product) – это суммарная рыночная стоимость всех конечных товаров и услуг, произведенных в тече-

ние года внутри страны предприятиями-резидентами и предприятиями-нерезидентами с использованием национальных и зарубежных факторов производства.

ВАЛОВОЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОДУКТ (ВНП) (англ. GNP – Gross National Product) – это суммарная рыночная стоимость всех конечных товаров и услуг, произведенных в течение года предприятиями-резидентами внутри страны и за ее пределами с использованием национальных факторов производства.

ЧИСТЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОДУКТ (ЧНП) (англ. NNP – Net National Product) – созданный валовой национальный продукт за вычетом той части инвестиций, которая пошла на обновление устаревших и изношенных основных фондов.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ДОХОД (НД) (англ. NI – National Income) – это совокупный доход, заработанный резидентами страны за вклад собственных факторов производства в процесс создания валового национального продукта.

ЛИЧНЫЙ ДОХОД (ЛД) (англ. PI – Personal Income) – это совокупный доход, заработанный или полученный домохозяйствами за год.

ЛИЧНЫЙ РАСПОЛАГАЕМЫЙ ДОХОД (ЛРД) (англ. DI – Domestic Income) – это доход, используемый домашними хозяйствами на потребление (осуществление текущих расходов по приобретению товаров и услуг) и сбережения (накопление богатства).

ЧИСТОЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЕ БЛАГОСОСТОЯНИЕ (ЧЭБ) – это интегральный результат функционирования внутренней экономики в определённом году, демонстрирующий благосостояние страны в целом. ЧЭБ применяется в дополнение к показателю ВВП, который не даёт точной картины экономического благосостояния.

ТЕНЕВАЯ (НЕНАБЛЮДАЕМАЯ ЭКОНОМИКА) включает в себя сферы производства, распределения, обмена и потребления товарно-материальных ценностей, денег, услуг, которые не контролируются обществом и органами государственного управления.

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ БАЛАНС (МОБ) является одним из важных разделов современной СНС, он отражает процессы, происходящие на нынешнем этапе развития экономики, позволяет производить системный счет основных показателей СНС и анализ взаимосвязей между отраслями экономики, выявлять главные экономические пропорции, изучать структурные сдвиги и особенности ценообразования в экономике и т. д.

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ – это равновесие национальной экономики, характеризуемое сбалансированностью и пропорциональностью экономических явлений и процессов. Макроэкономическое равновесие необходимо для обеспечения стабильности развития экономики страны и достижения макроэкономических целей.

СОВОКУПНЫЙ СПРОС (AD) – это суммарные планируемые (желаемые) расходы экономических субъектов на конечные товары и услуги, предлагаемые на рынке благ, при каждом возможном уровне цен.

СОВОКУПНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ (AS) – реальный объем национального производства при каждом возможном уровне цен.

ПОТРЕБЛЕНИЕ (C) – это сумма денег, которая тратится домохозяйствами на приобретение потребительских благ.

СБЕРЕЖЕНИЯ (S) – это та часть личного располагаемого дохода, которая отложена для будущего потребления.

ИНВЕСТИЦИИ (I) – это расходы, связанные с обновлением и увеличением производственных мощностей и прочих капитальных активов.

ДЕНЬГИ – всеобщий эквивалент; универсальный товар, обмениваемый на любые экономические блага и пригодный для расчетов и платежей. Деньги являются общепризнанным высоколиквидным активом: на них можно всё купить.

ДЕНЕЖНОЕ ОБРАЩЕНИЕ – это денежный кругооборот, движение денег, опосредующее оборот товаров и услуг, а также финансовых активов.

ДЕНЕЖНАЯ МАССА – совокупность всего многообразия денежных средств, обращающихся в стране: обслуживающих экономические связи и принадлежащих различным экономическим субъектам.

СКОРОСТЬ ОБРАЩЕНИЯ ДЕНЕГ – это среднегодовое количество оборотов, совершаемых деньгами, находящимися в обращении. Скорость обращения денег показывает среднегодовое количество владельцев, в состав дохода которых вошла одна и та же денежная единица, или среднегодовое количество сделок, в которых она участвовала.

ДЕНЕЖНАЯ СИСТЕМА – это форма организации денежного обращения в стране, сложившаяся исторически и закрепленная национальным законодательством.

ДЕНЕЖНАЯ РЕФОРМА – полное или частичное преобразование денежной системы страны, проводимое государством в целях укрепления национальной валюты, стабилизации денежной единицы в условиях нарушения денежного обращения.

ДЕНЕЖНЫЙ РЫНОК – это рынок, на котором взаимодействуют между собой спрос и предложение денег, а также формируется равновесная цена денег (равновесная процентная ставка).

ПРОЦЕНТНАЯ СТАВКА – это цена денег, уплачиваемая за их использование. Процентная ставка бывает номинальной (R) и реальной (r). В отличие от номинальной реальная процентная ставка корректируется, или «дефлируется», в соответствии с темпом инфляции.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ДЕНЕГ (MS) – это общее количество денег, находя-щихся в обращении. Предложение денег обеспечивается банковской системой страны (Центральным и коммерческими банками).

СПРОС НА ДЕНЬГИ (MD) – это величина денежных средств, которыми желают (планируют) обладать экономические субъекты.

КРЕДИТ представляет собой особую форму движения денег, связанную с мобилизацией свободных денежных средств национальной экономики и их распределением на условиях возвратности, срочности, платности в целях расширенного воспроизводства.

КРЕДИТНЫЙ РЫНОК – это общее обозначение тех рынков, где возникают и взаимодействуют между собой спрос и предложение различных видов кредитных ресурсов.

КРЕДИТНО-ДЕНЕЖНАЯ СИСТЕМА представляет собой комплекс кредитно-финансовых учреждений, активно используемых государством в целях регулирования экономики.

ДЕПОЗИТЫ, или банковские вклады (D), – это денежные средства, переданные клиентом во временное пользование банка.

БАНК – это кредитно-финансовое учреждение, аккумулирующее денежные средства, предоставляющее кредиты, производящее денежные расчеты, осуществляющее выпуск банкнот и ценных бумаг, выступающее посредником во взаимных платежах и расчетах между государствами, предприятиями и домохозяйствами.

БАНКОВСКАЯ СИСТЕМА – совокупность банков страны. В организационном плане банковская система может быть одноуровневой и двухуровневой. Для России, как и для большинства стран мира, характерна двухуровневая банковская система: верхний уровень – Центральный банк («банк банков»), второй уровень – подконтрольные ему коммерческие банки.

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ БАНК – эмиссионный, кредитный, расчетный и валютный центр страны, а также центр кредитно-денежного регулирования экономики.

КРЕДИТНО-ДЕНЕЖНАЯ (МОНЕТАРНАЯ) ПОЛИТИКА – комплекс взаимосвязанных мероприятий, предпринимаемых Центральным банком в целях регулирования деловой активности в стране путем воздействия на кредитно-денежное обращение.

КОММЕРЧЕСКИЙ БАНК – кредитно-финансовое учреждение, наделенное исключительным правом привлекать свободные денежные средства субъектов хозяйствования и населения и размещать их от своего имени и за свой счет на условиях возвратности, срочности, платности, а также осуществлять другие банковские операции.

БАНКОВСКИЕ РЕЗЕРВЫ – это часть привлеченных на депозиты денежных средств, не выданных в качестве кредитов (не использованных в активных операциях).

ФИНАНСЫ – система отношений между экономическими субъектами по поводу формирования, распределения и использования фондов денежных средств.

ФИНАНСОВАЯ СИСТЕМА – совокупность финансовых отношений национальной экономики. С точки зрения субъектов экономики, вступающих в финансовые отношения.

ФИНАНСОВЫЙ РЫНОК – это рынок, на котором формируются спрос и предложение на все финансовые ресурсы страны и осуществляется их движение в направлении обеспечения финансовыми средствами различных сфер экономики.

РЫНОК ЦЕННЫХ БУМАГ представляет собой рынок, на котором формируются и развиваются экономические отношения по поводу выпуска и обращения ценных бумаг между его участниками.

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ФИНАНСЫ призваны обеспечить государство денежными средствами, необходимыми для выполнения им экономических, политических и социальных функций.

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ДОХОДЫ – денежные средства, привлечённые для реализации государственных функций.

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАСХОДЫ – это часть финансовых отношений, обусловленная использованием государственных доходов.

БЮДЖЕТ ГОСУДАРСТВА – это консолидированный бюджет РФ.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ БЮДЖЕТ – это главное звено финансовой системы страны. Он представляет собой форму образования и использования централизованного фонда денежных средств для обеспечения функций органов государственной власти. На основании Конституции РФ государственный бюджет носит название федерального.

БЮДЖЕТНЫЙ ДЕФИЦИТ – ситуация превышения расходной части бюджета над доходной.

БЮДЖЕТНЫЙ ПРОФИЦИТ – ситуация превышения доходной части бюджета над расходной.

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ВНЕБЮДЖЕТНЫЕ ФОНДЫ – это фонды денежных средств, образуемые вне государственного бюджета и предназначенные для реализации конституционных прав граждан на пенсионное обеспечение, охрану здоровья и медицинскую помощь.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ДОЛГ – это величина государственной задолженности. Он равняется сумме накопленных в стране за определенный период бюджетных дефицитов за вычетом накопленных бюджетных профицитов.

НАЛОГ – обязательный и безвозмездный платёж, взимаемый в пользу государства с дохода или стоимости имущества физического и юридического лица в размере, заранее определенном и установленном в законодательном порядке.

НАЛОГОВАЯ СИСТЕМА – это совокупность всех налогов, методы и принципы их построения, способы исчисления и взимания, налоговый контроль, устанавливаемые в законодательном порядке.

БЮДЖЕТНО-НАЛОГОВАЯ (ФИСКАЛЬНАЯ) ПОЛИТИКА – это воздействие государства на уровень деловой активности в стране посредством изменения государственных расходов и налогов.

СОЦИАЛЬНАЯ ПОЛИТИКА – комплекс мер государства, направленных на обеспечение социальной справедливости и поддержание достойного уровня благосостояния населения.

СОЦИАЛЬНАЯ СПРАВЕДЛИВОСТЬ проявляется в правомерном распределении национального дохода, наличии одинаковых возможностей для получения работы согласно имеющимся способностям и профессиональной подготовке, наличии системы социальной защиты населения и социальных гарантий.

БЛАГОСОСТОЯНИЕ – это количественная и качественная характеристика условий жизнедеятельности населения. Рассмотрение сущности данного термина требует учета двух подходов.

ДОХОДЫ – совокупность денежных средств и материальных благ, которыми обладает человек, семья, социальная группа, население в целом.

ПРОЖИТОЧНЫЙ МИНИМУМ выражает минимально допустимую материальную обеспеченность, ниже которой возникает угроза воспроизводству населения страны.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДОХОДОВ – изъятие части доходов наиболее обеспеченных экономических субъектов в пользу менее обеспеченных.

ЗАНЯТОСТЬ – это обеспеченность населения рабочими местами.

БЕЗРАБОТИЦА – это социально-экономическое явление, при котором часть трудоспособного населения не занята в общественном производстве по причине превышения предложения рабочей силы над спросом на нее.

ЕСТЕСТВЕННАЯ БЕЗРАБОТИЦА (U`) – безработица, существующая при полной занятости, которой соответствует потенциальный ВВП. Естественная безработица способствует созданию резерва рабочей силы, поддержанию конкуренции между работниками и тем самым повышению производительности труда.

СОЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА – система мер, осуществляемых обществом в целом и его звеньями по обеспечению приемлемого материального и социального положения граждан.

СОЦИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ – социальная отрасль экономики, обеспечивающая людей, находящихся на длительном или постоянном иждивении государства и общества.

СОЦИАЛЬНОЕ СТРАХОВАНИЕ – важный элемент социального обеспечения населения, ориентированный на обеспечение человека экономической защитой в случае болезни и старости, в связи с несчастными случаями и болезнями по производственной причине, в связи с безработицей.

ПЕНСИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ – форма социального обеспечения, имеющая следующие цели: борьба с бедностью, компенсация утраченного заработка, обеспечение материальной достаточности гражданина.

СОЦИАЛЬНАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ – это восстановление нарушенной социальной справедливости по отношению к невинно пострадавшим. К ним относятся: жертвы противозаконных репрессий; жертвы войн; лица, пострадавшие от катастроф, стихийных бедствий и аварий; инвалиды по болезни, жертвы эпидемий, пострадавшие от вредности производства; вынужденные переселенцы.

СОЦИАЛЬНЫЕ ГАРАНТИИ – это система обязательств общества перед своими членами по удовлетворению их насущных потребностей.

УРОВЕНЬ ЖИЗНИ определяется, с одной стороны, количеством и качеством жизненных благ, используемых для удовлетворения потребностей населения, а с другой – степенью развития самих потребностей людей.

КАЧЕСТВО ЖИЗНИ определяется качественной стороной жизни населения – здоровьем, физическим развитием, уровнем образования, условиями труда, возможностями использования свободного времени, состоянием экологии. Применение данного показателя затруднительно из-за сложности проявления качественных характеристик жизни в количественном и стоимостном выражениях.

МАКРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА – нестабильное развитие национальной экономики.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ – это периодические взлеты и падения деловой активности, проявляющиеся во всевозможных формах несоответствия совокупного спроса и предложения.

СТАБИЛИЗАЦИОННАЯ (АНТИЦИКЛИЧЕСКАЯ) ПОЛИТИКА – комплекс мероприятий, способствующих сглаживанию негативных последствий макроэкономической динамики.

ИНФЛЯЦИЯ – это переполнение экономики страны избыточной денежной массой при отсутствии адекватного увеличения товарной массы, которое приводит к повышению общего уровня цен, обесценению денежной единицы, снижению ее покупательной способности.

ИНФЛЯЦИЯ ИЗДЕРЖЕК – инфляция, которая вызвана факторами, лежащими на стороне совокупного предложения.

ИНФЛЯЦИОННЫЕ ОЖИДАНИЯ – это оценка экономическими субъектами изменения темпов инфляции в будущем периоде. Они выражаются в показателе под названием «ожидаемый темп инфляции (πе)».

АНТИИНФЛЯЦИОННАЯ ПОЛИТИКА – макроэкономическая политика, направленная на обеспечение стабилизации общего уровня цен, предупреждения или смягчения инфляционной напряженности.

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ – долговременное устойчивое увеличение масштабов экономики, выражающееся в поступательном росте реального ВВП и улучшении других показателей деловой активности.

МИРОВАЯ ЭКОНОМИКА – это система экономических отношений, сложившаяся и развивающаяся между странами; другими словами, это вся совокупность национальных экономик в той части, которая сориентирована на внешние рынки и использует внешние ресурсы и продукцию для внутреннего развития.

ОТКРЫТАЯ ЭКОНОМИКА – это экономика страны с высокой степенью вовлеченности в мировые хозяйственные связи, предполагающая отсутствие ограничений международного обмена ресурсами и благами. Снятие внешнеэкономических ограничений способствует усилению конкуренции и тем самым повышению эффективности национальной экономики.

ЗАКРЫТАЯ ЭКОНОМИКА (автаркия) предполагает экономическую самообеспеченность страны (примеры: бывшие страны Совета Экономической Взаимопомощи, Северная Корея, Куба).

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОТНОШЕНИЯ – это система хозяйственных связей между экономиками различных стран.

МЕЖДУНАРОДНАЯ ТОРГОВЛЯ заключается в экспорте (вывозе) и импорте (ввозе) благ (товаров и услуг).

МЕЖДУНАРОДНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ТРУДА заключается в специализации отдельных стран на производстве определенных видов благ, которыми эти страны обмениваются между собой.

АБСОЛЮТНОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО – возможность страны производить благодаря ее естественным и приобретенным преимуществам какой-либо товар с меньшими затратами труда на единицу продукции по сравнению с другими странами, производящими этот же товар.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО – это способность страны производить товар с относительно меньшими издержками замещения по сравнению с другими странами. Издержки замещения (альтернативные издержки) представляют собой соотношение абсолютных удельных затрат труда по двум видам товаров в одной стране.

ВНЕШНЕТОРГОВАЯ ПОЛИТИКА – это государственная политика в области внешней торговли. Известны два основных направления внешнеторговой политики государства: протекционизм и фритрейдерство.

ФРИТРЕЙДЕРСТВО – политика свободной торговли, которая не предполагает установление каких-либо ограничений на внешнеторговый оборот, в т. ч. взимание таможенных пошлин. Такую политику может проводить страна с высокоэффективной экономикой, в котором отечественные предприниматели способны выдерживать иностранную конкуренцию и активно внедряться на мировой рынок. Свободная торговля дает возможность открытой экономике страны и мировой экономике эффективно размещать ресурсы и повышать уровень материального благосостояния.

ПРОТЕКЦИОНИЗМ – политика государства, направленная на ограничение внешней торговли с целью защиты собственных производителей (в случае наличия более сильных иностранных конкурентов) или потребителей (в случае продажи за границу большого ко-

личества благ или ресурсов, востребованных внутри страны) путем установления тарифных и нетарифных ограничений.

ТАРИФНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ заключаются во взимании таможенных пошлин с ввозимых и вывозимых ресурсов и благ, затрудняя тем самым их движение. Таможенные пошлины увеличивают цену ресурсов и благ и снижают их конкурентоспособность на мировом рынке.

НЕТАРИФНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ – прямые административные нормы, определяющие количество, качество и номенклатуру вывозимых или ввозимых в страну ресурсов и благ.

ПЛАТЕЖНЫЙ БАЛАНС – это систематизированная запись итогов всех экономических сделок между резидентами данной страны и остальным миром в течение определенного периода времени (месяца, квартала, года).

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВАЛЮТНЫЕ ОТНОШЕНИЯ – это отношения между странами по поводу обмена валютой.

ВАЛЮТА – это денежная единица страны или группы стран (например, рубль, доллар, фунт стерлингов, евро, йена и т. д.). В узком смысле – это денежные знаки иностранных государств.

ВАЛЮТНЫЙ РЫНОК – это особый рынок, на котором осуществляются валютные сделки. Подавляющая часть денежных активов, продаваемых на валютном рынке, имеет вид депозита до востребования в крупнейших банках, осуществляющих торговлю друг с другом, лишь незначительная часть валютного рынка приходится на обмен наличных денег.

ВАЛЮТНЫЙ (ОБМЕННЫЙ) КУРС – это относительная цена валют двух стран, или валюта одной страны, выраженная в единицах другой страны.

ВАЛЮТНАЯ КОТИРОВКА – установление курса национальной денежной единицы в иностранной валюте на определенный момент времени.

ВАЛЮТНАЯ СИСТЕМА – совокупность валютных отношений, складывающихся на уровне отдельной страны, группы стран или мира в целом.

СИСТЕМА ФИКСИРОВАННЫХ ВАЛЮТНЫХ КУРСОВ – это валютная система, при которой номинальный валютный курс фиксируется Центральным банком страны.

СИСТЕМА ПЛАВАЮЩИХ (ГИБКИХ) ВАЛЮТНЫХ КУРСОВ – это валютная система, при которой номинальный валютный курс формируется на валютном рынке в результате взаимодействия спроса и предложения валют, без какого-либо вмешательства Центрального банка в этот процесс.

СИСТЕМА СМЕШАННЫХ ВАЛЮТНЫХ КУРСОВ – это валютная система, при которой номинальный валютный курс формируется на валютном рынке в результате взаимодействия спроса и предложения валют, а также валютных интервенций Центрального банка.

КОНВЕРТИРУЕМОСТЬ (ОБРАТИМОСТЬ) НАЦИОНАЛЬНОЙ ВАЛЮТЫ – способность валюты страны свободно использоваться в международном платежном обороте для совершения различных расчетов.

ВАЛЮТНАЯ ПОЛИТИКА – это совокупность государственных мероприятий в сфере международных расчетов. Она непосредственно связана с внешнеторговой политикой и состоянием денежного обращения.

МИРОВАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ – это процесс экономического взаимодействия стран, приводящий к сближению хозяйственных механизмов, принимающий форму межгосударственных соглашений и согласованно регулируемый межгосударственными органами.

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики – это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

• составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;

• перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и выпускных квалификационных работ (ВКР), а что выходит за рамками официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);

• обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);

• определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;

• при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и руководителями ВКР, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;

• все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);

• если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;

• следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьёзный, кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить

специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;
- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;
- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;
- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков, вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис - это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта - основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование - наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

ПОДГОТОВКА ДОКЛАДА

Одной из форм текущего контроля является доклад, который представляет собой продукт самостоятельной работы студента.

Доклад - это публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.

Как правило, в основу доклада ложится анализ литературы по проблеме. Он должен носить характер краткого, но в то же время глубоко аргументированного устного сообщения. В нем студент должен, по возможности, полно осветить различные точки зрения на проблему, выразить собственное мнение, сделать критический анализ теоретического и практического материала.

Подготовка доклада является обязательной для обучающихся, если доклад презентацией указан в перечне форм текущего контроля успеваемости в рабочей программе дисциплины.

Доклад должен быть рассчитан на 7-10 минут.

Презентация (от англ. «presentation» - представление) к докладу - это набор цветных слайдов на определенную тему, который хранится в файле специального формата с расширением PP.

Целью презентации - донести до целевой аудитории полноценную информацию об объекте презентации, изложенной в докладе, в удобной форме.

Перечень примерных тем докладов с презентацией представлен в рабочей программе дисциплины, он выдается обучающимся заблаговременно вместе с методическими указаниями по подготовке. Темы могут распределяться студентами самостоятельно (по желанию), а также закрепляться преподавателем дисциплины.

При подготовке доклада с презентацией обучающийся должен продемонстрировать умение самостоятельного изучения отдельных вопросов, структурирования основных положений рассматриваемых проблем, публичного выступления, позиционирования себя перед коллективом, навыки работы с библиографическими источниками и оформления научных текстов.

В ходе подготовки к докладу с презентацией обучающемуся необходимо:

- выбрать тему и определить цель выступления.

Для этого, остановитесь на теме, которая вызывает у Вас больший интерес; определите цель выступления; подумайте, достаточно ли вы знаете по выбранной теме или проблеме и сможете ли найти необходимый материал;

- осуществить сбор материала к выступлению.

Начинайте подготовку к докладу заранее; обращайтесь к справочникам, энциклопедиям, научной литературе по данной проблеме; записывайте необходимую информацию на отдельных листах или тетради;

- организовать работу с литературой.

При подборе литературы по интересующей теме определить конкретную цель поиска: что известно по данной теме? что хотелось бы узнать? для чего нужна эта информация? как ее можно использовать в практической работе?

- во время изучения литературы следует: записывать вопросы, которые возникают по мере ознакомления с источником, а также ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;

- обработать материал.

Учитывайте подготовку и интересы слушателей; излагайте правдивую информацию; все мысли должны быть взаимосвязаны между собой.

При подготовке доклада с презентацией особо необходимо обратить внимание на следующее:

- подготовка доклада начинается с изучения источников, рекомендованных к соответствующему разделу дисциплины, а также специальной литературы для докладчика, список которой можно получить у преподавателя;

- важно также ознакомиться с имеющимися по данной теме монографиями, учебными пособиями, научными информационными статьями, опубликованными в периодической печати.

Относительно небольшой объем текста доклада, лимит времени, отведенного для публичного выступления, обусловливает потребность в тщательном отборе материала, умелом выделении главных положений в содержании доклада, использовании наиболее доказательных фактов и убедительных примеров, исключении повторений и многословия.

Решить эти задачи помогает составление развернутого плана.

План доклада должен содержать следующие главные компоненты: краткое вступление, вопросы и их основные тезисы, заключение, список литературы.

После составления плана можно приступить к написанию текста. Во вступлении важно показать актуальность проблемы, ее практическую значимость. При изложении вопросов темы раскрываются ее основные положения. Материал содержания вопросов полезно располагать в таком порядке: тезис; доказательство тезиса; вывод и т. д.

Тезис - это главное основополагающее утверждение. Он обосновывается путем привлечения необходимых цитат, цифрового материала, ссылок на статьи. При изложении содержания вопросов особое внимание должно быть обращено на раскрытие причинно-следственных связей, логическую последовательность тезисов, а также на формулирование окончательных выводов. Выводы должны быть краткими, точными, достаточно аргументированными всем содержанием доклада.

В процессе подготовки доклада студент может получить консультацию у преподавателя, а в случае необходимости уточнить отдельные положения.

Выступление

При подготовке к докладу перед аудиторией необходимо выбрать способ выступления:

- устное изложение с опорой на конспект (опорой могут также служить заранее подготовленные слайды);
- чтение подготовленного текста.

Чтение заранее написанного текста значительно уменьшает влияние выступления на аудиторию. Запоминание написанного текста заметно сковывает выступающего и привязывает к заранее составленному плану, не давая возможности откликаться на реакцию аудитории.

Короткие фразы легче воспринимаются на слух, чем длинные.

Необходимо избегать сложных предложений, причастных и деепричастных оборотов. Излагая сложный вопрос, нужно постараться передать информацию по частям.

Слова в речи надо произносить четко и понятно, не надо говорить слишком быстро или, наоборот, растягивать слова. Надо произнести четко особенно ударную гласную, что оказывает наибольшее влияние на разборчивость речи.

Пауза в устной речи выполняет ту же роль, что знаки препинания в письменной. После сложных выводов или длинных предложений необходимо сделать паузу, чтобы слушатели могли вдуматься в сказанное или правильно понять сделанные выводы. Если выступающий хочет, чтобы его понимали, то не следует говорить без паузы дольше, чем пять с половиной секунд.

Особое место в выступлении занимает обращение к аудитории. Известно, что обращение к собеседнику по имени создает более доверительный контекст деловой беседы. При публичном выступлении также можно использовать подобные приемы. Так, косвенными обращениями могут служить такие выражения, как «Как Вам известно», «Уверен, что Вас

это не оставит равнодушными». Выступающий показывает, что слушатели интересны ему, а это самый простой путь достижения взаимопонимания.

Во время выступления важно постоянно контролировать реакцию слушателей. Внимательность и наблюдательность в сочетании с опытом позволяют оратору уловить настроение публики. Возможно, рассмотрение некоторых вопросов придется сократить или вовсе отказаться от них.

После выступления нужно быть готовым к ответам на возникшие у аудитории вопросы.

Стоит обратить внимание на вербальные и невербальные составляющие общения. Небрежность в жестах недопустима. Жесты могут быть приглашающими, отрицающими, вопросительными, они могут подчеркнуть нюансы выступления.

Презентация

Презентация наглядно сопровождает выступление.

Этапы работы над презентацией могут быть следующими:

- осмыслите тему, выделите вопросы, которые должны быть освещены в рамках данной темы;
- составьте тезисы собранного материала. Подумайте, какая часть информации может быть подкреплена или полностью заменена изображениями, какую информацию можно представить в виде схем;
- подберите иллюстративный материал к презентации: фотографии, рисунки, фрагменты художественных и документальных фильмов, материалы кинохроники, разработайте необходимые схемы;
- подготовленный материал систематизируйте и «упакуйте» в отдельные блоки, которые будут состоять из собственно текста (небольшого по объему), схем, графиков, таблиц и т.д.;
- создайте слайды презентации в соответствии с необходимыми требованиями;
- просмотрите презентацию, оцените ее наглядность, доступность, соответствие языковым нормам.

Требования к оформлению презентации

Компьютерную презентацию, сопровождающую выступление докладчика, удобнее всего подготовить в программе MS Power Point.

Презентация как документ представляет собой последовательность сменяющих друг друга слайдов. Чаще всего демонстрация презентации проецируется на большом экране, реже – раздается собравшимся как печатный материал.

Количество слайдов должно быть пропорционально содержанию и продолжительности выступления (например, для 5-минутного выступления рекомендуется использовать не более 10 слайдов).

На первом слайде обязательно представляется тема выступления и сведения об авторах.

Следующие слайды можно подготовить, используя две различные стратегии их подготовки:

1-я стратегия: на слайды выносится опорный конспект выступления и ключевые слова с тем, чтобы пользоваться ими как планом для выступления. В этом случае к слайдам предъявляются следующие требования:

- объем текста на слайде – не больше 7 строк;
- маркированный/нумерованный список содержит не более 7 элементов;
- отсутствуют знаки пунктуации в конце строк в маркированных и нумерованных списках;
- значимая информация выделяется с помощью цвета, кегля, эффектов анимации.

Особо внимательно необходимо проверить текст на отсутствие ошибок и опечаток. Основная ошибка при выборе данной стратегии состоит в том, что выступающие заменяют свою речь чтением текста со слайдов.

2-я стратегия: на слайды помещается фактический материал (таблицы, графики, фотографии и пр.), который является уместным и достаточным средством наглядности, помогает в раскрытии стержневой идеи выступления. В этом случае к слайдам предъявляются следующие требования:

- выбранные средства визуализации информации (таблицы, схемы, графики и т. д.) соответствуют содержанию;
- использованы иллюстрации хорошего качества (высокого разрешения), с четким изображением (как правило, никто из присутствующих не заинтересован вчитываться в текст на ваших слайдах и всматриваться в мелкие иллюстрации).

Максимальное количество графической информации на одном слайде – 2 рисунка (фотографии, схемы и т.д.) с текстовыми комментариями (не более 2 строк к каждому). Наиболее важная информация должна располагаться в центре экрана.

Обычный слайд, без эффектов анимации, должен демонстрироваться на экране не менее 10 - 15 секунд. За меньшее время аудитория не успеет осознать содержание слайда.

Слайд с анимацией в среднем должен находиться на экране не меньше 40 – 60секунд (без учета времени на случайно возникшее обсуждение). В связи с этим лучше настроить презентацию не на автоматический показ, а на смену слайдов самим докладчиком.

Особо тщательно необходимо отнестись к оформлению презентации. Для всех слайдов презентации по возможности необходимо использовать один и тот же шаблон оформления, кегль – для заголовков - не меньше 24 пунктов, для информации - не менее 18.

В презентациях не принято ставить переносы в словах.

Наилучшей цветовой гаммой для презентации являются контрастные цвета фона и текста (белый фон – черный текст; темно-синий фон – светло-желтый текст и т. д.).

Лучше не смешивать разные типы шрифтов в одной презентации.

Рекомендуется не злоупотреблять прописными буквами (они читаются хуже).

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными задания понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных задания от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;
- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что потребует распознавания объектов;
- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;
2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;
3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их потребуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;

- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;

- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;

- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.

ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ

1. ВВЕДЕНИЕ В ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ТЕОРИЮ

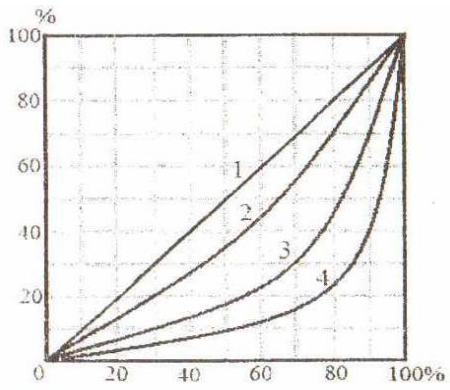
1.3. Общая характеристика рыночной системы хозяйствования

Благосостояние. Распределение доходов

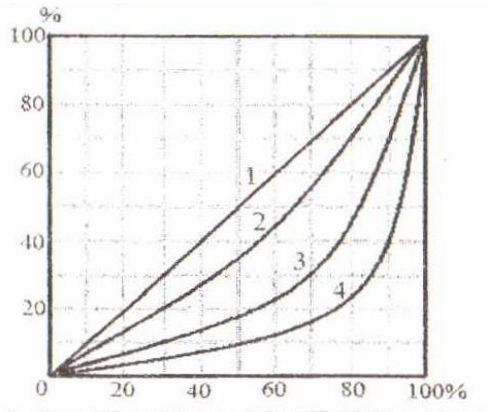
1. На основании следующих данных постройте кривую Лоренца; обозначьте точки, через которые вы ее строили. Какие действия государства могли бы приблизить кривую Лоренцу: а) к линии абсолютного равенства; б) к линии абсолютного неравенства?

Доли населения, по 20%	Доля доходов, %
Первая (низшая)	2
Вторая	8
Третья	10
Четвертая	15
Пятая (высшая)	65

2. Распределение доходов в обществе иллюстрирует линия 3. Если предельная ставка прогрессивного налога на доход любого домохозяйства будет снижена, то кривая Лоренца сместится в положение…



3. Наименьшее неравенство в распределении доходов в обществе отражает линия…



4. В таблице представлены данные по распределению доходов между группами населения в двух странах. В какой стране степень неравенства больше? Почему? Постройте кривую Лоренца для страны *A*.

Доли населения, по 20%	Доля доходов, %	
	Страна *A*	Страна *B*
Первая (низшая)	5	2
Вторая	10	8
Третья	17	10

Четвертая	28	15
Пятая (высшая)	40	65

5. При оценке степени неравенства в персональном распределении доходов с помощью кривой Лоренца следует обращать внимание на форму кривой. На рис. 1 и 2 представлены кривые Лоренца для двух стран с одинаковым коэффициентом Джини. О чем говорят представленные формы кривых: а) степень неравенства больше в странеА; б) степень неравенства больше в стране Б; в) в странах одинаковая степень неравенства? Выберите правильный ответ и поясните.

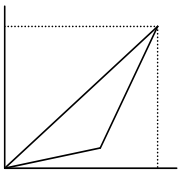


Рис. 1. Страна А

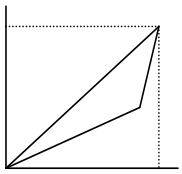


Рис. 2. Страна Б

6. Проанализируйте ситуацию неравенства в распределении доходов в России в период 1991–2000 гг., учитывая, что условно допустимое значение коэффициента Джини составляет 0,3.

Коэффициент Джини в России

1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
0,260	0,289	0,398	0,409	0,381	0,375	0,375	0,379	0,394	0,400	0,400	0,400

Примеры решения типовых задач

1. В таблице представлены данные по распределению доходов между группами населения в конкретной стране. Рассчитайте на основании представленной информации квинтильный коэффициент, демонстрирующий степень неравенства в стране.

Доля населения, по 20 %	1	2	3	4	5
Доля доходов, %	5	10	18	27	40

Решение. Квинтильный коэффициент позволяет осуществлять сопоставление доходов, в среднем получаемых наиболее и наименее обеспеченными группами населения, каждая из которых составляет 20 % от общей численности населения: К.к. = 40 % / 5 % = 8 раз.

2. Ниже представлено распределение семей граждан страны по уровню годового дохода. Постройте кривую Лоренца.

Группы семей по уровню доходов	Доля от общей суммы доходов, %
Беднейшие 20%	3,7
Вторые 20%	9,0
Средние 20%	15,0
Четвертые 20%	23,0
Высшие 20%	49,3

Решение. Кривая Лоренца представляет собой графический метод определения неравномерности распределения совокупного дохода общества между различными группами населения. Построение кривой происходит следующим образом. Вначале все население страны и совокупный доход общества делятся на 5 частей – квинтилей (квинтиль – это 1/5 часть исследуемой совокупности), т.е. по 20 %. Далее определяется, какой % дохода получают каждые 20 % населения. На основании этих данных производятся расчеты кумулятивных (накопленных) долей и строится кумулятивная кривая, которая показывает фактическое распределение дохода в обществе.

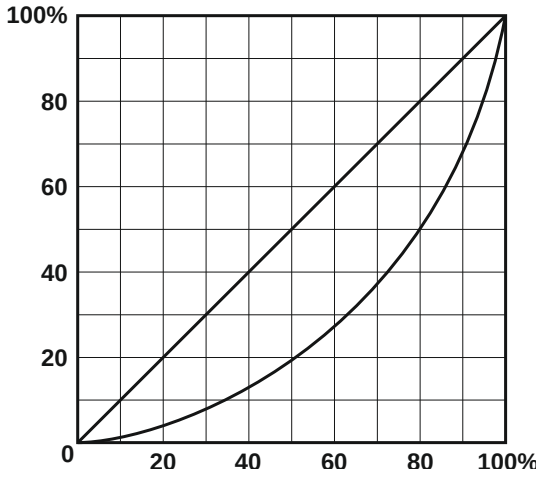
Прямая линия, проводимая из начала осей координат (биссектриса), дает представление о равном распределении дохода. Это линия абсолютного равенства. Линия абсолютного неравенства идет под прямым углом (ломаная линия). Точки на ней означают, что все население не получает никакого дохода, кроме одного – единственного, последнего в ряду человека, который присваивает 100 % всего дохода.

Следует отметить, что чем больше кривая Лоренца отклоняется от линии абсолютного равенства и, соответственно, становится ближе к линии абсолютного неравенства, тем больше неравенство в персональном распределении доходов в обществе.

Учитывая то, что построение кривой Лоренца осуществляется с использованием кумулятивного метода, представим имеющиеся данные в виде, необходимом для графического изображения.

Группы семей по уровню доходов	Доля от общей суммы доходов, %	Доля от общей численности семей нарастающим итогом, %	Доля от общей суммы доходов нарастающим итогом, %
Беднейшие 20%	3,7	20	3,7
Вторые 20%	9,0	40	12,7
Средние 20%	15,0	60	27,7
Четвертые 20%	23,0	80	50,7
Высшие 20%	49,3	100	100

Используя две последних колонки таблицы, строим кривую Лоренца.



Раздел 2. ОСНОВЫ МИКРОЭКОНОМИКИ

Тема 2.1. Спрос и предложение. Формирование рыночной цены

Спрос и эластичность спроса

1. Известно, что товар X приобретается всего двумя потребителями, и при этом спрос первого потребителя описывается функцией $Qd_1 = 90 - P$, а спрос второго – функцией $Qd_2 = 240 - 2P$. Чему будет равна цена при величине рыночного спроса 42?

2. Как изменится спрос на товар, если изменится цена на товар-субститут: а) спрос на уголь (при росте цены на нефть); б) спрос на чай (при росте цены на кофе); в) спрос на мясо кур (при снижении цены на мясо говядины). В каком направлении сдвинется кривая спроса на эти товары, т. е. уголь, чай, мясо кур?

3. Как изменится спрос на товар, если изменится цена на товар-комплемент: а) спрос на ягоды (при росте цены на сахар); б) спрос на фотоаппараты (при росте цены на

фотопленку); в) спрос на энергоемкие марки автомобилей (при росте цены на бензин). В каком направлении сдвинется кривая спроса на эти товары, т. е. ягоды, фотоаппараты, автомобили?

4. По цене P_1 = 100 руб. было продано 100 000 т картофеля, а когда цену повысили до P_2 = 120 руб., то – 80 000 т. Определите коэффициент эластичности спроса на картофель по цене.

5. В результате повышения цены товара с 5 до 7 ден. ед. объем спроса на него сократился с 9 до 7 млн шт. Определите коэффициент эластичности спроса на товар по цене.

6. При повышении цены на товар с 20000 до 40000 руб. за 1 шт. объем спроса на него сократился со 100 до 50 шт. в день. Определите, чему в этом случае будут равны коэффициент эластичности спроса на товар по цене и изменение общей выручки продавца.

7. Коэффициент эластичности спроса на данный товар по цене равен 0,8, по доходу – 0,4. В предстоящем периоде доходы населения увеличатся на 10 %, цена товара снизится на 5 %. На сколько процентов изменится объем спроса на данный товар?

8. Коэффициент эластичности спроса на данный товар по цене равен – 0,5, а по доходу + 0,9. В предстоящем периоде доходы населения увеличатся на 4 %, а цена товара уменьшится на 3 %. Как изменится объем спроса на данный товар?

9. Коэффициент перекрестной эластичности спроса на товар *X* по цене товара *Y* равна +1,5. Что вы можете сказать об этих двух товарах? О чем свидетельствует величина коэффициента эластичности?

Предложение и эластичность предложения

10. На рынке товара три производителя, предложение которых задано следующими уравнениями: $Qs_1 = 2P - 10$; $Qs_2 = 3P$; $Qs_3 = P + 5$. Определите и исследуйте эластичность во всех трех случаях.

11. На рынке товара все производители имеют одинаковые индивидуальные функции предложения $Qs = 2P - 10$. Рассчитайте коэффициент эластичности предложения товара по цене, если P = 45 руб. и число производителей на рынке равно: а) 20; б) 50; в) 100.

Микроэкономическое равновесие

12. Предположим, что общий объем спроса и предложения пшеницы в месяц характеризуется данными, представленными в таблице.

Таблица

P, $/т	Qd, тыс. т	Qs, тыс. т
3,4	85	72
3,7	80	73
4,0	75	75
4,3	70	77
4,6	65	79
4,9	60	81

А. Какова будет равновесная цена пшеницы? Каков равновесный объем? Покажите графически.

Б. Допустим, правительством установлен потолок цены 3,7 $ за 1 т. Какие последствия влечет данная цена? Покажите графически.

В. Допустим, правительством установлен пол цены 4,6 $ за 1 т. Какие последствия влечет данная цена? Покажите графически.

13. Функция спроса на товар А: Qd = 8 – 2P, а функция предложения: Qs = – 7 + 3P. Определите равновесную цену товара и равновесный объем продаж. Что произойдет, если правительство установит цену на уровне 5 руб.?

14. На рынке соевых бобов функции спроса и предложения следующие: Qd = 100 – 10P; Qs = 20 + 5P, где Qd – величина спроса, кг; Qs – величина предложения, кг; P – цена,

долл. Каков будет результат при назначении правительством нижнего уровня цены в 7 долл.?

15. Спрос и предложение на рынке некоторого продукта описываются уравнениями: Qd = 25 – 0,2P и Qs = 4P – 80, где Qd – объем спроса (тыс. шт.); Qs – объем предложения (тыс. шт.), P – цена, ден. ед. Государство вмешалось и установило минимальную цену на товар в размере 30 ден. ед. за 1 тыс. шт.

Задание 1. Выберите из предложенных ниже вариантов один правильный ответ и вставьте в предложение.

Примером рынка с таким участием государства может служить рынок _____ .

Варианты: крепких спиртных напитков; товаров первой необходимости; пшеницы в сверхурожайный год; горюче-смазочных материалов.

Задание 2. Выберите из предложенных ниже вариантов два правильных ответа и вставьте в предложение.

Установление минимальной цены имеет целью помочь _____ и приведет к ситуации _____ товара на рынке.

Варианты: дефицита, потребителям, товаропроизводителям, излишка.

Задание 3.Решите задачу.

До вмешательства государства рынок характеризовался как равновесный с объемом продаж _____ тыс. шт.

16. Рынок цемента характеризуется следующими функциями спроса и предложения: Qd = 12 – P; Qs = – 3 + 2P. Определите: 1) какая сумма налога будет собрана с продажи цемента, если государство установит 50 % налога с оборота (выручки); 2) насколько возрастет объем продажи цемента при отмене налога?

Примеры решения типовых задач

1. Товар *X* приобретается потребителями, принадлежащими к двум разным группам. Численность первой группы 100 чел., а второй – 200 чел. Спрос типичного потребителя, принадлежащего к первой группе, описывается функцией $Qd_1 = 50 - P$, ко второй – $Qd_2 = 60 - 2P$. Чему равна величина рыночного спроса при значении цены 22?

Решение. Рыночный спрос определяется как сумма индивидуальных спросов всех потребителей на рынке данного товара. Поэтому для определения величины рыночного спроса необходимо суммировать обе функции, учитывая количество потребителей в каждой группе: $100\ (50 - P) + 200\ (60 - 2P) = 5000 - - 100P + 12000 - 400P = 17000 - 500P$. Подставив вместо P значение цены, равное 22, определяем величину спроса, которая составит 96.

2. Является ли предложение товара эластичным, если известно следующее:

Таблица

Рыночные данные

Цена, руб.	1500	1700
Объем предложения, шт.	30000	34000

Решение. Определяем коэффициент эластичности предложения по цене товара с использованием следующей формулы:

$$Es = \frac{\Delta P}{\Delta Q} \cdot \frac{P_1 + P_2}{(Q_1 + Q_2)}.$$

Получаем, что

$$Es = \frac{(34000 - 30000)}{(1500 + 1700)} = \frac{4000}{3200} = 1.$$

$$\frac{(17000 - 15000)}{(30000 + 34000)} \cdot \frac{200}{64000}$$

Таким образом, мы имеем дело с предложением единичной эластичности по цене.

3. Функция спроса на товар $Qd = 2500 - 200P$, а предложения – $Qs = 1000 + 100P$. Определите равновесную цену и равновесный объем товара. Что произойдет в случае, если правительство зафиксирует цену товара на уровне 3 руб.?

Решение. В условиях рыночного равновесия объем спроса и объем предложения равны. Поэтому мы можем приравнять обе функции: $Qd = Qs$, т. е. $2500 - 200P = 1000 + 100P$. Решив это уравнение, найдем равновесную цену: $P^* = 5$ руб. Подставив значение цены в любую из функций, определим равновесный объем товара: $Q^* = 1500$ ед.

Если правительство зафиксирует цену товара на уровне 3 руб., объем спроса (Qd) будет равен 1900 ед., а объем предложения (Qs) – 1300 ед. Иначе говоря, на рынке образуется товарный дефицит, равный разнице между объемом спроса и объемом предложения: $Qs - Qd = 1300 - 1900 = -600$ ед.

4. Допустим, функциями спроса и предложения холодильников «Север» являются соответственно $Qd = 400 - P$ и $Qs = 2P - 260$, где Qd – величина спроса на холодильники, тыс. шт.; Qs – величина предложения холодильников, тыс. шт.; P – цена, ден. ед. Определите, к чему приведет введение налога с оборота (выручки) в размере 12,5 % от цены.

Решение. До введения налога равновесная цена товара на рынке составляла 220 ден. ед., а *равновесное* количество – 180 тыс. шт. (пояснения в предыдущей задаче). После введения налога в распоряжении производителя остается 7/8 цены, что уменьшает предложение: $Qs = 2(7/8)P - 260$. Поэтому новая цена равновесия равна 240 ден. ед., а объем продаж – 160 тыс. шт. При этом общая выручка уменьшается с 39,6 до 38,4 млн ден. ед., а выручка, оставшаяся в распоряжении производителя, – с 39,6 до 33,6 млн ден. ед.

Тема 2.2. Теория потребительского выбора

Количественная теория полезности

1. Если некто потребляет 8 единиц товара при совокупной полезности 38 ютилей и 9 единиц при совокупной полезности 45 ютилей, чему равна предельная полезность (в ютилях) 9-й потребленной единицы?

2. Заполните пустые ячейки таблицы и постройте кривые общей и предельной полезности товара.

Таблица

Полезность товара

Номер единицы товара	Общая полезность	Предельная полезность
1	?	20
2	37	?
3	51	?
4	?	11
5	71	9

3. Цена товара A составляет 3 руб., цена товара B – 1,5 руб. Потребитель максимизирует удовлетворение от покупки товаров A и B. При этом он оценивает предельную полезность товара B в 60 единиц. Как потребитель оценивает предельную полезность товара A?

4. В таблице предельная полезность каждого продукта для потребителя считается независимой от количества другого продукта. Цена продукта X составляет 2 долл., а цена продукта Y – 1 долл.

А. Изобразите кривые предельной и общей полезности блага *X*.

Б. Ответьте, сколько единиц каждого продукта купит потребитель при доходе в 12 долл.?

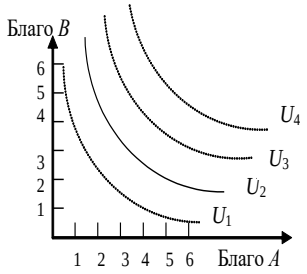
Таблица

Предельная полезность продуктов

Продукт *X*		Продукт *Y*	
номер единицы	предельная полезность	номер единицы	предельная полезность
1	40	1	22
2	35	2	20
3	30	3	18
4	25	4	16
5	20	5	14
6	15	6	12
7	10	7	10
8	5	8	8

Сравнительная теория полезности

5. На рисунке представлена карта кривых безразличия.



А. Каков экономический смысл кривой безразличия?

Б. Что означает форма и положение кривой U_2, т. е. ее отрицательный наклон и выпуклость по отношению к началу координат?

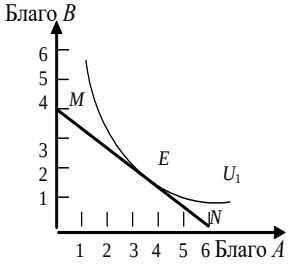
В. Что означают кривые безразличия, расположенные выше и ниже U_2?

Г. Могут ли пересекаться кривые безразличия?

Рис. Карта кривых безразличия

6. Допустим, некий потребитель считает, что ему одинаково полезно еженедельно выпивать как 8 стаканов молока и 3 стакана кефира, так и 6 стаканов молока и 4 стакана кефира. Чему в этом случае равна предельная норма замещения кефира молоком?

7. На рисунке представлены кривая безразличия и бюджетная линия.



А. Каков экономический смысл бюджетной линии *MN*? Чем определяется ее наклон? Если благо *B* подешевеет, как изменится наклон *MN*?

Б. Каковы возможности потребления в каждой точке на бюджетной линии?

В. Что означает для потребителя касание кривой безразличия U_1 и *MN* в точке *E*?

Г. Возможно ли касание U_1 линией *MN* в другой точке? Какие условия должны при этом измениться?

Д. Как можно выразить условия потребительского равновесия с помощью уравнения?

Рис. Касание кривой безразличия бюджетной линии

8. Потребитель имеет доход 3000 руб. На рисунке показаны две бюджетные линии и соответствующие им кривые безразличия.

А. Определите цену товара *Y*.

Б. Определите координаты двух точек линии спроса данного потребителя на товар *X*.

В. Напишите уравнения обеих бюджетных линий.

Г. Каков был бы доход потребителя, если бы цена товара *Y* равнялась 100 руб.?

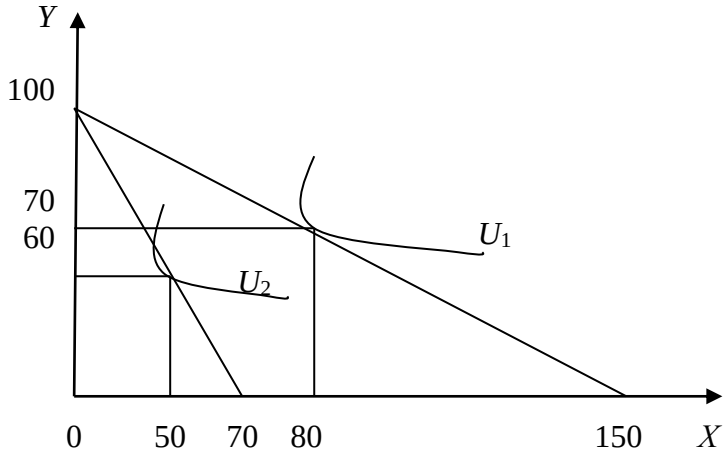


Рис. Ситуации равновесия потребителя

Эффекты спроса

9. На рис. 8 представлена кривая спроса.

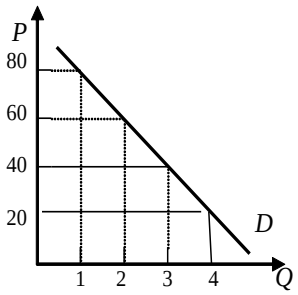


Рис. Кривая спроса

А. Какова рыночная цена первой, второй и третьей единиц блага при объеме рыночного спроса в 4 единицы блага?

Б. По какой максимальной цене потребитель оценивает каждую дополнительную единицу блага?

В. Сформулируйте понятие «излишек потребителя» и определите его величину при покупке 2, 3 и 4 единиц блага.

10. Функция спроса на товар задана уравнением $Qd = 50 - 2P$, а функция предложения уравнением $Qs = 5 + 3P$. Определите величину излишка потребителя.

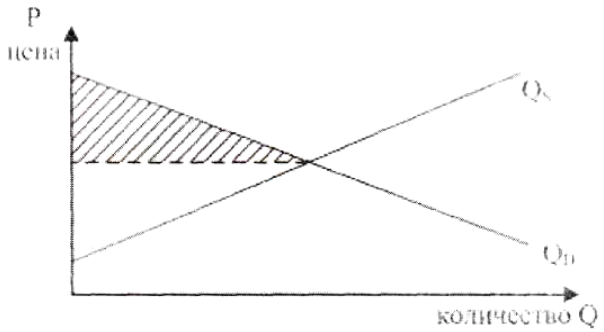


Рис. 9. Излишек потребителя

Примеры решения типовых задач

1. Используя данные рисунке, определите излишек потребителя при покупке трёх единиц блага.

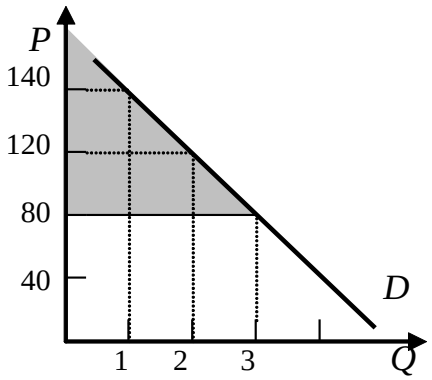


Рис. Излишек потребителя

Решение. На рисунке излишек потребителя – это окрашенная область, ограниченная сверху кривой спроса, а снизу – линией рыночной цены. Чем ниже цена, тем больше величина излишка потребителя.

При покупке трех единиц товара излишек потребителя составит:

$$(140 + 120 + 80) – (80 + 80 + 80) = 100 \text{ ден. ед.}$$

Примеры решения типовых задач

2. Представим гипотетическую ситуацию. Вы пришли в магазин за покупками, имея определенное количество денег (350 руб.). В магазине имеется два интересующих вас блага: благо *A* и благо *B*, цены которых соответственно равны 50 и 100 руб.

Таблица

Информация по предпочтениям покупателя

Номер единицы блага	Благо *A*		Благо *B*	
	MU_A	MU_A/P_A	MU_B	MU_B/P_B
1	5		9	
2	4		6	
3	3		5	
4	2		3	
5	1		1	
6	0,5		0,8	

*Решение***.** Рассчитаем отношение предельной полезности к цене для каждого из благ.

Таблица

Отношение предельной полезности к цене для каждого из благ

Номер единицы блага	Благо *A* (P_A = 50 руб.)		Благо *B* (P_B = 100 руб.)	
	MU_A	MU_A/P_A	MU_B	MU_B/P_B
1	5	0,1	9	0,09
2	4	0,08	6	0,06
3	3	0,06	5	0,05
4	2	0,04	3	0,03
5	1	0,02	1	0,01
6	0,5	0,01	0,8	0,008

Второй закон Г. Госсена гласит, что при максимизации общей полезности отношения предельных полезностей к цене для каждого из благ должны быть равны. Из табл. 9 видно, что данное условие соблюдается при комбинациях: 1) $3A + 2B$; 2) $6A + 5B$.

Проверим достаточность располагаемых средств для приобретения каждой из этих комбинаций:

1) необходимый бюджет = 3 · 50 + 2 · 100 = 350;
2) необходимый бюджет = 6 · 50 + 5 · 100 = 800.

Таким образом, при комбинации 3*A* + 2*B* общая полезность от покупки и потребления двух благ окажется максимальной.

3. На перемене студент решает выпить сок и/или съесть 1–2 порции салата. Проанализируйте его бюджетные возможности, если стакан сока стоит 50 руб., порция салата – 100 руб., а денежные средства, которые он готов потратить на еду, ограничиваются 200 руб.

*Решение***.** Если студент потратит все деньги на сок, то он сможет приобрести 4 стакана (200 : 50 = 4), если же он все деньги потратит на салаты, то сможет максимум купить 2 порции (200 : 2 = 2).

Отложим на графике полученные точки и соединим их прямой, получим бюджетную линию. Совокупность потребительских наборов, лежащих левее и ниже данной прямой, будет являть собой бюджетную область рассматриваемого потребителя.

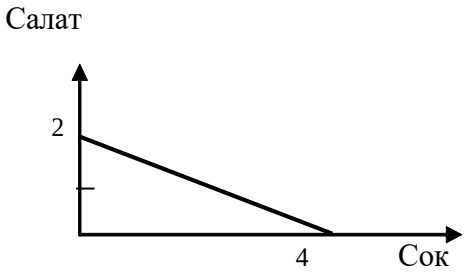


Рис. Бюджетная линия

Тема 2.3. Производство экономических благ. Издержки и прибыль предприятия

1. Если производственная функция определяется уравнением Q = 100 + + 12K + 10L, то какой вид имеют уравнения предельного продукта капитала и предельного продукта труда?

2. Заполните пустые ячейки табл. 10. На основе имеющихся данных изобразите кривые TP_L, MP_L, AP_L. Объясните действие закона убывающей отдачи.

Таблица

Общие, предельные и средние продукты труда

K	L	TP_L	MP_L	AP_L
10	0	0		
10	1	15		
10	2	40		
10	3	63		
10	4	76		
10	5	85		
10	6	90		
10	7	91		
10	8	88		

3. Заполните пропуски в таблице

Таблица

Общие, предельные и средние продукты труда

Объем применения	Общий выпуск	Предельный	Средний

переменного ресурса	продукции	продукт	продукт
3	9	-	?
4	?	30	?
5	140	?	?
6	?	?	25

4. Фирма использует в производстве товара капитал (K) и труд (L), при этом $MP_K = 8$, а $MP_L = 20$. Цены единиц факторов производства: $P_K = 4$, $P_L = 10$. Является ли оптимальным использование ресурсов фирмой с точки зрения минимизации издержек?

5. В производстве некоего вида товара требуется два фактора: труд и земля. В каких из нижеперечисленных случаев достигается минимизация издержек?

Таблица

Предельные продукты и цены факторов производства

Случай	Предельный продукт земли	Цена земли	Предельный продукт труда	Цена труда
1	6	2	9	3
2	16	8	15	5
3	9	2	8	2
4	20	5	16	4

6. Предположим, что конкурирующая фирма использует 2 фактора в производственном процессе: труд и капитал. Предельный продукт труда составляет 10 ед. продукции, а предельный продукт капитала – 25 ед. Чему будет равна цена ед. капитала, если цена труда равна 5 ден. ед. и предприятие максимизирует прибыль?

7. Предположим, что производительность труда и капитала равны значениям, указанным в табл. 13. Цена единицы продукции, производимой с помощью этих факторов производства, равна 1$. Цена единицы труда составляет 2$, цена единицы капитала – 3$. Определите, каково соотношение труда и капитала, обеспечивающее предприятию: а) минимальные издержки; б) максимальную прибыль?

Таблица

Цены и предельные продукты капитала и труда

K	MP_K	MRP_K	MRP_K/P_K	L	MP_L	MRP_L	MRP_L/P_L
1	24			1	22		
2	21			2	18		
3	18			3	16		
4	15			4	14		
5	9			5	12		
6	6			6	8		
7	3			7	2		
8	1			8	1		

8. Заполните пустые ячейки табл. 14.

Таблица 14

Определение предельного продукта труда в денежном выражении

Единицы труда	Совокупный продукт	Предельный продукт	Цена, руб.	Совокупный доход	Предельный продукт в денежной форме, руб.
1	10		5		
2	19		5		
3	27		5		

4	34		5		
5	40		5		
6	45		5		
7	49		5		
8	52		5		
9	54		5		
10	55		5		

9. В нижеприведенных примерах MRP_L и MRP_K – величины предельных продуктов в денежном выражении труда и капитала, а P_L и P_K – цены на них. Определите, соответствуют ли в каждом случае условия для достижения предприятием максимальной прибыли. Если нет, то укажите, какие ресурсы следует использовать в большем или меньшем количестве.

А. MRP_L = 8\$; P_L = 4\$; MRP_K = 8\$; P_K = 4\$.

Б. MRP_L = 10\$; P_L = 12\$; MRP_K = 14\$; P_K = 9\$.

В. MRP_L = 6\$; P_L = 6\$; MRP_K = 12\$; P_K = 12\$.

Г. MRP_L = 12\$; P_L = 26\$; MRP_K = 16\$; P_K = 19\$.

10. Дана производственная функция: $Q = 7x_1 + 4x_2 - 3$. Цена выпускаемой продукции равна 5. Найдите: а) предельный продукт факторов x_1 и x_2; б) предельный доход факторов x_1 и x_2; в) предельную норму технологического замещения фактора x_1 фактором x_2.

11. Что собой представляет изокванта? Назовите и поясните свойства изокванты. Каких видов она бывает? Постойте изокванту по следующим данным: $3x_1 + 5x_2 = 15$.

12. Объем производства увеличивается. Проследите, как изменяются общие, постоянные, переменные и др. издержки. Что вы понимаете под этими издержками? Заполните таблицу, показав, как рассчитываются все виды издержек.

Таблица

Определение различных видов издержек производства

Выпуск продукции (в шт.) *Q*	Общие издержки *TC*	Общие постоянные издержки *TFC*	Общие переменные издержки *TVC*	Средние общие издержки *ATC*	Средние постоянные издержки *AFC*	Средние переменные издержки *AVC*	Предельные издержки *MC*
0	20						
1	30						
2	50						
3	80						
4	120						
5	170						

13. Заполните пустые ячейки таблицы

Таблица

Определение различных видов издержек производства

Q	*FC*	*VC*	*TC*	*AFC*	*AVC*	*ATC*	*MC*
0	60	0					
1	60	45					
2	60	85					
3	60	120					
4	60	150					
5	60	185					
6	60	225					
7	60	270					

8	60	325					
9	60	390					
10	60	465					

А. Изобразите кривые *FC, VC, TC*. Объясните, каким образом закон убывающей отдачи воздействует на форму кривых *VC* и *TC*.

Б. Изобразите кривые *AFC, AVC, ATC, MC*. Объясните, почему кривая *MC* пересекает кривые *ATC* и *AVC* в точках их минимума?

14. В краткосрочном периоде фирма производит 500 ед. продукции. Средние переменные издержки – 20 руб., средние постоянные издержки – 5 руб. Чему будут равны общие издержки?

15. В краткосрочном периоде фирма производит 500 ед. продукции. Средние переменные издержки составляют 2 долл., средние постоянные издержки – 0,5 долл. Чему будут равны общие издержки?

Примеры решения типовых задач

1. Заполните пропуски в таблице, отражающей зависимость результативности производства от объема используемого труда.

Таблица

Зависимость результативности производства от объема используемого труда

Объем труда, L	Объем выпуска, Q	Предельный продукт труда, MP_L	Средний продукт труда, AP_L
1	?	?	1000
2	?	1000	?
3	2790	?	?
4	?	610	?
5	?	?	770

Решение. Предельный продукт труда, или предельная производительность труда – это количество экономического блага, произведенное при использовании дополнительной единицы труда. Его величина определяется по формуле $MP_L = \Delta Q / \Delta L$.

Если известен MP_L, то $\Delta Q = MP_L \cdot \Delta L$, а $Q_1 = Q_0 + \Delta Q$.

Средний продукт, или средняя производительность, труда – это количество экономического блага, приходящееся на единицу труда. Его величина определяется по формуле $AP_L = Q / L$.

Если известен AP_L, то $Q = AP_L \cdot L$.

Сделаем необходимые расчёты и заполним пропуски в табл.

Таблица

Зависимость результативности производства от объема используемого труда

Количество труда, L	Объем выпуска, Q	Предельный продукт труда, MP_L	Средний продукт труда, AP_L
1	1000	-	1000
2	2000	1000	1000
3	2790	790	930
4	3400	610	850
5	3850	450	770

2. Производственные функции фирм *A* и *B* заданы соответст-вующими уравнениями: $Q_A = 7K^2 + 8L^2 - 5KL$ и $Q_B = 2KL^2 + 400$, где K – количество единиц оборудования; L – количество труда рассматриваемых фирм. У какой фирмы предельная производи-

тельность труда выше, если на обоих производствах используется 5 ед. оборудования и 10 ед. труда?

Решение. Предельная производительность труда по фирме *A*:

$MP_L = Q_A`(L) = 16L - 5K$. При $L = 10$ ед., $K = 5$ ед.: $MP_L = 16 \cdot 10 - 5 \cdot 5 = 185$.

Предельная производительность труда по фирме *B*:

$MP_L = Q_B`(L) = 4\,K\,L$. При $L = 10$ ед., $K = 5$ ед.: $MP_L = 4 \cdot 5 \cdot 10 = 200$.

Таким образом, у фирмы *B* предельная производительность труда выше.

Задача 3. Вы создали собственную фирму. По окончании года, по расчетам бухгалтера, прибыль составила 8 млн руб. Насколько прибыльным оказался ваш бизнес, с вашей точки зрения, принимая во внимание тот факт, что вам пришлось оставить работу, которая приносила ежегодный доход в 3 млн руб. Кроме того, для создания фирмы вы вложили собственные денежные средства в размере 10 млн руб. Ставка процента составляет 20 % годовых. Будете ли вы иметь экономическую прибыль и чему она будет равна?

Решение. Экономическая прибыль = бухгалтерская прибыль – внутренние (неявные) издержки.

Внутренние (неявные) издержки = $3 + 10 \cdot 0{,}2 = 5$ млн руб.

Экономическая прибыль = $8 - 5 = 3$ млн руб.

Задача 4. Задана зависимость валовых издержек предприятия (*TC*) от выпуска продукции (*Q*).

Таблица

Зависимость валовых издержек предприятия от выпуска продукции

Выпуск продукции	0	1	2	3	4	5	6
Валовые издержки	60	100	130	155	190	245	335

Рассчитайте: постоянные (*FC*), переменные (*VC*), предельные (*MC*), средние общие (*ATC*), средние постоянные (*AFC*), средние переменные (*AVC*) издержки.

Решение. Постоянные издержки (*FC*) – это издержки, величина которых не изменяется при изменении объема производства. $FC = TC$ при $Q = 0$.

Переменные издержки (*VC*) – это издержки, величина которых изменяется при изменении объема производства. $VC = TC - FC$.

Средние издержки (*ATC*) – это издержки на производство единицы экономического блага. $ATC = TC/Q$.

Средние постоянные издержки: $AFC = FC/Q$.

Средние переменные издержки: $AVC = VC/Q$.

Предельные издержки (*MC*) – это издержки, связанные с производством дополнительной единицы продукции. $MC = \Delta TC/\Delta Q$.

Сделаем необходимые расчёты и запишем все данные в табл.

Таблица

Определение издержек производства

Q	*TC*	*FC*	*VC*	*MC*	*ATC*	*AFC*	*AVC*
0	60	60	0	–	–	–	–
1	100	60	40	40	100,0	60	40,0
2	130	60	70	30	65,0	30	35,0
3	155	60	95	25	51,7	20	31,7
4	190	60	130	45	47,5	15	32,5
5	245	60	185	55	49,0	12	37,0
6	335	60	275	90	55,8	10	45,8

Задача 5. Предприятие находится в условиях совершенной конкуренции. Цена продукции, создаваемой фирмой, установилась на уровне 10 руб. Зависимость валовых издержек от выпуска продукции представлена в таблице. Какой объем производства выберет предприятие, максимизирующее прибыль?

Таблица

Зависимость валовых издержек от выпуска продукции

Выпуск продукции	10	11	12	13	14	15
Валовые издержки	80	86	93	102	112	125

Решение. Конкурентное предприятие постоянно старается пребывать в состоянии равновесия, которому соответствует оптимальный объем производства, обеспечивающий максимальную экономическую прибыль или минимальные убытки. Экономическая прибыль (убытки) = *TR* – *TC*. Если *TR* > *TC*, то главной целью предприятия является максимизация экономической прибыли, если *TR* < *TC*, то минимизация убытков.

Условием равновесия предприятия является равенство предельных издержек и предельного дохода, т. е. *MC* = *MR*. В условиях совершенной конкуренции *MR* = *P*. Поэтому для решения задачи будем учитывать условие: *P* = *MR*.

Определим предельные издержки по формуле $MC = \Delta TC/\Delta Q$, где *Q* – объем выпуска, *TC* – валовые издержки. Запишем полученные данные в таблице

Таблица

Зависимость предельных издержек от выпуска продукции

Выпуск продукции	10	11	12	13	14	15
Предельные издержки	–	6	7	9	10	12

Таким образом, объем производства, который выберет предприятие, максимизирующее прибыль, равен 14 ед., так как при данном объеме достигается равенство цены продукции и предельных издержек.

Тема 2.4. Поведение предприятия в условиях совершенной и несовершенной конкуренции

Предприятие в условиях совершенной конкуренции

1. Предприятие находится в условиях совершенной конкуренции. Цена установилась на уровне 10 руб. Зависимость общих затрат от выпуска продукции представлена в таблице

Таблица

Зависимость общих затрат от выпуска продукции

Q	*TC*
10	80
11	86
12	93
13	102
14	113
15	125

Какой объем производства выберет это предприятие, если оно максими-зирует прибыль?

2. Заполните пустые ячейки таблицы. Определите:

а) какой объем производства обеспечивает конкурентному предприятию максимальную экономическую прибыль;

б) не обнаруживает ли динамика экономических показателей развития данного предприятия действие закона убывающей отдачи;

в) при каком соотношении *MR* и *MC* данное предприятие примет решение о прекращении наращивания объемов производства.

Таблица

Определение оптимального объема производства

Q	*P*	*TR*	*TC*	*TR – TC*	*MR*	*MC*
0	40		50			
1	40		100			
2	40		128			
3	40		148			
4	40		162			
5	40		180			
6	40		200			
7	40		222			
8	40		260			
9	40		305			
10	40		360			
11	40		425			

3. Кривая долгосрочных средних общих издержек фирмы (*LATC*), функционирующей в некоторой отрасли, имеет следующий вид:

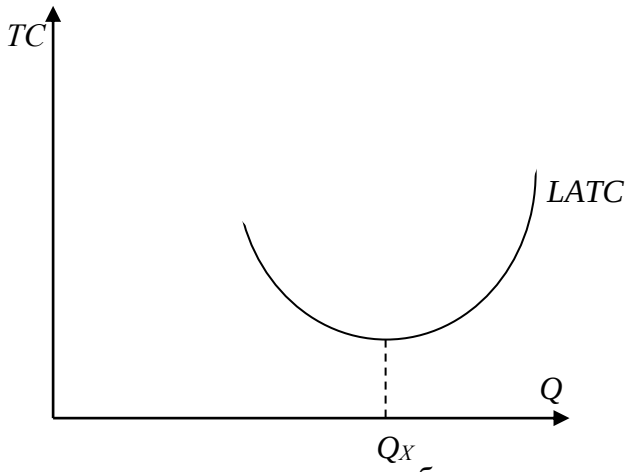


Рис. Кривая долгосрочных средних общих издержек фирмы

и задана функцией $LATC = Q^2 - 4Q + 14$, где Q – количество продукции. Каждая единица продукции в краткосрочном периоде реализуется по цене 20 ден. ед.

Задание 1. Выберите из предложенных ниже вариантов один правильный ответ и вставьте в предложение.

Фирмы, работающие на таком рынке, функционируют в условиях _____ .

Варианты: совершенной конкуренции; монополистической конкуренции; олигополии; монополии.

Задание 2. Выберите из предложенных ниже вариантов не менее двух правильных ответов и вставьте в предложение.

Форма кривой долгосрочных средневаловых издержек определяется _____ и до точки Q_X иллюстрирует действие_____ .

Варианты: эффекта масштаба производства; отрицательного эффекта масштаба производства; закона убывающей отдачи; положительного эффекта масштаба производства.

Задание 3.Решите задачу.

Цена в долгосрочном периоде установится на уровне _____ ден. ед.

4. Фирма, функционирующая на рынке совершенной конкуренции, выпекает 4 млн буханок хлеба в месяц. Если средние переменные издержки составляют 2,5 руб., а средние постоянные издержки – 0,5 руб., то какую прибыль фирма получит за месяц при цене 3,5 руб. за буханку?

Предприятие в условиях несовершенной конкуренции

5. Функция спроса монополиста имеет вид $P = 40 – 4Q$, а функция совокупных издержек $TC = 5Q^2 + 4Q + 750$. Определите объем производства (в тыс. ед.) фирмы в условиях краткосрочного равновесия.

6. Спрос на продукцию монополизированной отрасли описывается функцией $Q = 200 – P$, а восходящий отрезок кривой предельных издержек выражен функцией $MC = 5Q – 10$. При какой цене монополист обеспечит себе максимальную экономическую прибыль?

7. Функция рыночного спроса имеет вид $P = 42 – Q$, а функция совокупных издержек фирмы $TC = Q^2 + 2Q + 35$. Определите оптимальный объем производства и цену в условиях совершенной конкуренции и чистой монополии.

8. Предприятие-монополист, у которого постоянные издержки равны 7500 тыс. руб., запланировало на следующий год следующие показатели:

Таблица

Показатели предприятия-монополиста

P, руб./шт.	400	375	350	325	300
Q, тыс. шт.	40	50	70	95	105
TC, тыс. руб.	17500	19700	22800	26000	28000

Определите наиболее выгодные для предприятия *P* и *Q* с помощью двух методов: сопоставление *TR* и *TC*, сопоставление *MR* и *MC*. Дайте графическую иллюстрацию полученным результатам.

9. Функция спроса на продукцию монополиста имеет вид $P = 14 – 5Q$, а функция совокупных издержек – $TC = 2Q^2 + 80$. Определите коэффициент рыночной власти данной фирмы.

10. Среди участников отраслевого рынка представлены 4 компании, которые занимают следующие доли: 10, 20, 32 и 38 %. Определите индекс концентрации данной отрасли.

Примеры решения типовых задач

1. Если общие издержки производства описаны в таблице, то какой объем производства выберет фирма в условиях совершенной конкуренции при сложившейся цене одной ед. в 60 руб. и размере постоянных издержек 60 руб.?

Таблица

Зависимость общих затрат от выпуска продукции

Q	1	2	3	4	5	6
TC	100	130	170	222	281	351

Решение. Заполним таблицу данными о предельных издержках, рассчитав их по формуле $MC = \Delta TC / \Delta Q$.

Таблица

Зависимость общих и предельных затрат от выпуска продукции

Q	1	2	3	4	5	6

TC	100	130	170	222	281	351
MC	40	30	40	52	59	70

Фирма – совершенный конкурент – выберет такой объем производства, при котором предельные издержки не превышают цену (равны или чуть ниже ее уровня). Отсюда находим объем производства: он равен 5 ед. Выручка составит 300 руб. = 5 ед. · 60 руб., а затраты 281 руб. Отсюда прибыль равна 19 руб.

2. На рынке в условиях совершенной конкуренции действуют 10 фирм, общие издержки которых описываются одинаковой функцией $TC = Q^2 - - 10Q + 35$. Рыночный спрос задан функцией $Q = 110 - P$. Найти равновесную цену (P^*) и объем производства (Q^*) для каждой из этих фирм.

Решение. Определим предельные издержки как первую производную общих издержек: $MC = 2Q - 10$. Учитывая, что $MC = P$, рассчитаем индивидуальное предложение каждой из фирм: $P = 2Q - 10$; $Q = 0{,}5P + 5$. Рыночное предложение: $Q = 10\ (0{,}5P + 5) = 5P + 50$. Условием равновесия является равенство спроса и предложения: $110 - P = 5P + 50$; $P^* = 10$; $Q^* = 100$; объем производства отдельной фирмы $Q = 100/10 = 10$.

3. Функция спроса монополиста имеет вид $P = 50 - 10Q$, а функция совокупных издержек $TC = 5Q^2 + 20Q + 5$. Определите объем производства, обеспечивающий фирме максимальную прибыль.

Решение. Поскольку условием максимизации прибыли является равенство предельных издержек и предельных доходов, определим их величину и приравняем друг к другу.

Предельные издержки выводятся из функции совокупных издержек: $MC = TC`(Q) = 10Q + 20$.

Предельные доходы выводятся из функции совокупных доходов и функции спроса: $TR = P \cdot Q = (50 - 10Q)\ Q = 50Q - 10Q^2$; $MR = TR`(Q) = 50 - \quad -20Q$.

Приравняем полученные функции предельных издержек и предельных доходов и определим величину оптимального объема производства: $10Q + 20 = = 50 - 20Q$; $30Q = 30$; $Q^* = 1$ тыс. ед.

Оптимальная цена выводится из функции спроса:

$$P = 50 - 10Q = 50 - 10 \cdot 1;\ P^* = 40 \text{ руб.}$$

4. Функция спроса монополиста имеет вид $P = 5000 - 17Q$, функция совокупных издержек – $TC = 75000 + 200Q - 17Q^2 + Q^3$. Определить: объем производства, обеспечивающий фирме максимальную прибыль; оптимальную рыночную цену; величину совокупной прибыли.

Решение. Условием максимизации прибыли является $MC = MR$. Найдем MC и MR из данных уравнений:

1. $TR = PQ = (5000 - 17Q)Q = 5000Q - 17Q^2$.

$MR = (TR)' = dTR/dQ = 5000 - 34Q$.

2. $MC = (TC)' = dTC/dQ = 200 - 34Q + 3Q^2$.

3. $MC = MR$; $200 - 34Q + 3Q^2 = 5000 - 34Q$; $3Q^2 = 4800$; $Q^* = 40$.

Оптимальный объем производства равен 40. Оптимальная рыночная цена находится путем подстановки оптимального объема производства (Q^*) в функцию спроса: $P = 5000 - 17Q$; $P = 5000 - 17 \cdot 40 = 4320$ руб.

Совокупная прибыль может быть найдена как разница между TC и TR при $Q^* = 40$. Прибыль = $TR - TC = 52000$ руб.

2. На рынке кондитерских изделий России конкурируют российские и зарубежные производители. Доля рынка представлена в таблице.

Таблица

Российские и зарубежные производители на рынке кондитерских изделий России

Компания	Доля рынка по стоимости, в %
Nestle	25,2

Объединенные кондитеры, в т. ч.	18,0
кондитерский концерн «Бабаевский»	8,4
фабрика «Красный октябрь»	6,0
фабрика «Рот Фронт»	3,6
Kraft Foods	12,9
Mars	11,2

Среди участников рынка шоколадной продукции важное место занимает кондитерский холдинг «Объединенные кондитеры», созданный в 2005 году. Индекс концентрации крупнейших иностранных корпораций, производящих кондитерские изделия, на российском рынке составляет более _____ %. (Ответ запишите с точностью до десятых).

Решение. Степень концентрации (индекс) рассчитывается как сумма рыночных долей крупнейших продавцов, действующих на рынке данного товара: $I = \sum S_i$, где S – рыночная доля производства (продаж) каждого предприятия отрасли. Из табл. 29 видно, что *Nestle, Kraft Foods, Mars* производят более 10 % каждая. Их суммарная доля составит: $I = 25{,}2 + 12{,}9 + 11{,}2 = 49{,}3$.

Раздел 3. ОСНОВЫ МАКРОЭКОНОМИКИ

Тема 3.1. Национальная экономика: цели и результаты развития

Система национальных счетов и её показатели

1. При производстве автомобилей на сумму 3,5 млн руб. фирма использовала полуфабрикаты на сумму 1 млн руб., выплатила рабочим заработную плату в размере 2 млн руб. Кроме того, она зачислила в амортизационный фонд 300 тыс. руб. Чему равна добавленная стоимость?

2. Производство одного трикотажного изделия проходит несколько этапов и на каждом этапе имеет свою стоимость: 1) овцеводческая ферма – 50 ден. ед.; 2) шерстеперерабатывающая фабрика – 100 ден. ед.; 3) трикотажное ателье – 200 ден. ед.; 4) предприятие оптовой торговли – 250 ден. ед.; 5) предприятие розничной торговли – 350 ден. ед. Найдите: стоимость конечного продукта, суммарную добавленную стоимость, величину исключаемого повторного счёта при расчёте ВВП.

3. Предположим, что продажные цены материалов и продукции для производства шерстяного костюма составили: шерсть – 60 ден. ед., шерстяная ткань – 100 ден. ед., костюм (цена производителя) – 125 ден. ед., костюм (оптовая цена) – 175 ден. ед., костюм (розничная цена) – 250 ден. ед. Найдите: стоимость конечного продукта, суммарную добавленную стоимость, величину исключаемого повторного счёта при расчёте ВВП.

4. На основании имеющихся статей расходов и доходов страны определите валовой национальный продукт по расходам, чистый национальный продукт, национальный доход, личный доход.

Показатели	Значения, млрд руб.
1. Государственные закупки товаров и услуг	70
2. Конечное потребление населения	220
3. Доходы от собственности	30
4. Чистый экспорт	34
5. Амортизационные отчисления	25
6. Дивиденды	10
7. Заработная плата наемных работников	200
8. Косвенные налоги на бизнес	15
9. Чистые внутренние инвестиции	28

10. Трансфертные выплаты	10
11. Налоги на доходы корпораций	28
12. Проценты на вложенный капитал	12
13. Прибыли корпораций	60
14. Рента	15

5. Определите личный располагаемый доход при наличии следующих данных (в ден. ед.): национальный доход – 3000, взносы на социальные нужды – 400, налоги на прибыль корпораций – 140, нераспределенная прибыль – 60, трансфертные платежи – 180, дивиденды – 40, подоходный налог – 20, налог на имущество физических лиц – 15.

6. Определите ВВП исходя из следующих данных (в ден. ед.): личные потребительские расходы – 300, зарплата наемных работников – 220, амортизация – 20, чистый экспорт – 15, прибыли корпораций – 55, госзакупки товаров и услуг – 60, чистые инвестиции – 28.

7. Определите чистый валовой продукт исходя из следующих данных (в ден. ед.): зарплата наемных работников – 300, арендная плата – 10, процент – 20, доход от собственности – 200, прибыль корпораций – 70, косвенные налоги – 16, амортизация – 13.

8. Известны следующие данные (в ден. ед.): ВНП – 5000, потребительские расходы – 3200, государственные расходы – 900, экспорт – 350, чистый экспорт – 80, амортизация – 150, косвенные налоги – 150. Найти: валовые инвестиции, величину импорта, чистый национальный продукт, национальный доход.

9. Известны следующие данные (в ден. ед.): государственные закупки – 57, личные потребительские расходы – 1810, экспорт – 367, импорт – 338, валовые инвестиции – 437, амортизация – 307, зарплата – 1442, рента – 33, процент на капитал – 201, косвенные налоги – 275, чистый факторный доход – 25. Найти валовой национальный продукт (ВНП).

10. Определите чистый национальный продукт (ЧНП) исходя из следующих данных: личные потребительские расходы – 255, зарплата наемных работников – 230, амортизация – 22, чистый экспорт – 5, прибыли корпораций – 56, госзакупки товаров и услуг – 70, чистые инвестиции – 38, трансферты – 15, чистый факторный доход – 3.

11. Известны следующие данные (в ден. ед.): государственные расходы – 70; потребительские расходы – 200; экспорт – 40; импорт – 30; валовые инвестиции – 100; амортизация – 30; зарплата – 170; рента – 50; процент на капитал – 80; косвенные налоги – 40; чистый факторный доход – 10. Найти чистый национальный продукт (ЧНП).

12. ВВП страны равен 4000 ден. ед., потребление – 2500, инвестиции – 400, государственные расходы – 1200, экспорт – 200. Чему равна величина импорта?

13. ВВП страны равен 5000 ден. ед., потребительские расходы – 3200, государственные расходы – 900, чистый экспорт – 80. Рассчитайте величину валовых инвестиций.

Индексы цен

14. Если номинальный ВВП страны за 2010 год составил 5 млрд ден. ед., а дефлятор ВВП в 2010 году равен 1,05, то реальный ВВП составил _____ млрд ден. ед.

15. Если номинальный ВВП страны за 2010 год равен 64 млрд ден. ед., а темп инфляции в 2010 году – 28 %, то реальный ВВП составил _____ млрд ден. ед.

16. В 1990 году номинальный ВВП составил 300 млрд долл. Через год дефлятор ВВП увеличился в 1,2 раза, а реальный ВВП вырос на 10 %. Определите номинальный ВВП в 1991 году, если 1990 год – базовый.

17. Предположим, что номинальный ВВП увеличился с 500 до 600 млрд долл., а дефлятор ВВП – со 125 до 150 %. Чему равна величина реального ВВП?

18. Допустим, что в экономике производится и потребляется три товара. Определите индекс потребительских цен в 2006 году, если 2005 год – базисный.

Товар	2005 год		2006 год	
	объем выпуска	цена	объем выпуска	цена
А	1500	4	1200	8

Б	1200	6	0	10
В	1200	10	1500	6

19. В экономике производятся только три товара: груши, гитары и гетры. Рассчитайте реальный ВВП и дефлятор ВВП в 2003 году, приняв за базовый 2002 год.

Товар	2002 год		2003 год	
	объем выпуска	цена	объем выпуска	цена
Груши	3	20	3	25
Гитары	35	6	40	5
Гетры	14	10	15	8

20. В стране производится только два товара: чай и кофе. Подсчитайте индекс Фишера 2003 года, приняв за базовый 2002 год.

Товар	2002 год		2003 год	
	объем выпуска	цена	объем выпуска	цена
Чай	1100	9	1000	6
Кофе	1200	4	1500	10

21. Рассчитайте дефлятор ВВП, если были произведены огурцы, помидоры и кабачки в количестве 100, 75 и 50 т соответственно и проданы по цене 100, 150 и 75 ден. ед. за 1 кг. В предыдущем году цены были: 60, 90 и 80 ден. ед. за 1 кг соответственно.

Межотраслевой баланс

22. Пусть по экономике страны, которая состоит только из трех отраслей, для отчетного года построен межотраслевой баланс и рассчитаны коэффициенты прямых затрат. Определить конечный спрос на продукцию трех отраслей.

Отрасль экономики	Коэффициенты прямых затрат продукции *i*-й отрасли на единицу продукции *j*-й отрасли (a_{ij})			Конечный спрос (y_{ij})	Выпуск (x_{ij})
	отрасль 1	отрасль 2	отрасль 3		
1	a_{11}=0,250	a_{12}=0,400	a_{13}=0,083	y_1= ?	x_1 =140
2	a_{21}=0,140	a_{22}=0,120	a_{23}=0,100	y_2= ?	x_2 =110
3	a_{31}=0,800	a_{32}=0,600	a_{33}=0,133	y_3= ?	x_3=420

23. Пусть по экономике страны, которая состоит только из двух отраслей, для отчетного года построен межотраслевой баланс и рассчитаны коэффициенты прямых затрат. Определить конечный спрос на продукцию двух отраслей.

Отрасль экономики	Коэффициенты прямых затрат продукции *i*-й отрасли на единицу продукции *j*-й отрасли (a_{ij})		Конечный спрос (y_{ij})	Выпуск (x_{ij})
	отрасль 1	отрасль 2		
1	a_{11}=0,2	a_{12}=0,3	y_1= ?	x_1 =476
2	a_{21}=0,5	a_{22}=0,5	y_2= ?	x_2 = 836

24. В экономике, состоящей из трех отраслей, технология производства характеризуется коэффициентами прямых затрат a_{ij}, представленными в таблице. При полном использовании производственных мощностей отрасль I может произвести 717,51; отрасль II – 1338,98; отрасль III – 1389,83 ед. продукции. Каков должен быть спрос на конечную продукцию этих отраслей, чтобы их производственные мощности использовались полностью?

Отрасль	I	II	III
I	0,1	0,2	0,2
II	0,3	0,2	0,4
III	0,3	0,4	0,1

Примеры решения типовых задач

1. Предположим, что имеется четырехстадийное производство, конечный продукт которого –1 кг хлеба: 1-я стадия – агропитомник продает агрофирме выращенные семена пшеницы и удобрения для производства зерна за 10 ден. ед.; 2-я стадия – агрофирма производит зерно, затрачивая при этом 60 ден. ед., и продает его за 70 ден. ед.; 3-я стадия – мельница покупает у агрофирмы зерно, производит муку, затратив 30 ден. ед., ипродает ее пекарне за 100 ден. ед.; 4-я стадия – пекарня выпекает хлеб, прибавив к стоимости муки 50 ден. ед., и продает его магазину за 150 ден. ед. Магазин, в свою очередь, продает 1 кг хлеба населению за 170 ден. ед. Найдите: стоимость конечного продукта, суммарную добавленную стоимость, величину исключаемого повторного счёта при расчёте ВВП.

Решение. В качестве конечного продукта в данном случае выступает 1 кг хлеба, который приобретают потребители и используют его по назначению – употребляют в пищу. Его стоимость – 170 ден. ед.

Суммарная добавленная стоимость равна стоимости конечного продукта. Порядок её формирования представлен ниже.

Стадия производства и реализации продукции	Стоимость продукции или сырья, ден. ед.	Добавленная стоимость, ден. ед.
1. Выращивание семян пшеницы и производство удобрений	10	10 – 0 = 10
2. Производство зерна	70	70 – 10 = 60
3. Помол муки	100	100 – 70 = 30
4. Выпекание хлеба и оптовая продажа	150	150 – 100 = 50
5. Розничная продажа	170	170 – 150 = 20
Всего	500	170

Величина исключаемого повторного счёта при расчёте ВВП равна сумме стоимостей промежуточной продукции – продукции, по отношению к которой цикл производства не завершён или она подлежит перепродаже: 10 + 70 + 100 + + 150 = 330 ден. ед.

2. Дано (в млрд руб.): личные потребительские расходы – 245; трансфертные платежи – 12; арендная плата – 14; амортизация – 27; взносы на социальные нужды – 20; проценты – 13; доход от собственности – 31; дивиденды – 16; чистый экспорт – 3; заработная плата наемных работников – 221; косвенные налоги на бизнес – 18; индивидуальные налоги – 26; нераспределенная прибыль корпораций – 21; прибыль корпораций – 56; налог на прибыль корпораций – 13; чистые инвестиции – 33; государственные закупки товаров и услуг – 72; чистый факторный доход – 4. Необходимо рассчитать: ВВП (по расходам и по доходам), ВНП, ЧНП, НД, ЛД, ЛРД.

Решение. Вначале рассчитаем ВВП с использованием метода по расходам по следующей формуле:

$$GIP = C + I_g + G + X_n,$$

гдеC – личные потребительские расходы (потребление), ден. ед.;

I_g – валовые инвестиции в экономику (инвестиции-брутто), ден. ед.; $I_g = I_n + I_r$;

I_n – чистые инвестиции (инвестиции-нетто), ден. ед.;

I_r– инвестиции замещения (направляются на обновление устаревших и изношенных основных фондов; финансируются за счёт амортизационных отчислений: $I_r = D$), ден. ед.;

D– амортизационные отчисления (амортизация), ден. ед.;

G– государственныезакупки товаров и услуг и др., ден. ед.;

X_n – чистый экспорт, ден. ед.; $X_n = X – Z$;

X – экспорт, ден. ед.;

Z – импорт, ден. ед.

Итак, GIP =245 + (33 + 27) + 72 + 3 = 380 млрд руб.

Рассчитаем ВВП с использованием метода по доходам по следующей формуле:

$$GIP = W + R + r + P + D + T_{\text{ind}},$$

где W– заработная плата наемных работников и надбавки к ней, ден. ед.;

R– рентные доходы, получаемые домохозяйствами в результате сдачи в аренду имущества (арендная плата), ден. ед.;

r– процент на ссудный капитал, ден. ед.;

P – доходы от собственности и прибыль корпораций, ден. ед.;

D– амортизационные отчисления, ден. ед.;

T_{ind} – косвенные налоги (налог на добавленную стоимость, акцизы, таможенные пошлины), ден. ед.

GIP =221 + 14 + 13 + (31 + 56) + 27 + 18 = 380 млрд руб.

Валовой национальный продукт (ВНП) определяется по формуле

$$GNP = GIP + NFP,$$

где NFP – чистый факторный доход, ден. ед.

GNP = 380 + 4 = 384 млрд руб.

Чистый национальный продукт (ЧНП) определяется по формуле

$$NNP = GNP – D,$$

NNP =384 – 27 = 357 млрд руб.

Национальный доход (НД) определяется по формуле

$$NI = NNP – T_{\text{ind}},$$

NI = 357 – 18 = 339 млрдруб.

Личный доход (ЛД, PI) рассчитывается следующим образом:

ЛД = национальный доход – взносы на социальные нужды – налог на прибыль корпораций – нераспределенная прибыль корпораций + дивиденды + трансфертные платежи.

PI = 339 – 20 – 13 – 21 + 16 + 12 = 313 млрд руб.

Личный располагаемый доход (ЛРД, DI) рассчитывается следующим образом:

ЛРД = ЛД – индивидуальные налоги (подоходный налог с физических лиц, налог на имущество физических лиц).

DI =313 – 26 = 287 млрд руб.

3. Допустим, что в экономике производится и потребляется три товара. Определите индекс Фишера в 2006 году, если 2005 год – базисный.

Товар	2005 год		2006 год	
	объем выпуска	цена	объем выпуска	цена
А	2000	10	1100	11
Б	1500	2	1200	10
В	1200	10	1500	6

Решение. Индекс Фишера – индекс, представляющий собой среднегеометрическое значение из индексов Ласпейреса и Пааше: $I_F = \sqrt{I_L \cdot I_P}$.

Индекс Ласпейреса – индекс, где в качестве весов представлен неизменный набор благ (потребительская корзина), определяется по формуле

$$I_L = \sum(p^i_1 \cdot q^i_0)/\sum(p^i_0 \cdot q^i_0),$$

гдеq^i_0 – количество блага *i*-го вида в базисном году;

p^i_0– цена блага *i*-го вида в базисном году;

p^i_1– цена блага *i*-го вида в текущем году.

I_L = (11 · 2000 + 10 · 1500 + 6 · 1200) / (10 · 2000 + 2 · 1500 + 10 х х 1200) = 1,263, или 126,3 %.

Индекс Пааше – индекс цен, где в качестве весов берутся количества благ, созданных в текущем году (изменяющийся набор благ),определяется по формуле

$$I_P=\sum(p^i_1 \cdot q^i_1)/\sum(p^i_0 \cdot q^i_1),$$

где q^i_1–количество блага *i*-го вида в текущем году.

I_P = (11 · 1100 + 10 · 1200 + 6 · 1500) / (10 · 1100 + 2 · 1200 + 10 хх1500) = 1,165,или 116,5 %.

$I_F = \sqrt{1,263 \cdot 1,165} = 1,213$, или 121,3 %.

4. Пусть по экономике страны, которая состоит только из двух отраслей, для отчетного года построен межотраслевой баланс и рассчитаны коэффициенты прямых затрат. Определить конечный спрос на продукцию двух отраслей.

Отрасль экономики	Коэффициенты прямых затрат продукции *i*-й отрасли на единицу продукции *j*-й отрасли (a_{ij})		Конечный спрос (y_i)	Выпуск (x_i)
	отрасль 1	отрасль 2		
1	a_{11}=0,2	a_{12}=0,3	y_1= ?	x_1 =440
2	a_{21}=0,5	a_{22}=0,5	y_2= ?	x_2 =840

Решение. Межотраслевой баланс, построенный с использованием модели «затраты – выпуск», характеризуется следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} x_1 = a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + y_1 \\ x_2 = a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + y_2, \end{cases}$$

гдеx_i – количество продукции *i*-й отрасли, ед.;

y_i – количество конечной продукции *i*-й отрасли, ед.

Отсюда$y_1 = x_1 – a_{11} \cdot x_1 – a_{12} \cdot x_2$,

$y_2 = x_2 – a_{21} \cdot x_1 – a_{22} \cdot x_2$.

Итак, y_1 = 440 – 0,2 · 440 – 0,3 · 840 = 100 ед.;

y_2 = 840 – 0,5 · 440 – 0,5 · 840 = 200 ед.

Тема 3.2. Макроэкономическое равновесие и макроэкономическая динамика

Модель AD-AS

1. В классической интерпретации модели *AD-AS* потенциальный ВВП равен 1200. В базисном году прямая совокупного спроса описывалась функцией: Y = 1800 – 3P, в текущем году: Y = 1500 – 3P, где P – уровень цен, %. На сколько изменился уровень цен в текущем году по сравнению с базисным при учёте эффекта храповика.

2. В кейнсианской интерпретации модели *AD-AS* уровень цен зафиксирован на уровне 130 %. В базисном году прямая совокупного спроса описывалась функцией: Y = 1400 – 2P, в текущем году: Y = 1600 – 2P. Как поменялся фактический ВВП в текущем году по сравнению с базисным? Решите задачу аналитическим и графическим методами.

3. Совокупное предложение характеризуется данными, представленными ниже.

Уровень цен	250	225	200	175	150	125	125	125
Реальный ВВП	2000	2000	1900	1700	1400	1000	500	0

Совокупный спрос представлен тремя вариантами.

Уровень цен		250	225	200	175	150	125	100
Реальный ВВП	I	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
	II	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500
	III	400	500	600	700	800	900	1000

Постройте график совокупного предложения и графики совокупного спроса, соответствующие трем вариантам. Определите равновесный объем ВВП и равновесный уровень цен для каждого из трех вариантов. Дайте их характеристику.

Модель Кейнса

4. Если при увеличении личного располагаемого дохода с 400 до 800 млн руб. сбережения домохозяйств увеличились с 40 до 160 млн руб., то на сколько процентов увеличилась средняя склонность к сбережению?

5. Линейные уравнения для графиков потребления и сбережения имеют следующую общую форму: $C = a + b \cdot Y$, $S = -a + (1 - b)\,Y$.

А. Постройте графики потребления и сбережений, используя данные таблицы:

Y, ден. ед.	0	100	200	300	400
C, ден. ед.	80	140	200	260	320

Б. Составьте уравнение потребления и сбережений. Определите равновесный уровень национального дохода для условий односекторной экономики.

В. Предположим, что объем сбережений при данном уровне Y падает на 20 ден. ед., а величины b, $(1 - b)$ остаются неизменными. Составьте уравнение потребления и сбережений с новыми числовыми значениями и найдите фактор, который мог бы вызвать это изменение.Определите новый равновесный уровень национального дохода.

Г. Определите мультипликатор личных потребительских расходов.

6. Функция потребления имеет вид: $C = 100 + 0{,}8Y$.

а) рассчитайте потребительские расходы (потребление) и сбережения при данных значениях дохода:

Доход	Потребление	Сбережение
600		
800		
1000		
1200		
1400		

б) постройте графики потребления и сбережений;

в) определите предельную склонность к потреблению и предельную склонность к сбережению;

г) определите равновесный уровень национального дохода;

д) рассчитайте мультипликатор личных потребительских расходов.

7. Увеличение национального дохода на 10 млрд долл. произошло в результате первоначальных инвестиций некой величины. Если *MPS* равна 0,2, то каков был размер этих первоначальных инвестиций?

8. В базовом году ВВП составил 2400 ден. ед., в текущем году – 2200 ден. ед. Снижение ВВП связано с уменьшением инвестиций на 40 ден. ед. при неизменности прочих компонентов совокупных расходов. Чему равна предельная склонность к сбережению?

9. Если функция сбережений описывается формулой: $S = -30 + + 0{,}1Y$, а автономные инвестиции равны 125 ден. ед., то каков будет равновесный уровень национального дохода в условиях двухсекторной экономики?

10. В экономике страны функция инвестиций определяется уравнением: $I = 40 + 0{,}4Y$, а функция сбережений – уравнением: $S = -20 + 0{,}6Y$. Определите равновесный уровень национального дохода.

11. Инвестиционный спрос в стране описывается функцией: $I = 1000 - 5000r$, где r измеряется в дол. ед. Функция потребления имеет вид: $C = 100 + 0{,}7Y$. Процентная ставка равна 10 %. Найти: а) объем инвестиций; б) равновесный уровень национального дохода.

12. Если реальный ВВП увеличился с 466 до 490 млрд ден. ед., расходы домашних хозяйств возросли на 10 млрд ден. ед. и инвестиционные расходы возросли на 6 млрд ден. ед., то чему равна величина мультипликатора инвестиционных расходов.

13. Реальный национальный доход изменился с 600 до 760 млрдден. ед., предельная склонность к потреблению равна 0,7, потребительские расходы базового периода равны 360 млрд ден. ед. Чему равна средняя склонность к потреблению отчетного года?

14. Если предельная склонность к сбережению равна 0,3, средняя склонность к сбережению в базовом периоде – 0,4, потребительские расходы изменились с 400 до 472 млрдден. ед., то чему равен реальный национальный доход в текущем периоде?

15. Если мультипликатор равен 5, то чему равна предельная склонность к потреблению?

16. Если уравнение потребления имеет вид $C = 200 + 0{,}8Y$, то при увеличении автономных инвестиций на 30 млрд ден. ед. равновесный ВВП увеличится на _____ млрд ден. ед.

17. Функция потребления задана формулой: $C = 100 + 0{,}2Y$. Определите величину равновесного национального дохода для односекторной экономики страны.

18. Если функция сбережений описывается формулой: $S = -40 + + 0{,}2Y$, а инвестиции равны 100 ден. ед., то какова будет величина равновесного национального дохода в условиях двухсекторной экономики страны?

19. Сбережения в экономике описываются следующей функцией: $S = -90 + 0{,}4Y$, $I = 40$. Чему равен совокупный доход в условиях равновесия двухсекторной экономики?

20. Потребление в экономике описывается следующей функцией: $C = 90 + 0{,}8Y$, инвестиции равны 60 ден. ед. Чему равен совокупный доход в условиях равновесия двухсекторной экономики?

21. Инвестиционный спрос в стране описывается функцией: $I = 530 - 20r$, где r – процентная ставка, %. Функция потребления имеет вид: $C = 30 + 0{,}7Y$. Реальная процентная ставка равна 10 %. Найти величину равновесного национального дохода.

22. Функция сбережения задана формулой: $S = -80 + 0{,}2Y$. Инвестиции равны 90 ден. ед, государственные закупки товаров и услуг – 40, экспорт – 30, импорт – 20. Определите величину равновесного национального дохода для односекторной, двухсекторной, трехсекторной и четырехсекторной экономики страны; покажите графически.

23. Заполните таблицу и сделайте соответствующие выводы.

Y	C	S	ΔY	ΔC	ΔS	MPC	MPS
1000		0					
1100		10					
1200		30					
1300		60					
1400		110					

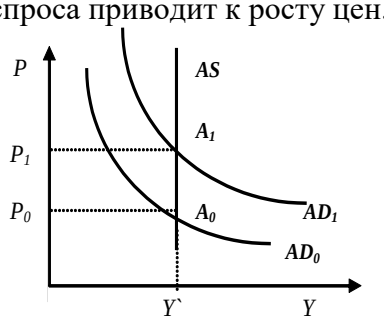
Примеры решения типовых задач

1. В классической интерпретации модели *AD-AS* потенциальный ВВП равен 2000 ден. ед. В базовом году прямая совокупного спроса описывалась функцией: $Y = 2200 - 2P$, в

текущем году: Y= 2400 – 2P, где P – уровень цен, %. Как поменялся уровень цен в текущем году по сравнению с базисным? Решите задачу аналитическим и графическим методами.

Решение. В классической интерпретации модели *AD-AS*кривая совокупного предложения выглядит как вертикальная прямая, проводимая на уровне потенциального ВВП (Y` = 2000 ден. ед.). В данной ситуации увеличение совокупного спроса приводит к росту цен.

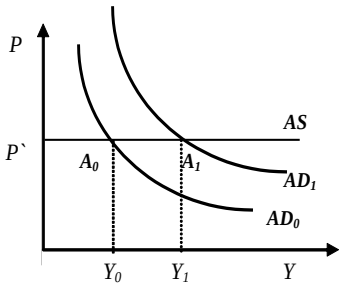
Находим уровень цен в базовом году, приравнивая совокупный спрос и совокупное предложение (*AD* = *AS*): 2000 = 2200 – 2P, P= 100 %. Подобным образом определяем уровень цен в текущем году: 2000 = 2400 – 2P, P= 200 %. Таким образом, уровень цен вырос на 100 %, или в 2 раза.



2. В кейнсианской интерпретации модели *AD-AS* уровень цен зафиксирован на уровне 150 %. В базовом году прямая совокупного спроса описывалась функцией: Y = 2100 – 2P, в текущем году: Y = 2200 – 2P, где P – уровень цен, %. Как поменялся реальный ВВП в текущем году по сравнению с базисным? Решите задачу аналитическим и графическим методами.

Решение. В кейнсианской интерпретации модели *AD-AS*кривая совокупного предложения выглядит как горизонтальная прямая, проводимая на уровне фиксированного индекса цен (P` = 150 %). В данной ситуации изменение совокупного спроса не влияет на уровень цен, но приводит к изменению реального ВВП.

Находим реальный ВВП в базовом году, подставляя в уравнение совокупного спроса фиксированное значение индекса цен: Y = 2100 – 2 х 150 = 1800 ден. ед. Подобным образом определяем реальный ВВП в текущем году: Y = 2200 – 2·150 = 1900 ден. ед. Таким образом, реальный ВВП вырос на 100 ден. ед.



3. Доход домохозяйства после уплаты налогов возрос по сравнению с прошлым годом с 200 до 220 млрд ден. ед., при этом потребление увеличилось на 15 млрд ден. ед. Определите предельную склонность к сбережению и предельную склонность к потреблению.

Решение. Предельная склонность к потреблению (*MPC*) – это часть прироста дохода, которая потребляется. *MPC*определяется по следующей формуле:

$$MPC = \Delta C / \Delta Y,$$

где ΔC – прирост потребления, ден. ед.;

ΔY – прирост дохода, ден. ед.

Предельная склонность к сбережению (*MPS*) – это часть прироста дохода, которая сберегается. *MPS* определяется по следующей формуле:

$$MPS = \Delta S / \Delta Y,$$

где ΔS – прирост сбережений, ден. ед.

Так как $C + S = Y$, то$\Delta C + \Delta S = \Delta Y$, $\Delta C / \Delta Y + \Delta S / \Delta Y = 1$, $MPC + MPS$=1.Отсюда, $MPS = 1 - MPC$.

Используя выше представленные формулы, рассчитаем необходимые показатели: MPC = 15 / (220 – 200) = 0,75; MPS = 1 – 0,75 = 0,25.

4. Каков должен быть прирост инвестиций при MPS = 0,5, чтобы обеспечить прирост дохода в 4000 ден. единиц? В 2000 ден. единиц?

Решение. Инвестиционный мультипликатор указывает на то, что если происходит приращение общей суммы инвестиций (осуществляются автономные инвестиции), то национальный доход увеличивается на сумму (ΔY), в m раз большую, чем сам прирост инвестиций (ΔI): $m = \Delta Y / \Delta I$.

По формуле $m = 1 / MPS$ находим значение инвестиционного мультипликатора: $m = 1/0{,}5 = 2$. Таким образом, для того чтобы получить прирост дохода в 4000 ден. ед., необходим прирост инвестиций в 2000 ден. ед. ($2000 \cdot 2 = 4000$), в 2000 ден. ед. – прирост инвестиций должен составить 1000 ден. ед. ($1000 \cdot 2 = 2000$).

5. Предельная склонность к сбережению составляет 0,25, автономное потребление – 100 ден. ед. Инвестиции равны 50 ден. ед, государственные закупки товаров и услуг – 200, экспорт – 140, импорт – 70. Определите величину равновесного национального дохода для односекторной, двухсекторной, трехсекторной и четырехсекторной экономики страны.

Решение. Условие равновесия национальной экономики: $Y = E$. Левая часть уравнения представляет собой национальный доход (Y), или совокупное предложение, правая часть иллюстрирует планируемые совокупные расходы (E), или совокупный спрос.

Условие равновесия односекторной экономики: $Y=C$. Учитывая типовую функцию потребления: $C = a + b \cdot Y$,где a–автономное потребление, $b = MPC$, и то, что $MPC = 1 – MPS$, получаем: $C = 100 + 0{,}75Y$. Находим величину равновесного национального дохода для односекторной экономики: $Y=100 + 0{,}75Y$, $Y^*_1=400$ден. ед.

Условие равновесия двухсекторной экономики: $Y=C + I$. Находим величину равновесного национального дохода: $Y=100 + 0{,}75Y + 50$, $Y^*_2= 600$ ден. ед.

Условие равновесия трехсекторной экономики: $Y=C + I + G$. Находим величину равновесного национального дохода: $Y=100 + 0{,}75Y + 50 + 200$, $Y^*_3=1400$ден. ед.

Условие равновесия четырехсекторной экономики: $Y=C + I + G + X_n$. Находим величину равновесного национального дохода: $Y=100 + + 0{,}75Y + 50 + 200 + (140 – 70)$, $Y^*_4=1680$ ден. ед.

6. Заполните таблицу и сделайте соответствующие выводы.

Y	C	S	ΔY	ΔC	ΔS	MPC	MPS
4000	3110						
5000	4000						
6000	4850						
7000	5600						
8000	6200						
9000	6730						

Решение. Используя следующие формулы: $S = Y – C$, $MPC = \Delta C / \Delta Y$, $MPS = \Delta S / \Delta Y$, заполним пустые ячейки таблицы.

Y	C	S	ΔY	ΔC	ΔS	MPC	MPS
4000	3110	890	–	–	–	–	–
5000	4000	1000	1000	890	110	0,89	0,11
6000	4850	1150	1000	850	150	0,85	0,15
7000	5600	1400	1000	750	250	0,75	0,25
8000	6200	1800	1000	600	400	0,60	0,40
9000	6730	2270	1000	530	470	0,53	0,47

Динамика MPC и MPS подтверждает действие основного психологического закона Кейнса: при росте личного располагаемого дохода абсолютно увеличиваются потребление и сбережения, но при этом относительная доля потребления уменьшается, а относительная доля сбережений увеличивается.

Темп инфляции

1. Имеются следующие данные о динамике уровня цен в стране: $ИПЦ_{1998}$ = 120 %, $ИПЦ_{1999}$ = 122 %, $ИПЦ_{2000}$ = 128 %, $ИПЦ_{2001}$ = 136 %, $ИПЦ_{2002}$ = 140 %. Проследите динамику уровня инфляции за представленный период.

2. В условную потребительскую корзину входят следующие продукты питания: 3 кг хлеба, 2 л молока, 1 кг колбасы. Цены продуктов питания представлены ниже.

Продукт	Цена базисного периода, ден. ед.	Цена текущего периода, ден. ед.
1 кг хлеба	5	6
1 л молока	7	9
1 кг колбасы	8	10

Индекс цен базисного периода – 110 %. Рассчитать темп инфляции за рассматриваемый период.

3. В условную потребительскую корзину входят следующие товары: еда (5 ед.), жилье (3 ед.), развлечения (4 ед.). Цены базового периода: 1 ед. еды – 14 долл.; 1 ед. жилья – 10 долл.; 1 ед. развлечения – 5 долл. Цены текущего периода: 1 ед. еды – 30 долл.; 1 ед. жилья – 20 долл.; 1 ед. развлечения – 6 долл. Индекс цен базового периода – 100 %. Рассчитать темп инфляции в текущем периоде.

4. Предположим, что индекс потребительских цен учитывает только два товара: еду и жилье. Доля продуктов питания – 0,33, а жилья – 0,67. Цены на продукты питания выросли на 20 %, а на жилье снизились на 2 %. Каков темп инфляции за год?

5. Инфляционным налогом называют часть доходов, сгорающих в огне инфляции. Инженер подрядился сделать работу в течение месяца за 2000 руб. Определите «инфляционный налог», или сколько потеряет инженер, потому что не получил плату вперед, при инфляции, равной 50% в месяц.

6. На основании следующих данных рассчитайте инфляционный налог: темп инфляции составляет 40 % в год, наличность – 5 млнруб., депозиты – 15 млн руб. Номинальная процентная ставка – 30 %.

7. Как изменится темп инфляции в стране, если при фактическом уровне безработицы 7 %, ожидаемом темпе инфляции 9,5 % и коэффициенте эластичности инфляции по уровню безработицы 0,8 естественный уровень безработицы снизился с 6 до 5 %? Что при этом произойдёт с кривой Филлипса?

Показатели экономического роста

8. Заполните пустые ячейки таблицы.

Показатели	1-й год	2-й год	3-й год	4-й год	5-й год
Номинальный ВВП, трлн руб.	500	622	600	880	980
Индекс цен (дефлятор)	1,2	1,3	0,9	1,4	1,1
Реальный ВВП, трлн руб.					
Темп роста номинального ВВП, %					
Темп роста реального ВВП, %					
Темп прироста номинального ВВП, %					
Темп прироста реального ВВП, %					

Примеры решения типовых задач

1. Рассчитайте темп инфляции для каждого года, если базовым годом считать каждый предыдущий, и сделайте вывод о виде наблюдаемой инфляции.

Годы	Индекс цен, %

1	100
2	114
3	125
4	129

Решение. При расчёте темпа инфляции используем формулу

$$\pi = ((P_1 - P_0) / P_0) \cdot 100\ \%,$$

где P_1 и P_0 – индексы (уровни) цен текущего и базисного периодов соответственно, %.

В качестве базисного периода рассматриваем предыдущий год. Получаем результаты, представленные в таблице.

Годы	Индекс цен, %	Темп инфляции, %
1	100	–
2	114	14,00
3	125	9,65
4	129	3,20

В зависимости от темпов инфляции, она делится: на умеренную (ползучую) – до 10 % в год; галопирующую – от 10 до 200 % в год; гиперинфляцию – свыше 200 % в год. В данном случае наблюдается умеренная инфляция.

2. Объем депозитов в 3 раза превышает объем наличности при денежной массе, равной 5000 млрд руб. Рассчитайте величину инфляционного налога, если темп инфляции равен 20 % в год, а номинальная ставка процента 18 % годовых.

Решение. Денежная масса, равная 5000 млрд. рублей, состоит из наличности(C)и депозитов(D), что, исходя из условий задачи, соответствует 1250 + 3750. Расчет инфляционного налога ведется по формуле

$$IT = \pi \cdot C + (\pi - i) \cdot D,$$

где IT – сумма инфляционного налога, ден. ед.;

π– темп инфляции, дол.ед.;

i– номинальная ставка процента, дол. ед.

Подставив в данную формулу исходные данные, получим

$IT = 0{,}2 \cdot 1250 + (0{,}2 - 0{,}18) \cdot 3750 = 325.$

Таким образом, величина инфляционного налога составляет 325 млрд руб.

3. Реальный ВВП страны в 2005 г. составил 150 ден. ед., в 2006 г. – 160 ден. ед. Определить темпыроста и прироста ВВП.

Решение.

Темп роста ВВП = $(Y_1 / Y_0) \cdot 100\ \%$,

где Y_1 – объем реального ВВП в отчетном периоде, ден. ед.;

Y_0 – объем реального ВВП в базисном периоде, ден. ед.

Темп роста ВВП = $(160 / 150) \cdot 100\ \% = 106\ \%$.

Темп прироста ВВП = $((Y_1 - Y_0) / Y_0) \cdot 100\ \%$.

Темп прироста ВВП =$((160 - 150) / 150) \cdot 100\ \% = 6\ \%$.

Тема 3.3. Деньги, кредит, банки. Кредитно-денежная политика

Денежное обращение

1. Если реальный ВВП увеличится в 1,12 раза, а денежная масса возрастет на 14 %,то что произойдет с уровнем цен при стабильной скорости обращения денег?

2. В таблице приведены данные о номинальном объеме ВВП и денежной массе США (млрд долл.).

Год	M_1	M_2	Номин. ВВП	V_1	V_2
1969	209	392,5	963,9		
1971	234	471,9	1102,7		
1973	270,5	571,4	1359,3		
1975	295,5	664,7	1598,4		
1977	338,5	809,5	1990,5		

Сравните скорость обращения денег в США, исчисленную на основе M_1 и M_2, за указанный в таблице период.

3. В среднем за год денежный агрегат M_2и ВВП в РФ составили величину, представленную в таблице. Рассчитайте коэффициент монетизации и скорость денежного обращения за указанные годы, сделайте соответствующие выводы.

Показатели	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
M_2, трлн руб.	12,9	13,0	15,3	20,0	24,5	27,4	31,4
ВВП, трлн руб.	33,2	41,3	38,8	46,3	56,0	62,2	66,8

Денежный рынок. Спрос на деньги. Предложение денег

4. Трансакционный спрос на деньги составляет 300 млрд долл. Спекулятивный спрос на деньги представлен в таблице.

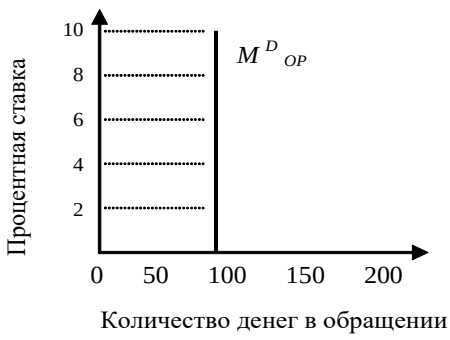
Ставка процента, %	Объем спроса на деньги, млрд долл.	
	спекулятивный	общий
14	30	?
13	50	?
12	70	?
11	90	?

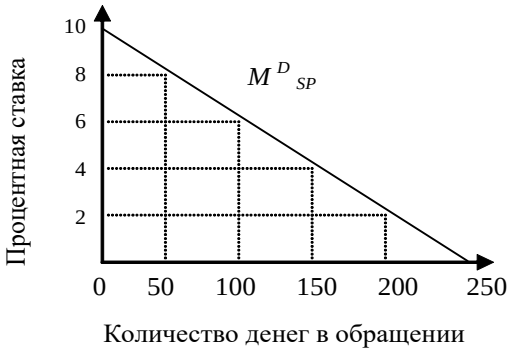
А. Определите общий спрос на деньги.

Б. Предложение денег составляет 370 млрд долл. Определите равновесную процентную ставку.

В. Определите величину равновесной процентной ставки, если предложение денег сократилось до 350 млрд долл.

5. Рассмотрите графики операционного и спекулятивного спроса на деньги. Постройте график общего спроса на деньги, найдите точку равновесия на денежном рынке при предложении денег 250 млрд долл.





6. Трансакционный спрос на деньги составляет 400 млрд долл.

А. Определите общий спрос на деньги при имеющихся данных по спекулятивному спросу.

Ставка процента, %	Спекулятивный спрос на деньги, млрд долл.

11	90
10	110
9	130
8	150

Б. Предложение денег составляет 510 млрд долл. Определите равновесную процентную ставку.

В. Определите равновесную процентную ставку, если предложение денег возросло до 530 млрд долл.

7. Предположим, что каждый доллар США, предназначенный для сделок, обращается в среднем 5 раз в год. Номинальный ВВП составляет 2000 млрд долл.

А. Определите величину спроса на деньги для сделок.

Б. В таблице показана величина спроса на деньги в целях накопления при различных ставках процента. Определите общий спрос на деньги.

Ставка процента, %	Объем спроса на деньги как средство накопления, млрд долл.
15	20
14	40
13	60
12	80
11	100
10	120
9	140

В. Предложение денег составляет 460 млрд руб. Определите равновесную ставку процента.

Модель IS-LM

8. Спрос домашних хозяйств на отечественные блага характеризуются функцией $C = 50+0,5Y$, а спрос предпринимателей на инвестиции задан формулой $I = 400 – 50r$. Государство закупает товаров и услуг на 100 ед. Вывести уравнение линии *IS*.

9. Заданы функции, определяющие поведение экономических субъектов на рынках благ и денег: $C = 50 + 0,6Y$; $I= 200 – 20r$; $M^D_{OP} = 0,4Y$; $M^D_{SP} = 500 – 50r$, где r – реальная процентная ставка, %. В обращении находится 400 ден. ед.Определите ситуацию совместного равновесия на рынках благ и денег.

10. Заданы функции, определяющие поведение экономических субъектов на рынках благ и денег: $C = 50 + 0,6Y$; $I= 200 – 20r$; $M^D_{OP} = 0,4Y$; $M^D_{SP} = 500 – 50r$, где r – реальная процентная ставка, %. В обращении находится 400 ден. ед.Как они распределятся между M^D_{OP} и M^D_{SP} при достижении совместного равновесия на рынках благ и денег?

Кредит. Создание кредитных денег

11. Какие формы кредита используются в каждом из нижеперечисленных случаев?

1) молодая семья берет кредит в банке сроком на несколько лет для покупки мебели;

2) государство выпускает облигационный заем для частичного погашения дефицита госбюджета;

3) завод по производству автомобильных двигателей поставляет автомобильному заводу партию своего товара с отсрочкой платежа;

4) коммерческий банк берет у другого коммерческого банка кредит.

12. В коммерческий банк внесен депозит на сумму 5000 руб. Норма обязательного банковского резервирования равна 5 %. Определить: а) какой максимальный кредит может

выдать данный коммерческий банк; б) какой кредит может выдать банковская система в целом.

13. Чему будет равен общий прирост денежной массы в стране, если при норме обязательного банковского резервирования 20 % первоначальное увеличение депозитов составило 500 долл.?

14. Норма обязательного банковского резервирования равна 0,25. Объем депозитов в два раза больше наличности. Подсчитайте денежный мультипликатор с учетом наличности.

Коммерческие банки

15. Собственный капитал банка равен 7 млн руб., заемный – 23 млн руб.; ставка процента по ссудам (кредитный процент) – 14 %, по вкладам (депозитный процент) – 7 %. Расходы банка по выдаче кредита составляют 0,8 млн руб., по приему вкладов – 0,3 млн руб. Определите прибыль банка, если в кредит отдается 20 млн руб.

16. На основе баланса коммерческого банка определить следующее: 1) величину высоколиквидных активов банка, не приносящих ему доход; 2) величину кредитного портфеля банка; 3) величину инвестиционного портфеля банка; 4) величину собственных средств банка; 5) размер заемных средств банка; 6) величину обязательных и избыточных резервов банков, если норма обязательных резервов составляют 10 %.

АКТИВ		ПАССИВ	
Наличные деньги	200	Уставный капитал	200
Резервы в ЦБ	200	Вклады до востребования	100
Кредиты	200	Срочные вклады	250
Ценные бумаги	100	Нераспределенная прибыль	150
БАЛАНС	700	БАЛАНС	700

17. Даны балансы двух коммерческих банков. Необходимо оценить их деятельность с точки зрения дилеммы «прибыльность – ликвидность».

Банк А

АКТИВ		ПАССИВ	
Наличные деньги	100	Уставный капитал	200
Резервы	50	Счета до востребования	500
Ссуды	350		
Ценные бумаги	200		
	700		700

Банк В

АКТИВ		ПАССИВ	
Наличные деньги	80	Уставный капитал	100
Резервы	60	Счета до востребования	540
Ссуды	350		
Ценные бумаги	150		
	640		640

Примеры решения типовых задач

1. Если реальный ВВП увеличится в 1,2 раза, а денежная масса возрастет на 8 %, то что произойдет с уровнем цен при стабильной скорости обращения денег?

Решение. Используем модификацию уравнения Фишера, отражающую «монетарное правило» М. Фридмена:

$$\Delta M+\Delta V = \Delta P+\Delta Y,$$

где ΔM – прирост количества денег в обращении, %;

ΔV – прирост скорости обращения денег, %;

ΔP– прирост общего уровня цен (темп инфляции), %;

ΔY – прирост реального объема производства, т.е. реального ВВП,%.

Таким образом, $\Delta P = \Delta M+\Delta V - \Delta Y$, ΔP = 8 % + 0 % – 20 % = – 12 %. Уровень цен снизится на 12 %.

2. По данным, представленным ниже, определите по годам скорость обращения денег в России за указанный период и коэффициент монетизации, сделайте соответствующие выводы.

Показатели	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
M_2, трлн руб.	0,4	0,7	4,0	21,9	65,2	159,3	255,4
ВВП, трлн руб.	0,6	1,4	19,0	171,5	611,0	1658,3	2145,3

Решение. Скорость обращения денег рассчитываем на основании использования уравнения И. Фишера:

$$M \cdot V = P \cdot Y,$$

где M – прирост количества денег в обращении, ден. ед.;

V –скорость обращения денег, количество оборотов в год;

P– общий уровень цен, дол. ед.;

Y – реальный объем производства, т.е. реальный ВВП, ден. ед.

Таким образом, $V = P \cdot Y / M$.

Учитывая, что коэффициент монетизации является обратной величиной скорости обращения денег и выражается в %, получаем следующую формулу: $k = (M \cdot 100\ \%) / (P \cdot Y)$.

Итоги расчётов представлены ниже.

Показатели	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
V	1,50	2,00	4,75	7,83	9,37	10,41	8,40
k, %	67	50	21	13	11	10	12

На основании полученных результатов можно сделать соответствующие выводы. С 1990 по 1995 гг. наблюдался рост скорости обращения денег и одновременно снижение коэффициента монетизации, что свидетельствует о том, что величина денежной массы уменьшалась по сравнению со стоимостью создаваемой продукции. Улучшение ситуации наблюдалось в 1996 г.

3. Операционный спрос на деньги составляет 500 млрд руб. Спекулятивный спрос в зависимости от процентной ставки представлен в таблице.

Ставка процента, %	Спекулятивный спрос на деньги, млрд долл.
14	30
13	50
12	70
11	90
10	110
9	130
8	150

А. Определите общий спрос на деньги.

Б. Предложение денег составляет 630 млрд руб. Определите равновесную ставку процента.

В.Определите величину равновесной ставки процента, если предложение денег выросло до 650 млрд руб.; сократилось до 550 млрд руб.

Решение.

А. Суммируя последовательно спекулятивный и операционный спрос на деньги, получим следующие значения общего спроса на деньги:

Ставка процента, %	Спекулятивный спрос на деньги, млрд долл.	Общий спрос на деньги, млрд долл.
14	30	530
13	50	550
12	70	570
11	90	590
10	110	610
9	130	630
8	150	650

Б. Равновесная ставка процента характеризует равновесие на денежном рынке, что предполагает равенство общего спроса на деньги и предложения денег. При предложении денег в 630 млрд руб. равновесная ставка процента, как видно из таблицы, будет равна 9 %.

В.При увеличении предложения денег до 650 млрд руб. и сокращения до 550 млрд руб. равновесная ставка процента будет соответственно составлять 8 и 13 %.

4. В коммерческий банк внесен депозит на сумму 10000 руб. Норма обязательного банковского резервирования равна 25 %. Определить, какой максимальный кредит может выдать: а) данный коммерческий банк; б) банковская система в целом.

Решение. Максимальный кредит, который может выдать данный коммерческий банк, определяется по формуле

$$К = D – R_{об},$$

где D – первоначальный депозит, ден. ед.;

$R_{об}$– обязательные резервы коммерческого банка, ден. ед.;

$$R_{об} = r_{об} \cdot D,$$

где$r_{об}$– норма обязательного банковского резервирования, дол.ед.

К = 10000 – 0,25 · 10000 = 7500 руб.

Под максимальным кредитом, который может выдать банковская система в целом, понимается созданная кредитно-денежная масса (M) в результате внесения денежных средств в банковскую систему:

$$M = D \cdot 1/r_{об},$$

где $1/r_{об}$ представляет расчёт банковского (депозитного) мультипликатора, показывающего, во сколько раз созданная кредитно-денежная масса больше первоначального депозита.
Итак, M = 10000 · 1/0,25 = 40000 руб.

5. Даны балансы двух коммерческих банков. Необходимо их оценить с точки зрения решения дилеммы «прибыльность – ликвидность».

Банк А

АКТИВ, ден. ед.		ПАССИВ, ден. ед.	
Наличные деньги	200	Уставный капитал	100
Резервы в ЦБ	200	Вклады до востребования	100
Кредиты	100	Срочные вклады	350
Ценные бумаги	100	Прибыль банка	50
БАЛАНС	600	БАЛАНС	600

Банк Б

АКТИВ, ден. ед.		ПАССИВ, ден. ед.	
Наличные деньги	50	Уставный капитал	100
Резервы в ЦБ	100	Вклады до востребования	200
Кредиты	450	Срочные вклады	400
Ценные бумаги	200	Прибыль банка	100

БАЛАНС	800	БАЛАНС	800

Решение. Основными показателями, характеризующими деятельность коммерческого банка, являются: *платежеспособность (ликвидность)* – способность банка своевременно и в полном объеме обеспечивать выполнение своих обязательств перед клиентами – и*прибыльность* – способность банка получать от своей деятельности прибыль. Обеспечение полной платежеспособности (ликвидности) банком возможно в ситуации неиспользования вкладов клиентов (невыдачи кредитов). Однако прибыльность банковской деятельности как раз и обеспечивается привлечением средств по низкой процентной ставке и последующей выдачей кредитов по более высокой процентной ставке. Поэтому перед банком всегда существует дилемма «прибыльность – ликвидность».

Банк А больше ориентирован на обеспечение своей ликвидности (платёжеспособности), так как доля его высоколиквидных активов, не приносящих ему доход больше, чем доля доходных активов, обеспечивающих прибыльность банка:

(200 + 200) / 600 > (100 + 100) / 600, 2/3 > 1/3.

Банк Б больше ориентирован на обеспечение свой прибыльности, так как доля его доходных активов, обеспечивающих прибыльность банка.больше доли высоколиквидных активов, не приносящих ему доход:

(50 + 100) / 800 < (450 + 200) / 800, 3/16 < 13/16.

6. В экономике с постоянным уровнем цен (P = 4) и отсутствием государственного вмешательства предприниматели ежегодно инвестируют в производство 100 ед. независимо от уровня реальной процентной ставки, а коэффициент чувствительности инвестиций к динамике процентной ставки равен 20. Население имеет предельную склонность к потреблению 0,5, а когда его доход достигнет 180 ед., оно доводит свой объем сбережений до 40 ед. В обращении находится 320 денежных единиц. Операционный спрос на деньги представлен функцией: M^D_{OP}= 0,8Y, спекулятивный спрос на деньги: M^D_{SP} = 120 – 40r.

А. Составьте уравнение *IS*.

Б. Составьте уравнение *LM*.

В. Определите долю операционного и спекулятивного спроса в общем объеме спроса на деньги в условиях совместного равновесия на рынках благ и денег.

Решение.

А. Составляем уравнение*IS.*

На основании представленных данных выводим функции: инвестиций I = 100 – 20r, потребления C = 50 + 0,5Y, сбережений S = – 50 + 0,5Y.

Условие равновесия на рынке благ: $I = S$.

100 – 20r = – 50 + 0,5Y, отсюда уравнение *IS*: Y = 300 – 40r.

Б. Составляем уравнение *LM*.

$M^D = M^D_{SP} + M^D_{OP}$. Так как M^D_{OP} = 0,8Y и M^D_{SP} = 120 – 40r , тоM^D = 0,8Y + (120 – 40r).

Условие равновесия на рынке денег: $M^S = M^D$.

320 = 0,8Y + (120 – 40r).Уравнение *LM:* Y = 250 + 50r.

В. Решаем систему уравнений:Y = 300 – 40r, Y= 250 + 50r.При решении системы уравнений находим равновесный национальный доход (Y^* = 278 ден. ед.) и равновесную процентную ставку (r^*= 0,56 %).

Отсюда M^D_{OP}= 0,8 · 278 = 222,4 ден. ед. (или 69,5 % от денежной массы страны), M^D_{SP}= 120 – 40 · 0,56 = 97,6 ден. ед. (или 30,5 % от денежной массы страны).

7. С использованием модели *IS-LM*представьте последствия наступления следующих событий:

а) снижение предельной склонности к сбережению;

б) при каждой ставке процента объем инвестиций увеличивается;

в) скорость обращения денег снижается;

г) предложение денег увеличивается;
д) спрос на деньги как средство накопления снижается;
е) подоходный налог увеличивается;
ж) экспорт страны увеличивается.
Решение. Последствия наступления представленных событий отражены ниже.

Событие	На состоянии какого рынка отразится	График какой функции и как изменится	Что произойдет на графике модели *IS-LM*	Направление изменения *Y*	Направление изменения *r*
а	благ	$C\uparrow$	*IS* вверх-вправо	↑	↑
б	благ	$I\uparrow$	*IS*вверх-вправо	↑	↑
в	денег	$M^S\downarrow$	*LM* вверх-влево	↓	↑
г	денег	$M^S\uparrow$	*LM* вниз-вправо	↑	↓
д	денег	$M^D_{SP}\downarrow$	*LM* вниз-вправо	↑	↓
е	благ	$C\downarrow$	*IS*вниз-влево	↓	↓
ж	благ	$Xn\uparrow$	*IS*вверх-вправо	↑	↑

Тема 3.4. Государственные финансы и налогообложение. Бюджетно-налоговая политика

Налоги

1. В таблице приведены данные о размере налогооблагаемого дохода и уровне предельных ставок налога. На основании имеющихся данных заполните таблицу. Сопоставьте динамику предельных и средних ставок налога. Сделайте выводы о характере данного налога (прогрессивный, пропорциональный, регрессивный).

Доход, млнден.ед.	Налог, млнден.ед.	Средняя налоговая ставка, %	Предельная налоговая ставка, %
12,5	2,50		-
22,5	4,95		24,5
32,5			26,0
42,5			28,5
52,5			32,0
62,5			36,0

2. Рассчитайте средние и предельные налоговые ставки по данным таблицы и укажите, является ли налог прогрессивным, регрессивным или пропорциональным.

Y	*T*	*ATR*	*MTR*
1 000	0		
2200	220		
4800	576		
6400	896		

3. Имеются следующие данные о размере налогооблагаемой базы и общей суммы уплачиваемого налога.

Размер налогооблагаемой базы, млн ден. ед.	10	30	50	80
Общая сумма налога, млн ден. ед.	1.2	4.5	8.8	20

Чему равна средняя ставка налога для 10, 30, 50 и 80млнден. ед.? Чему равна предельная ставка налога при изменении налогооблагаемой базы от 10 до 30, от 30 до 50, от 50 до 80 млн ден. ед.? Определите тип системы налогообложения.

4. Приведенная ниже таблица представляет данные о гипотетической налоговой системе.

Скорректированный совокупный доход, руб.	Вычеты из дохода и освобождение от уплаты налога, руб.	Налогооблагаемый доход, руб.	Личный подоходный налог, руб.
5000	5000		0
10000	9000		150
20000	12000		1200
50000	20000		4500
100000	30000		14500
500000	100000		97000

Просчитайте предельные и средние ставки налогов для каждого значения налогооблагаемого дохода в таблице. Определите, налоговая система является прогрессивной, пропорциональной или регрессивной?

5. Рассчитайте величину добавленной стоимости, налога на добавленную стоимость (НДС) и цену продукции с учётом НДС, если ставка налога 18 %.

Наименование производственной стадии	Покупатель продукции на каждой производственной стадии	Цена продукции, ден. ед.
1. Добыча боксита	Глиноземный завод	50
2.Производство глинозема	Алюминиевый завод	80
3. Выплавка алюминия	Металлургический завод	110
4. Металлопрокат	Потребитель	255

Государственный бюджет

6. ВВП в условиях полной занятости составляет 30 млрд долл. Фактический объем ВВП = 26 млрд долл. Сумма налогов составляет 10 % от величины ВВП. Государственные расходы на товары и услуги равны 1,8 млрд долл., государственные трансферты – 0,1 млрд долл., выплаты по государственному долгу – 0,2 млрд долл. Определите сальдо государственного бюджета в условиях неполной и полной занятости.

7. ВВП в условиях полной занятости составляет 50 млрд долл. Фактический объем ВВП равен 44 млрд долл. Налоговые поступления в госбюджет составляют 30 % от величины ВВП. Государственные расходы на закупку товаров и услуг равны 9,2 млрд долл., государственные трансферты – 2 млрд долл. Определите сальдо государственного бюджета в условиях неполной и полной занятости.

8. В таблице приведены данные об уровне цен и государственном бюджете. Основываясь на этой информации, заполните таблицу полностью.

Год	Уровень цен, дол.ед.	Налоги, ден. ед.	Гос. расходы, ден. ед.	Сальдо госбюджета, ден. ед.	Номинальный гос. долг, ден. ед.	Реальный гос. долг, ден. ед.
1	1,00	100	120			
2	1,11	110	140			
3	1,20	120	130			
4	1,30	130	135			
5	1,52	140	145			

Бюджетно-налоговая политика

10. Предположим, что стимулирующая бюджетно-налоговая политика, в рамках которой государственные расходы увеличиваются на 20 млн руб., приводит в краткосрочном периоде к росту национального дохода на 80 млн руб. Определите величину мультипликатора государственных расходов.

11. Модель экономики страны А характеризуется следующими исходными данными: $C = 100 + 0{,}7Y$, гдеC – плановые потребительские расходы,Y – располагаемый доход;$G = 200$, G – государственные расходы; $I= 100$, I – валовые инвестиции. Определите величину мультипликатора государственных расходов.

12. Предположим, что равновесный объем ВВП равен 2000 ден. ед., $MPC = 0{,}5$. Правительство решает увеличить государственные закупки на 200 ден. ед., но при этом не менять уровень равновесного ВВП. Как этого добиться?

13. Пусть $MPC = 0{,}5$. Определите, чему равен мультипликатор государственных расходов и налоговый мультипликатор. Почему налоговый мультипликатор меньше мультипликатора государственных расходов?

14. Функция потребления имеет вид $C = 100 + 0{,}8Y$. Государственные расходы выросли на 2. Чему равно изменение равновесного уровня национального дохода?

15. Функция потребления имеет вид:$C= 100 + 0{,}8Y$. Налоги сократились на 2. Чему равно изменение равновесного уровня дохода?

16. Модель экономики страны А характеризуется следующими исходными данными:

C – плановые потребительские расходы, $C = 200 + 0{,}8Y$;

Y – национальный доход, $Y = GIP – T;$

G– государственные расходы, $G= 300$;

I – частные плановые инвестиции, $I = 200$.

А. Постройте кривую плановых потребительских расходов для экономики страны А.

Б. Постройте кривую совокупных расходов для экономики страны А.

В. Рассчитайте и покажите на рисунке равновесный объем ВВП для закрытой модели экономики.

Г. Определите величину мультипликатора государственных расходов.

Д. Определите величину налогового мультипликатора.

Е. Определите новый равновесный объем ВВП, если государственные расходы возросли до 600 ден. ед., а все прочие показатели развития экономики страны А остались без изменения.

Ж. Определите новый равновесный объем ВВП, если инвестиции возросли до 500 ден. ед., а все прочие совокупные расходы в экономике страны А остались без изменения.

З. Определите новый равновесный объем ВВП, если налоги выросли до 600 ден. ед., а все прочие показатели остались без изменения.

И. Определите новый равновесный объем ВВП, если одновременно произошло увеличение налогов до 600 ден. ед. и государственных расходов до 600 ден. ед., а все прочие показатели остались без изменения.

Примеры решения типовых задач

1. В таблице приведены условные данные о размере налогооблагаемого дохода и уровне предельных ставок налога. На основании имеющихся данных заполните таблицу. Сопоставьте динамику предельных и средних ставок налога. Сделайте выводы о характере данного налога.

Доход, ден. ед.	Налог, ден. ед.	Средняя налоговая ставка, %	Предельная налоговая ставка, %
125	25	20	–
225	50	22,2	25,0
325			26,0
425			28,5

525			32,0

Решение. Предельная налоговая ставка – ставка обложения налогом дополнительной единицы дохода или стоимости имущества– определяется как отношение прироста выплачиваемых налогов (ΔT), поделенного на прирост дохода (ΔY): $MTR = (\Delta T / \Delta Y) \cdot 100$ %.

Используя формулу предельной налоговой ставки, определяем прирост выплачиваемых налогов: $\Delta T = MTR \cdot \Delta Y / 100$ %. Учитывая то, что $\Delta Y = 100$ ден. ед., получаем $\Delta T = MTR$ (ден. ед.). Находим величину выплачиваемых налогов по формуле: $T_{t+1} = T_t + MTR_{t+1}$.

Средняя налоговая ставка – ставка обложения всей суммы налогооблагаемого дохода или стоимости имущества– определяется как отношение величины выплачиваемых налогов (T), поделенной на величину дохода (Y): $ATR = (T / Y) \cdot 100$ %.

Результаты расчётов приведены в таблице. Так как наблюдается рост налоговой ставки по мере возрастания величины объекта налогообложения, налог является прогрессивным.

Доход, ден. ед.	Налог, ден. ед.	Средняя налоговая ставка, %	Предельная налоговая ставка, %
125	25,0	20,0	–
225	50,0	22,2	25,0
325	76,0	23,4	26,0
425	104,5	24,6	28,5
525	136,5	26,0	32,0

2. ВВП в условиях полной занятости равен 20 млрд долл. Фактический объем ВВП составляет 16 млрд долл. Сумма налогов составляет 10 % от величины ВВП. Государственные расходы на товары и услуги равны 1,8 млрд долл., государственные трансферты – 0,1 млрд долл.Определите фактическое, структурное и циклическое сальдо государственного бюджета.

Решение. Фактическое сальдо государственного бюджета – разница между фактическими доходами и расходами государственного бюджета (в условиях неполной занятости):

$$С_ф = T_ф – (G + TR),$$

где $T_ф$ – сумма налогов в условиях неполной занятости, ден. ед.; $T_ф = 0{,}1Y$; итак, $T_ф = 0{,}1 \cdot 16 = 1{,}6$ млрд долл.

$С_ф = 1{,}6 – (1{,}8 + 0{,}1) = – 0{,}3$ млрд долл. Наблюдается фактический бюджетный дефицит.

Структурное сальдо государственного бюджета – разница между доходами и расходами государственного бюджета, рассчитанная для уровня национального дохода, соответствующего полной занятости, т. е. потенциального ВВП:

$$С_с = T_с – (G + TR),$$

где $T_с$ – сумма налогов в условиях неполной занятости, ден. ед.; $T_с = 0{,}1Y$; итак, $T_с = 0{,}1 \cdot 20 = 2$ млрд долл.

$С_с = 2 – (1{,}8 + 0{,}1) = 0{,}1$ млрд долл.Наблюдается структурный бюджетный профицит.

Циклическое сальдо государственного бюджета – разница между фактическим и структурным сальдо государственного бюджета:

$$С_ц = С_ф – С_с.$$

$С_ц = – 0{,}3 – 0{,}1 = – 0{,}4$ млрд долл. Наблюдается циклический бюджетный дефицит.

3. Предположим, что фактический ВВП равен 2000 ден. ед., равновесный ВВП составляет 2600 ден. ед., $MPC = 0{,}75$. Какие изменения в бюджетно-налоговой политике должны произойти, чтобы экономическая система пришла в состояние макроэкономического равновесия?

*Решение.*Для того чтобы экономическая система пришла в состояние макроэкономического равновесия путём прироста ВВП на 600 ден. ед.,необходимо осуществить стимулирующую бюджетно-налоговую политику, предполагающую рост государственных расходов или снижение налогов.

Если государственные расходы увеличиваются на ΔG, то ВВП возрастает на величину $\Delta Y = \Delta G \cdot m_g$, где m_g – мультипликатор государственных расходов. Отсюда $\Delta G = \Delta Y / m_g$.

Для определения мультипликатора государственных расходов может быть использована следующая формула:

$$m_g = 1 / (1 - b),$$

где $b = MPC$ – предельная склонность к потреблению, дол.ед.

Таким образом, $m_g = 1 / (1 - 0{,}75) = 4$.

$\Delta G = 600 / 4 = 150$ ден. ед.

Если налоговые отчисления снижаются на ΔT, то ВВП возрастает на величину $\Delta Y = \Delta T \cdot m_t$, где$m_t$ – налоговый мультипликатор. Отсюда $\Delta T = = \Delta Y / m_t$.

Для определения налогового мультипликатора может быть использована следующая формула:

$$m_t = - b / (1 - b).$$

Таким образом, $m_t = - 0{,}75 / (1 - 0{,}75) = - 3$.

$\Delta T = 600 / (- 3) = - 200$ ден. ед.

Для того чтобы экономическая система пришла в состояние макроэкономического равновесия, необходимо или увеличить государственные расходы на 150 ден. ед., или снизить налоги на 200 ден. ед.

Тема 3.5. Мировая экономика и внешнеэкономическая политика

Теории международной торговли

1. Допустим, что Россия производит 360 электровозов и 2400 вагонов, а Украина – 160 электровозов и 800 вагонов. Если бы Россия производила только электровозы, то их ежегодный выпуск составил бы 600 шт., а если бы только вагоны, то выпустила бы их 6000 шт. Соответственно, Украина могла бы производить либо 200 электровозов, либо 4000 вагонов.

Определите, какая страна обладает абсолютным и сравнительным преимуществом в производстве этих видов продукции; к каким выгодам приводят специализация и внешняя торговля?

2. В Казахстане один работник производит 1 т мяса или 20 ц пшеницы в год, а в Кыргызстане – 2 т мяса или 10 ц пшеницы. Всего в Казахстане на производстве мяса и пшеницы специализируются 400 тыс. человек, а в Кыргызстане – 100 тыс. человек. Президенты Казахстана и Кыргызстана подписывают соглашение об экономическом сотрудничестве, включая эффективное разделение труда в производстве пшеницы и мяса. Как будут выглядеть кривые производственных возможностей двух государств по производству мяса и пшеницы?

3. Россия и Германия производят два вида товара: каждая – велосипеды и очки. В России общее количество труда, расходуемое на их производство, составляет 1000 час, а в Германии – 1200 час. В России необходимо затратить 5 час на производство каждого велосипеда и 2 час – на каждые очки. В Германии и на велосипед, и на очки требуется по 3 час.

А. Покажите графически границу производственных возможностей при одновременном производстве двух товаров отдельно для России и Германии.

Б. Подсчитайте относительную цену велосипедов, выраженную через цену очков, в России и Германии.

В. Изобразите графически расширение возможностей потребления и велосипедов, и очков в России и Германии в результате торговли.

4. Предположим, что страны*A* и *B* производят только два товара – велосипеды и очки. Уровень затрат труда на их производство характеризуется данными таблицы, а предельные издержки замещения остаются неизменными при любых объемах производства.

Страна	Затраты на выпуск 1 велосипеда, час	Затраты на выпуск 1 очков, час
A	100	20
B	160	40

А. Какая из стран имеет абсолютное преимущество в производстве велосипедов (очков)?

Б. Какая из стран имеет сравнительное преимущество в производстве велосипедов (очков)?

В. Какие товары будут экспортировать и импортировать страны *A* и *B*в условиях свободной торговли?

Г. В каких пределах должна установиться соотношение мировых цен на велосипед и очки в условиях свободной торговли между странами *A* и *B*?

5. Ознакомьтесь с характеристиками производственных возможностей стран *X* и *Y*. Предположим, что структура спроса такова, что при отсутствии внешней торговли в стране *X* производится и потребляется 8 тыс. автомобилей и 3 тыс. т риса, а в стране *Y*– 8 тыс. автомобилей и 9 тыс. т риса.

Продукт	Производственные возможности страны *X*					
Автомобиль, тыс.шт.	10	8	6	4	2	0
Рис, тыс. т	0	3	6	9	12	15
	Производственные возможности страны *Y*					
Автомобиль, тыс.шт.	20	16	12	8	4	0
Рис, тыс. т	0	3	6	9	12	15

А. Изобразите графики производственных возможностей стран *X* и *Y* при учете того, что издержки замещения постоянны.

Б. На производстве каких товаров выгодно специализироваться странам *X* и *Y*? Почему?

В. Каков будет прирост мирового производства автомобилей и риса, полученный в результате такой специализации?

Г. В каких пределах может установиться мировая цена одного автомобиля?

Д. Предположим, что мировая цена устанавливается на уровне «1 автомобиль за 1 т риса» и что объемы внешней торговли составляют 10 тыс. автомобилей и 10 тыс. т риса. Каким будет выигрыш от специализации и торговли для каждой страны?

6. Ознакомьтесь с характеристиками производственных возможностей стран *X* и *Y*. Предположим, что структура спроса такова, что при отсутствии внешней торговли в стране *X* производится и потребляется 6 тыс. т пшеницы и 9 тыс. т кукурузы, а в стране *Y*– 16 тыс. пшеницы и 6 тыс. т кукурузы.

Продукт, тыс. т	Производственные возможности страны *X*						
Пшеница	12	10	8	6	4	2	0
Кукуруза	0	3	6	9	12	15	18
	Производственные возможности страны *Y*						
Пшеница	24	20	16	12	8	4	0
Кукуруза	0	3	6	9	12	15	18

А. Изобразите графики производственных возможностей стран *X* и *Y* при учете того, что издержки замещения постоянны.

Б. На производстве каких товаров выгодно специализироваться странам *X* и *Y*? Почему?

В. Каков будет прирост мирового производства пшеницы и кукурузы, полученный в результате такой специализации?

Г. В каких пределах может установиться мировая цена 1 т пшеницы и 1 т кукурузы?

Тарифные и нетарифные ограничения

7. Россия производит и потребляет постоянные магниты. Их внутреннее предложение: Q^S=50+5P, а спрос: Q^D =400 – 10P. Мировая цена на магниты составляет 10 долл. Правительство вводит квоту, ограничивающую импорт магнитов в размере 50 шт.

А. Сколько магнитов и по какой цене Россия будет производить в условиях свободы торговли?

Б.Каков будет объем их импорта при мировой цене на магниты 10 долл.?

В. Как импортная квота повлияет на внутренние цены магнитов?

Г. Насколько увеличатся доходы импортеров, получивших право на импорт в рамках квоты, от ее введения?

Д. Каковы будут потери потребителей?

8. Россия производит 70, потребляет 20 и экспортирует 50 легких спортивных самолетов в год по цене 6000 долл. за самолет. Правительство, считая самолетостроение перспективной отраслью, предоставляет производителям субсидию в размере 15% от стоимости самолета, в результате чего внутренняя цена самолета увеличивается до 6450 долл., а его цена на внешнем рынке сокращается до 5550 долл.

А. Почему внутренняя цена на самолет увеличилась меньше, чем размер субсидии?

Б. Как введение субсидии отразилось на объемах внутреннего производства и экспорта самолетов?

В. Как повлияло введение субсидии на потребителей и доходы бюджета?

Г. Какое воздействие оказало введение субсидии на условия торговли России?

9. Говядина стоит 5,4 долл. за 1 кг. По этой цене российские фермеры производят 20 тыс. т, тогда как спрос на российском рынке достигает 60 тыс. т. В странах ближнего зарубежья, являющихся экспортерами говядины в Россию, ее цена составляет 3,6 долл. за 1 кг. По такой цене российские фермеры смогут произвести только 5 тыс. т при спросе, увеличивающемся до 65 тыс. т. Для защиты внутреннего рынка Россия вводит импортную квоту, лицензия на получение которой стоит как раз столько, сколько составляет разница между внутренней ценой говядины и ее ценой в странах ближнего зарубежья, то есть 1,8 долл. за 1 кг.

А. Каков объем импорта говядины при свободе торговли и при защите внутреннего рынка импортной квотой?

Б. Как скажется введение квоты на потребителях и на производителях?

В. Каков доход импортеров, получивших разрешение на импорт в рамках квоты, от ее введения?

Платежный баланс

10. К какому счету – счету текущих операций или счету движения капиталов – Выотнесли бы: а) покупку японцами гостиницы в США; б) покупку американцами японских установок для опреснения морской воды? Учитывая, что и гостиница, и опреснительная установка с точки зрения экономической теории являются товарами, установите, в чем состоит их различие?

11. Классифицируйте каждую из названных операций (отток или приток капитала) с точки зрения российской экономики: а) «новый русский» приобретает виллу в Испании; б) крупный московский банк предоставляет правительству Казахстана ссуду в 100 тыс. долл.; в) российский импортер вина берет краткосрочный займ в одном из итальянских банков для оплаты приобретаемой им партии итальянского ликера; г) кондитерская фабрика в Самаре приобретает акции американской корпорации по производству шоколадных конфет.

12. На основании приведенных статей составьте платежный баланс страны «Дельта», классифицируя каждую из операций как кредит или дебет, выделяя основные его разделы – текущий баланс и баланс движения капиталов, определяя сальдо по итогам каждого счета и итоговое сальдо. Экспорт нефти 6 млн долл. Импорт зерна 5 млн долл. Экспорт оружия 2 млн долл. Доходы от туризма иностранцев в «Дельте» 6 млн долл. Денежные пе-

реводы иностранцам из «Дельты» 2 млн долл. Покупка акций частных корпораций страны «Альфа» 6 млн долл. Покупка золота у иностранных граждан 1 млн долл.

13. На основании приведенных статей составьте платежный баланс страны «Альфа», классифицируя каждую из операций как кредит или дебет.

Операция	Сумма, млрд руб.
Экспорт нефти	90
Импорт зерна	60
Экспорт оружия	30
Доходы от туризма иностранцев в «Альфе»	70
Денежные переводы иностранцам из «Альфы»	35
Покупка акций частных корпораций страны «Дельта»	70
Покупка золота у иностранных граждан	15

14. Европейская компания закупает автомобили в США по цене 12000 долл. Валютный курс составляет: 1 евро = 1,2 долл. Какими будут последствия повышения курса евро по отношению к доллару США на 10 % для импортера?

15. Допустим, курс доллара к евро составляет 1:3, следовательно, один и тот же товар стоитв США, например, 400 долл., а в Европе 1200 евро. Какой экспортер получит дополнительный доход (США или европейская страна), если курс доллара искусственно понизится до 1:2? Определите величину дополнительного дохода.

16. Допустим, корзина американского потребителя стоит 200 долл., а российского – 7500 руб. Номинальный валютный курс американского доллара составляет: 1 долл. = 30 руб. Чему равен реальный валютный курс?

17. Два одинаковых по своим качествам автомобиля – российский и американский – стоят соответственно 210 тыс. руб. и 10 тыс. долл. Номинальный обменный курс американского доллара составляет 30 руб.

А. Чему равен реальный обменный курс доллара?

Б. Как должен измениться номинальный обменный курс американской валюты, чтобы реальный обменный курс составил 1?

В. Из-за высокой инфляции российский автомобиль стал стоить 270 тыс. руб. Как при этом изменился реальный обменный курс, если номинальный курс остался прежним? Как должен измениться номинальный обменный курс, чтобы реальный обменный курс остался неизменным?

18. Спрос домашних хозяйств на отечественные блага выражается формулой: $C = 1000 + 0{,}6Y$, а на импортные: $Z = 0{,}2Y$. Объем инвестиций представлен функцией: $I = 5000 – 1250r + 0{,}1Y$. Государственные расходы в точности равны сумме подоходного налога, ставка которого составляет 25 %. Экспорт страны равен 10000 ден. ед. В обращении находится 20000 ден. ед., а операционный и спекулятивный спрос на деньги соответственно представлен формулами: $M^D_{OP} = 0{,}5Y$; $M^D_{SP} = 20625(r – 1{,}5) – 2000$. Определить состояние торгового баланса страны при достижении совместного равновесия на рынках благ и денег.

Примеры решения типовых задач

1. Предположим, что страны A и B производят только два товара – сахар и сталь. Уровень затрат труда на их производство характеризуется данными таблицы, а предельные издержки замещения остаются неизменными при любых объемах производства.

Страна	Затраты на выпуск 1 т стали, час	Затраты на выпуск 1 т сахара, час
A	150	100
B	120	120

А. Какая из стран имеет абсолютное преимущество в производстве стали (сахара)?

Б. Какая из стран имеет сравнительное преимущество в производстве стали (сахара)?

В. Какие товары будут экспортировать и импортировать страны *A* и *B*в условиях свободной торговли?

Г. В каких пределах должно установиться соотношение мировых цен на сталь и сахар в условиях свободной торговли между странами *A* и *B*?

Решение.

А. Абсолютное преимущество – возможность страны производить благодаря ее естественным и приобретенным преимуществам какой-либо товар с меньшими издержками труда на единицу продукции по сравнению с другими странами, производящими этот же товар. Абсолютным преимуществом в производстве стали обладает страна*B* (120 т/час < 150 т/час), в производстве сахара – страна *A* (100 т/час < 120 т/час).

Б. Сравнительное преимущество – способность страны производить товар или услугу с относительно меньшими издержками замещения по сравнению с другими странами. Издержки замещения представляет собой соотношение абсолютных удельных затрат труда по двум видам товаров в одной стране.

Издержки замещения стали определяются по формуле

$$Za = a/b,$$

Где *a* – удельные затраты труда на производство стали, час./т стали;

b – удельные затраты труда на производство сахара, час./т сахара.

Страна *B* имеет сравнительное преимущество в производстве стали, так как издержки замещения у неё минимальны:

Za (страна *A*) = 150 час/т стали : 100 час/т сахара = 1,5 т сахара /т стали;

Za (страна *B*) = 120 час/т стали : 120 час/т сахара = 1 т сахара /т стали → min.

Издержки замещения сахара определяются по формуле

$$Zb = b/a.$$

Страна *A* имеет сравнительное преимущество в производстве сахара, так как издержки замещения у неё минимальны:

Zb(страна *A*) = 100 час/т сахара: 150 час/т стали = 0,67 т стали/т сахара → min;

Zb(страна *B*) = 120 час/т сахара : 120 час/т стали = 1 т стали/т сахара.

В.Международная торговля является выгодной в том случае, если две страны торгуют товарами, которые каждая из стран производит с меньшими издержками, чем страна-партнер. Страны должны экспортировать те товары, которые они производят с меньшими издержками, и импортировать те товары, которые производятся другими странами с меньшими издержками.

В условиях свободной торговли страна *A* будет экспортировать сахар и импортировать сталь, страна *B* будет экспортировать сталь и импортировать сахар.

Г.В условиях свободной торговли мировая цена стали установится в следующих пределах: 1 т сахара < 1 т стали < 1,5 т сахара; мировая цена сахара: 0,67 т стали < 1 т сахара < 1 т стали.

2. В стране внутренний спрос на товар$Q^D = 50 - P$ и внутреннее предложение $Q^S = -10 + P$, а мировая цена на товар составляет 20 долл. Какова будет цена товара на внутреннем рынке при импортной квоте, равной 10 ед. товара?

Решение. В условиях закрытой экономики равновесный объем товара будет равен 20 ед. при равновесной цене 30 долл.:

$Q^D = Q^S$; $50 - P = -10 + P$, $P = 30$, $Q = 20$.

В условиях открытой экономики внутренняя цена товара установится на уровне мировой цены 20 долл. Отсюда: внутренний спрос $Q^D = 50 - -20 = 30$ ед.больше предложения товара отечественных производителей $Q^S = -10 + 20 = 10$ ед. на величину импорта в размере 20 ед.

Политика импортного квотирования приводит к увеличению цены товара на внутреннем рынке до 25 долл.: $Q^D = 50 - 25 = 25$ ед., $Q^S = -10 + +25 = 15$ ед.; $Q^D - Q^S = 25 - 15 = 10$ ед.

3. Платежный баланс условной страны Скорпио за год представлен в таблице (млрд долл.).

- Каково сальдо торгового баланса?
- Каково сальдо баланса текущих операций?
- Каково сальдо баланса движения капиталов?
- Каково сальдо баланса официальных расчетов страны?
- Каково изменение официальных резервов страны?

Экспорт товаров	+ 40
Импорт товаров	– 30
Экспорт услуг	+ 15
Импорт услуг	– 10
Доходы от зарубежных инвестиций	+ 20
Доходы на зарубежные инвестиции	– 10
Трансферты из-за границы	+ 1
Трансферты за границу	– 6
Приток капитала	+ 10
Отток капитала	– 40

Решение. Представим платежный баланс условной страны Скорпио за год в следующем виде (млрд долл.):

Платежный баланс условной страны Скорпио за год выглядит следующим образом (млрд долл.):

КРЕДИТ (+)	ДЕБЕТ (–)
I. Счет текущих операций	
1. Экспорт товаров + 40	2. Импорт товаров – 30
Сальдо торгового баланса + 10	
3. Экспорт услуг + 15	4. Импорт услуг – 10
5. Доходы от зарубежных инвестиций +20	6. Доходы на зарубежные инвестиции -10
7. Трансферты из-за границы – 6	8. Трансферты заграницу + 1
Сальдо баланса текущих операций + 20	
II. Счет движения капитала	
9. Приток капитала + 10	10. Отток капитала – 40
Сальдо баланса движения капитала – 30	
Сальдо баланса текущих операций и движения капитала (сальдо баланса официальных расчетов)– 10	
11. Изменение официальных валютных резервов + 10	

Таким образом, платежный баланс условной страны Скорпио, имея отрицательное итоговое сальдо, является пассивным.

4. Два одинаковых по своим качествам автомобиля – российский и американский – стоят соответственно 210 тыс. руб. и 10 тыс. долл. Номинальный обменный курс американского доллара составляет:1 долл. = 30 руб. Чему равен реальный обменный курс доллара?

Решение. Реальный обменный курс определяем по формуле

$$\varepsilon = P / (e \cdot P^*),$$

где ε – реальный обменный курс;

P–цена отечественного товара, руб.;

P^* – цена товара за рубежом, долл.;

e– номинальный обменный курс, руб./долл.

Реальный обменный курс составит: 210 тыс. руб. / (30 руб./долл. х х 10 тыс. долл.) = 0,7. Значит, за 1 российский автомобиль можно приобрести 0,7 американского.0,7> 1 → отечественный товара является более конкурентоспособным.

5. Ниже приведена карта спроса и предложения на рынке фунтов стерлингов (£):

Цена £, $	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
Объем предложения £, млн	160	170	180	190	200	220
Объем спроса на £,млн	200	190	180	170	160	150

А. Федеральная резервная система США устанавливает валютный курс на уровне: 1 £ = 2,1 $. Должна ли ФРС в этой ситуации покупать или продавать фунты стерлингов? Если да, то какое количество?

Б. Что произойдет в этом случае с официальными валютными резервами США?

Решение.

А. В соответствии с имеющимися данными при валютном курсе 1£ = 2,1$ существует дефицит фунтов стерлингов в размере 20 млн(170 – 190). Таким образом, для поддержания фиксированного валютного курса Федеральная резервная система США должна продавать 20 млн фунтов стерлингов.

Б. Официальные валютные резервы уменьшатся на 20 млн фунтов стерлингов.

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответ на имеющиеся эталоны ответов. При самостоятельной подготовке к тестированию студенту необходимо:

1. готовясь к тестированию, проработать информационный материал по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора учебной литературы;

2. четко выяснить все условия тестирования заранее. Студент должен знать, сколько тестов ему будет предложено, сколько времени отводится на тестирование, какова система оценки результатов и т. д.;

3. приступая к работе с тестами, внимательно и до конца нужно прочитать вопрос и предлагаемые варианты ответов; выбрать правильные (их может быть несколько); на отдельном листке ответов вписать цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам;

- в процессе решения желательно применять несколько подходов в решении задания. Это позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант;

- не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, нужно переходить к другим тестовым заданиям; к трудному вопросу можно обратиться в конце;

- обязательно необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

Раздел 1. ВВЕДЕНИЕ В ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ТЕОРИЮ

Тема 1.2. Сущность и типы экономических систем. Отношения собственности

1. Правильная последовательность фаз (стадий) общественного производства такова:

а) производство, распределение, обмен, потребление;
б) производство, обмен, распределение, потребление;
в) распределение, производство, обмен, потребление;
г) распределение, потребление, производство, обмен.

2. Воспроизводство, которое связано с привлечением дополнительных экономических ресурсов, называется:

а) простым;
б) сокращающимся;
в) интенсивным;
г) экстенсивным.

3. Непрерывное возобновление процесса создания благ и услуг в увеличивающихся размерах называется:

а) расширенным воспроизводством;
б) воспроизводством;
в) производством;
г) простым воспроизводством.

4. Из приведенных ниже комбинаций включает различные факторы производства только следующая:

а) нефть, нефтяник, владелец нефтяной компании, газ;
б) работник конвейера, конвейер, автомобиль;
в) поле, трактор, фермер-предприниматель, доярка;
г) банкир, компьютер, деньги.

5. Капитал как фактор производства – это:

а) оборудование, орудия труда, машины, сырье, с помощью которых производятся товары;
б) накопления и сбережения физических и юридических лиц;
в) деньги и ценные бумаги;
г) денежные средства, используемые в расчетах между покупателем и продавцом.

6. Что вы понимаете под экономической категорией «собственность»:

а) обладание материальными или духовными благами;
б) юридически закрепленное право владеть, распоряжаться, использовать принадлежащие людям материальные или духовные блага;
в) отношения между людьми по поводу присвоения материальных и духовных благ;
г) комплекс прав владельца блага.

7. «Пучок прав собственности» предполагает:

а) право на исключение из доступа к ресурсам других агентов;
б) право на получение ресурса;
в) право на получение дохода от ресурса;

г) право на передачу всех предыдущих полномочий.

8. Владение – это:
а) право производительно или лично потреблять вещь;
б) право физического обладания вещью;
в) право определения способа использования вещи.

9. Общественная собственность НЕ может выступать в форме:
а) акционерной;
б) коллективной;
в) государственной;
г) общенародной.

10. В какой из вариантов включены основные вопросы, решаемые любой экономической системой:
а) что производится, как производится, для кого производится;
б) что потребляется, как производится, кто производит;
в) что потребляется, как потребляется, кем потребляется;
г) что производится, как потребляется, кем производится?

11. Главным критерием дифференциации экономических систем является:
а) характер распределяемых доходов;
б) основная форма собственности;
в) предпосылки для экономического роста;
г) состояние рыночного обмена.

12. Стихийный способ координации деятельности экономических агентов характерен:
а) для рыночной экономики;
б) плановой экономики;
в) традиционной экономики;
г) любой экономической системы.

13. Одно из преимуществ административно-командной экономики состоит в следующем:
а) возможности быстрой концентрации ресурсов в государственном секторе;
б) свободном выборе хозяйствующими субъектами видов деятельности;
в) возможности полного удовлетворения потребностей общества;
г) формировании цен на основе взаимодействия спроса и предложения.

14. Когда экономические проблемы решаются частично рынком, частично государством, то экономика:
а) административно-командная;
б) рыночная;
в) натуральная;
г) смешанная.

15. К трансакционным издержкам НЕ относятся:
а) издержки, связанные с поиском информации;
б) издержки, связанные с оплатой сырья и материалов;
в) издержки оппортунистического поведения;
г) издержки, связанные со спецификацией и защитой прав собственности.

Тема 1.3. Общая характеристика рыночной системы хозяйствования

1. Какой из ниже перечисленных элементов является наиболее важным для рыночной экономики:

а) эффективные профсоюзы;

б) продуманное государственное регулирование;

в) ответственные действия предпринимателей;

г) активная конкуренция на рынке.

2. К характеристике рыночной экономики НЕ относится:

а) централизованное планирование;

б) предпринимательская деятельность;

в) частная собственность;

г) конкуренция.

3. Проблема «как производить» в рыночной экономике решается:

а) через стремление производителей к получению прибыли и, следовательно, к минимизации издержек производства;

б) на основе широкого использования в экономике средств производства;

в) на основе динамики и объема потребительского спроса, которые определяются через цены на конечные продукты;

г) на основе специализации, которая используется при применении разных технологических способов производства;

д) нет верного ответа.

4. Фиаско рынка проявляется в …

а) отсутствии стимулов к производству товаров и услуг коллективного пользования;

б) неспособности уравновешивать экономические интересы продавцов и покупателей;

в) отсутствии механизмов «вымывания» неконкурентоспособных предприятий;

г) неспособности информировать фирмы об объемах и структуре производства.

5. К функциям рынка не относится …

а) социальная;

б) ценообразующая;

в) стимулирующая;

г) посредническая.

6. Рынок не обеспечивает:

а) удовлетворения потребностей всех членов общества;

б) экономического стимулирования эффективности производства;

в) установления ценностных эквивалентов для обмена;

г) согласования производства и потребления по структуре.

7. Роль государства в экономике в период развития капитализма свободной конкуренции определялась взглядами …

а) классической политэкономии;

б) монетаризма;

в) институционализма;

г) кейнсианства.

8. Натуральной форме общественного хозяйства НЕ присущи отношения:

а) обмена;
б) распределения;
в) потребления;
г) производства.

9. Товарное производство непременно предполагает:
а) обособленность товаропроизводителей;
б) господство государственной собственности;
в) преобладание ручного труда;
г) непосредственную связь производства и потребления.

10. Главным критерием при разделении рынка на легальный и нелегальный является:
а) степень конкурентности рынков;
б) экономическое назначение объектов рыночных отношений;
в) уровень насыщенности рынков;
г) степень соответствия законодательству;
д) территориальный (географический) признак.

11. Рыночная инфраструктура НЕ включает:
а) товарные биржи;
б) фондовые биржи;
в) бюджет государства;
г) банки и кредитные организации;
д) биржи труда.

12. Классический рынок характеризуется…
а) неограниченным числом участников и свободной конкуренцией между ними;
б) отсутствием самостоятельности в коммерческой деятельности;
в) монополизмом производителя;
г) государственным регулированием.

13. Решение проблемы внешних эффектов, предложенное Р. Коузом, предполагает, кроме всего прочего, что величина _____ издержек незначительна, или они отсутствуют.
а) трансакционных;
б) социальных;
в) внешних;
г) предельных.

14. Международный пример решения проблемы загрязнения окружающей среды как проблемы внешних эффектов под названием «Киотский протокол» предусматривает…
а) создание рынка прав на загрязнение;
б) введение платы за выбросы;
в) введение корректирующих налогов;
г) запрет на применение отходных технологий.

15. Общественные блага характеризуются _____ в потреблении.
а) неисключаемостью и неконкурентностью;
б) неисключаемостью и конкурентностью;
в) неконкурентностью и исключаемостью;
г) исключаемостью и конкурентностью.

Раздел 2. ОСНОВЫ МИКРОЭКОНОМИКИ

Тема 2.2. Теория потребительского выбора

1. Условная единица полезности, введенная сторонниками количественного подхода для измерения удовлетворения от потребления блага, называется:

а) ютиль;

б) экю;

в) тратта;

г) сеньораж.

2. Под предельной полезностью понимается:

а) способность товаров и услуг удовлетворять человеческие потребности;

б) субъективная оценка благ людьми;

в) добавочная полезность или удовлетворение, извлекаемое потребителем из одной дополнительной единицы конкретного продукта;

г) объективное свойство экономических благ;

д) нижний предел цены.

3. Закон уменьшающейся предельной полезности констатирует, что:

а) предельная полезность товара *X* падает по мере приобретения дополнительных единиц других товаров;

б) общая полезность товара *X* повышается при потреблении последующих единиц этого товара;

в) общая полезность максимизируется, когда выполняется условие *MUx/Px = MUy/Py*;

г) приобретение каждой дополнительной единицы товара *X* приносит все меньше удовлетворения покупателю.

4. Теория потребительского поведения предполагает, что потребитель стремится максимизировать:

а) разницу между общей и предельной полезностью;

б) общую полезность;

в) предельную полезность;

г) каждую из перечисленных величин.

5. Общая полезность блага максимальна, если предельная полезность его дополнительной единицы:

а) увеличивается;

б) уменьшается;

в) является величиной положительной;

г) является величиной отрицательной;

д) равна 0.

6. Чтобы максимизировать полезность, потребитель должен так распределить доход, чтобы:

а) предельная полезность каждого потребленного товара была одинаковой;

б) общая полезность каждого товара в расчете на единицу товара была одинаковой;

в) предельная полезность каждого товара, полученная в расчете на 1 руб. была одинаковой;

г) приобретать максимальное количество товаров, не являющихся заменителями.

7. Кривая безразличия:

а) представляет совокупность набора товаров, для приобретения которой используется весь доход потребителя;

б) отражает объективные рыночные характеристики, касающиеся величины дохода и цен;

в) меняет свой наклон, если изменяется доход потребителя;

г) введена в экономический анализ Вальрасом;

д) это линия, каждая точка которой представляет комбинацию товаров, дающую потребителю равный объем удовлетворения потребности.

8. Предельная норма замещения:

а) всегда положительна;

б) представляет собой отношение предельных полезностей товаров-заменителей;

в) показывает, от какого количества одного блага потребитель должен отказаться для приобретения единицы другого блага так, чтобы уровень общей полезности не изменился;

г) характеризует наклон бюджетной линии.

9. Бюджетная линия:

а) характеризует предельную полезность товара;

б) показывает общую полезность;

в) при изменении цен товаров не меняет своего наклона;

г) представляет все доступные комбинации товаров при заданных ценах и величине дохода потребителя;

д) определяет субъективную информацию потребителя о его предпочтениях.

10. Потребительское равновесие на карте безразличия – это:

а) любое пересечение бюджетной линии и кривой безразличия;

б) любая точка на самой высокой из кривых безразличия;

в) та точка, в которой наклон бюджетной линии равен наклону касательной к ней кривой безразличия;

г) любая точка, расположенная на бюджетной линии;

д) любая точка, расположенная на пространстве, ограниченном бюджетной линией.

11. Эффект дохода гласит, что…

а) при постоянном доходе снижение цены увеличивает покупательную способность;

б) при постоянном доходе снижение цены вызовет уменьшение покупательной способности;

в) в определенных ситуациях закон спроса нарушается, а кривая спроса получает положительный наклон;

г) с ростом дохода потребитель начинает приобретать только «престижные» товары.

12. Эффект замещения – это…

а) изменение объема и структуры потребления вследствие изменения относительной цены и перемещения из одной точки кривой безразличия в другую;

б) изменение объема и структуры потребления вследствие перемещения на более высокую или низкую кривую безразличия;

в) вытеснение из потребления низкокачественных товаров более качественными и дорогостоящими;

г) демонстрационное потребление с положительной зависимостью между ценой и количеством спроса на товар.

13. Под эффектом Веблена понимается…

а) демонстрационное потребление, т. е. увеличение потребительского спроса, связанное с тем, что товар имеет более высокую цену;

б) спонтанный спрос, управляемый сиюминутным желанием;

в) изменение спроса группы людей из-за того, что другие люди потребляют данный товар;

г) изменение спроса на товар, обусловленное качествами, присущими самому товару.

14. Ситуация, когда снижение цены приводит к уменьшению спроса, а увеличение цены – повышению спроса на некачественный или низший товар, который занимает значительное место в структуре потребления, называется эффектом …

а) Гиффена;

б) Веблена;

в) сноба;

г) дохода.

15. Излишек потребителя – это сумма денег:

а) которая не нужна потребителю;

б) которую государство забирает у потребителя при помощи налогов;

в) которую выигрывает потребитель из-за разницы между ценой, которую он готов уплатить, и рыночной ценой;

г) которую потребитель желает отдать тем фирмам-производителям, у которых наиболее высококачественная продукция.

Раздел 3. ОСНОВЫ МАКРОЭКОНОМИКИ

Тема 3.1. Национальная экономика: цели и результаты развития

1. Специфическим методом макроэкономики является:

а) метод индукции;

б) агрегирование;

в) метод синтеза;

г) метод научной абстракции;

д) метод функционального анализа.

2. Функцией предпринимательского сектора в рамках модели экономики страны является:

а) предложение факторов производства;

б) потребление экономических благ;

в) предложение общественных экономических благ;

г) предложение денег;

д) предложение частных экономических благ.

3. В модели кругооборота экономики страны в качестве доходов государственного сектора выступают:

а) трансферты;

б) факторные доходы;

в) налоги и сборы;

г) сбережения;

д) инвестиции.

4. Национальное богатство в широком понимании:

а) стоимость имущества, которым владеет страна: лесов, рек, полей, фабрик, заводов, имущества ее граждан;

б) стоимость всех факторов производства;

в) совокупность всех ценностей, которыми располагает страна на каждом этапе развития.

5. Повторный счет при расчете ВВП устраняется путем исключения из его величины:

а) стоимости конечной продукции;

б) стоимости промежуточной продукции;

в) добавленной стоимости;

г) государственных субсидий;

д) косвенных налогов.

6. Какие из нижеперечисленных доходов вы включили бы в ВВП?

а) зарплату репетитора на дому;

б) продажу старого холодильника;

в) доход владельца автозаправочной станции;

г) денежный перевод внуку от бабушки, живущей в другом городе.

7. Для расширения производственного потенциала страны необходимо, чтобы:

а) ВНП превышал ЧНП на величину амортизации;

б) НД превышал объем потребительских расходов населения и государства;

в) инвестиции превышали величину амортизации;

г) ЧНП превышал НД.

8. При расчете стоимости потребительской корзины базового года учитываются: (два ответа)

а) цены произведенных товаров и услуг базового года;

б) цены произведенных товаров и услуг текущего года;

в) объемы производства товаров и услуг базового года;

г) объемы производства товаров и услуг текущего года.

9. Если объем номинального ВВП и уровень цен повысились, то:

а) реальный ВВП не изменился;

б) реальный ВВП увеличился, но в меньшей степени, чем цены;

в) реальный ВВП сократился;

г) эта информация не позволяет определить динамику реального ВВП.

10. К третичному сектору экономики относится следующий вид экономической деятельности:

а) образование;

б) лесное хозяйство;

в) обрабатывающее производство;

г) добыча полезных ископаемых;

д) производство и распределение электроэнергии, газа и воды.

11. Межотраслевые пропорции отражают количественные соотношения между:

а) различными отраслями национальной экономики;

б) отдельными производствами отрасли;

в) накоплением и потреблением;

г) национальными отраслями производства различных стран.

12. Законная, но официально не зарегистрированная деятельность – это:

а) криминальная экономическая деятельность;

б) скрытая (квази-легальная) экономическая деятельность;

в) нелегальная экономическая деятельность;

г) неформальная экономическая деятельность.

Тема 3.2. Макроэкономическое равновесие и макроэкономическая динамика

1. Согласно кейнсианской модели для повышения совокупного спроса при нарушении макроэкономического равновесия, применяются…

а) отвлечение потенциальных расходов;

б) инъекции;

в) повышение учетной ставки;

г) изъятия в виде сбережений.

2. Какое из перечисленных утверждений о кривой AD является ошибочным?

а) отрицательная зависимость между уровнем цен и объёмом выпуска выводится из уравнения количественной теории денег при условии фиксированного предложения денег и скорости их обращения;

б) кривая AD имеет положительный наклон;

в) когда Центральный банк увеличивает предложение денег, изменения в экономике могут быть описаны движением от одной точки на стационарной кривой AD до другой;

г) при движении вдоль кривой AD предполагается, что предложение денег остаётся постоянным;

д) каждая точка на кривой AD представляет собой объём товаров и услуг, который потребители могут приобрести при данном уровне цен.

3. Нарушение равновесия в результате увеличения совокупного спроса на кейнсианском отрезке совокупного предложения приведет к росту:

а) объема производства и росту цен;

б) объема производства и снижению цен;

в) объема производства при неизменных ценах;

г) цен при неизменном объеме производства.

4. Воздействие отрицательного шока совокупного предложения отражается:

а) сдвигом кривой AS влево – вверх;

б) сдвигом кривой AS вправо – вниз;

в) движением вдоль кривой AS;

г) изменением наклона кривой AS.

5. Отношение объема потребления к объему дохода является формальным выражением…

а) акселератора;

б) предельной склонности к потреблению;

в) мультипликатора инвестиций;

г) средней склонности к потреблению.

6. Валовые инвестиции – это…

а) затраты на средства производства, предназначенные на возмещение стоимости потребленного основного капитала и его прирост;

б) затраты на средства производства;

в) затраты на средства производства, предназначенные на возмещение стоимости потребленного основного капитала;

г) затраты на повышение уровня квалификации наемных работников.

7. Эффект мультипликатора при ситуации неполной занятости:

а) действует не в полную силу;

б) проявляется максимально;

в) отсутствует;

г) действует, но не всегда.

8. Потребительские расходы: C = 100 +0,8Y; национальный доход Y = 1000; объем сбережений:

а) 200;

б) 800;

в) 400;

г) 100.

9. Согласно монетаристской концепции обратная зависимость между инфляцией и безработицей существует…

а) в краткосрочном периоде;

б) в долгосрочном периоде;

в) как в краткосрочном, так и в долгосрочном периоде;

г) только в странах с переходной экономикой.

10. Если для удвоения цен необходимо 10 лет, среднегодовой темп инфляции:

а) 17 %;

б) 10 %;

в) 3 %;

г) 7 %.

11. Инфляция, сопровождаемая всеобщим государственным контролем, называется ...

а) подавленная;

б) открытая;

в) ожидаемая;

г) сбалансированная.

12. Ярко выраженная антиинфляционная политика предполагает:

а) повышение уровня налогообложения и сокращение государственных расходов;

б) рост налогов и более высокий уровень государственных расходов;

в) снижение налогов и более высокий уровень государственных расходов;

г) постоянство уровня и государственных расходов, и налоговых поступлений.

13. Если индекс цен в базовом году составил 182,5 %, в текущем – 232,5 %, то темп инфляции в текущем году равен:

а) 50 %;

б) 127 %;

в) 1,27;

г) 27,4 %.

14. Если в стране за текущий год реальная заработная плата увеличилась на 8 % при уровне инфляции 3 %, то номинальная оплата труда:

а) повысилась на 5 %;
б) повысилась на 11 %;
в) снизилась на 3 %;
г) повысилась на 3,67 %.

15. К среднесрочным экономическим циклам относят циклы:

а) Кондратьева;
б) Митчелла;
в) Китчина;
г) Жуглара.

16. Величина реального ВНП в (t-1)-й год составила 15932,3 млрд. руб., в t-й год 16802,8. Чему будут равны темп роста и темп прироста?

а) 105,76% и 5,76%;
б) 105,96% и 5,96%;
в) 104,58% и 4,58%;
г) 105,46% и 5,46%;
д) 103,89% и 3,89%.

17. К интенсивным факторам экономического развития НЕ относятся:

а) использование достижений НТП;
б) увеличение количества используемых ресурсов;
в) повышение квалификации работников;
г) рост производительности труда;
д) повышение фондоотдачи и снижение материалоемкости.

Тема 3.3. Деньги, кредит, банки. Кредитно-денежная политика

1. Что <u>не</u> относится к функциям денег?

а) измерять стоимость товаров и услуг;
б) сохранять богатство;
в) способствовать обороту товаров и услуг;
г) улучшать благосостояние людей.

2. В состав денежного агрегата М3 <u>не</u> входят:

а) бумажные деньги;
б) облигации государственного займа;
в) акции предприятий;
г) металлические деньги.

3. Бумажные деньги отличаются от кредитных тем, что:

а) бумажные деньги – это наличные, а кредитные деньги существуют в форме записей на банковских счетах;

б) бумажные деньги не подлежат вывозу за пределы страны;

в) бумажные деньги имеют принудительную покупательную способность, а кредитные деньги – это векселя эмиссионного банка;

г) бумажные деньги предназначены для оплаты недорогих товаров, а кредитные используются при оплате дорогостоящих товаров и услуг.

4. Равновесие на денежном рынке имеет место при:

а) равенстве предложения и спроса на деньги;

б) равенстве операционного и спекулятивного спроса;
в) равенстве реальных кассовых остатков и предложения денег;
г) равенстве операционного спроса на деньги и предложения денег;
д) равенстве спекулятивного спроса на деньги и предложения денег.

5. Функцией деятельности Центрального банка является:
а) получение прибыли;
б) кредитование предприятий;
в) первичный учет векселей;
г) поддержка устойчивости и покупательной способности национальной валюты.

6. Депозиты…
а) составляют основную часть ресурсов коммерческих банков;
б) представляют собой отношение суммы вкладов к сумме выданных кредитов;
в) являются основной сферой приложения капитала пенсионных фондов;
г) являются элементом регулирования банковской системы, защищая вкладчиков от потерь при банкротстве банков.

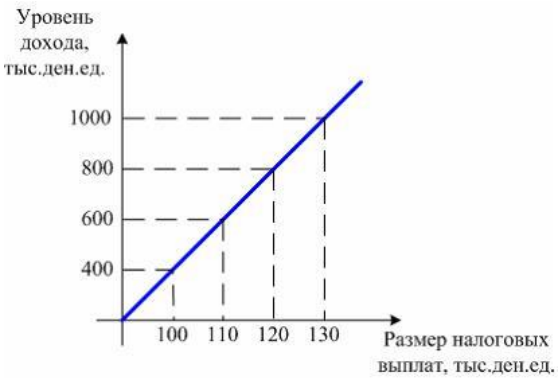
7. Снижение учётной ставки Центрального банка свидетельствует о проведении _____ политики.
а) рестрикционной фискальной;
б) рестрикционной монетарной;
в) экспансионной фискальной;
г) экспансионной монетарной.

8. Допустим, Вы разместили имеющуюся у Вас сумму денег в размере 100 тыс. руб. в банке под 10 % годовых. Таким образом, через год Вы получили 110 тыс. руб. Инфляция за этот период времени составила 15 %. Вывод о выгодности размещения Ваших денежных средств таков:
а) удачно, реальная процентная ставка равна 25 %;
б) не удачно, реальная процентная ставка равна (- 5 %);
в) не удачно, реальная процентная ставка равна (- 10 %);
г) удачно, реальная процентная ставка равна 5 %.

Тема 3.4. Государственные финансы и налогообложение. Бюджетно-налоговая политика

1. Основной принцип налогообложения:
а) неравенство налогообложения;
б) независимость производства от уровня налогообложения;
в) равенство и справедливость;
г) независимость налоговых изъятий от величины дохода.

2. На основании данных графической модели определите тип налоговой системы по характеру начисления налога...



а) регрессивная;
б) прогрессивная;
в) пропорциональная;
г) фиксированная.

3. К бюджетным расходам относятся:
а) государственные займы;
б) эмиссия денег;
в) трансфертные платежи;
г) налоговые платежи.

4. Дефицит госбюджета составлял 250 ден. ед., налоговые поступления выросли на 200 ден. ед., при прочих равных условиях:
а) дефицит бюджета сократился до 50 ден. ед.;
б) возник профицит бюджета в 50 ден. ед.;
в) дефицит бюджета вырос на 50 ден. ед.;
г) госбюджет стал сбалансированным.

5. Предположим, что фактический ВВП равен 200 ден. ед., равновесный ВВП составляет 240 ден. ед., *MPC* = 0,8. Какие изменения в бюджетно-налоговой политике должны произойти, чтобы экономическая система пришла в состояние макроэкономического равновесия?
а) увеличение государственных расходов на 8 ден. ед.;
б) уменьшение государственных расходов на 8 ден. ед.;
в) увеличение государственных расходов на 40 ден. ед.;
г) увеличение налогов на 10 ден. ед..

6. Увеличение правительственных расходов в краткосрочном периоде приводит к:
а) снижению совокупного спроса;
б) увеличению ВВП;
в) снижению ВВП;
г) росту цен.

7. Увеличение предложения денег вызовет:
а) сдвиг кривой IS вправо;
б) сдвиг кривой IS влево;
в) сдвиг кривой LM вправо;
г) сдвиг кривой LM влево;
д) сдвиги обеих кривых вправо.

8. Инструментом стимулирующей бюджетно-налоговой политики является:

а) повышение налогов и сокращение государственных расходов;
б) сокращение налогов и государственных расходов;
в) повышение налогов и государственных расходов;
г) снижение налогов и повышение государственных расходов.

Тема 3.5. Мировая экономика и внешнеэкономическая политика

1. Бреттон-Вудская валютная система действовала:
а) с 1867 по 1944 гг.;
б) с 1881 по 1922 гг.;
в) с 1944 по 1976 гг.;
г) с 1935 по 1953 гг.

2. При плавающем валютном курсе наблюдается следующее:
а) предсказуемость и стабильность;
б) фиксация валютного курса на одном уровне;
в) автоматическая корректировка платежного баланса;
г) возможность возникновения избыточного спроса или избыточного предложения иностранной валюты.

3. Исходя из паритета покупательной способности, если телефон продается за 400 долларов в США и за 10000 рублей в РФ, то обменный курс, выраженный в количестве рублей, приходящихся на 1 доллар, составит…
а) 25;
б) 1;
в) 40;
г) 0,04.

4. Внутренняя конвертируемость валюты – это:
а) обратимость валюты для нерезидентов;
б) обратимость валюты для резидентов;
в) возможность использования валюты при осуществлении любых видов внешнеэкономических операций;
г) возможность использования валюты при осуществлении некоторых видов внешнеэкономических операций.

5. Парадокс Леонтьева заключается в том, что:
а) страны экспортируют те товары, которые они производят с меньшими удельными издержками труда, и импортируют те товары, которые производятся другими странами с меньшими удельными издержками труда;
б) в экспорте развитой страны при относительно избыточном факторе капитала преобладают относительно более трудоемкие товары, а в импорте – капиталоемкие;
в) в импорте развитой страны при относительно избыточном факторе капитала преобладают относительно более трудоемкие товары, а в экспорте – капиталоемкие;
г) страны с одинаковой обеспеченностью факторами производства выигрывают от внешней торговли при специализации на тех производствах, в которых наблюдается эффект масштаба.

6. К мерам государственного протекционизма относится…
а) введение таможенных пошлин на импортируемые товары;
б) введение налоговых льгот для филиалов зарубежных компаний;

в) отмена любых ограничений на экспорт товаров;

г) полная отмена таможенных пошлин на импортируемые товары.

7. Основной целью существования Всемирной торговой организации является:

а) надзор за валютными курсами и макроэкономической политикой стран-членов и развитием международной экономики в целом;

б) выявление тенденции в экономическом развитии стран-членов, влияния военных действий в сфере экономики на платежные балансы других стран;

в) регулирование торговли товарами и услугами между странами;

г) предоставление кредитов развивающимся странам и странам с переходной экономикой для осуществления мероприятий структурной политики;

д) осуществление банковского надзора и международных расчетов.

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *экзамену* по дисциплине «Экономика» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины «Экономика».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *экзамене* особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как подобные графические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *экзамене* (в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во-первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *экзамену* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД»

специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2018,2019, 2020

Автор: Земцов Н.С. к.г.-м.н.

Одобрен на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Геофизики	
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Талалай А. Г.	Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 12 от 05.03. 2020	Протокол № 7 от 20.03. 2020
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2020

Петрофизика-это одна из наук о Земле, изучающая физичекие свойства минералов, горных пород и руд. Целью изучения
петрофизических характеристик является установление состава,
структуры и состояния пород, особенностей дифференциации физических свойств горных пород, околорудных зон и полезных ископаемых
при решении задач поисков и разведки МШИ, геологического картирования, геотектоники, геодинамики, инженерной геологии геологии.

Петрофизические исследования позволяют обосновать возможность применения отдельных геофизических методов и комплекса геофизических исследований. Наряду с этим петрофизика позволяет решать широкий класс задач прикладного и теоретического характера,
от изучения состава и генезиса рудных и акцессорных минералов
(магнитная минералогия, петрофизика полупроводниковых минералов)
до опробования полезных ископаемых (скважинная и шахтная геофизика), от стратиграфии осадочных комплексов (палеомагнитология)
до прогнозирования состояния вещества в глубинных частях Земли
(экспериментальная и теоретическая петрофизика).

Современная петрофизика изучает широкий спектр Физических
свойств минералов, горных пород и полезных ископаемых:
коллекторские (пористость, проницаемость, влажность, влагоемкость, нефте - и газонасыщенность), плотностные, магнитные (магнитная восприимчивость, остаточная намагниченность, температура
Кюри), электрические (Удельное сопротивление, диэлектрическая
проницаемость, вызванная поляризация, диффузионно-адсорбционная
активность, терма—ЭДС), тепловые (теплоемкость, теплопровод—
ность), ядернофизические (естественная радиоактивность, сечения
взаимодействия и параметры переноса излучений), упругие (упругие
модули, скорости распространения упругих волн).

Курс петрофизики в УГГГА читается на 5 семестре, опережая или
параллельно с основными методами разведочной геофизики. Малый
объем часов (около 40 лекционных) не позволяет подробно изложить
все традиционные разделы петрофизики, обычно рассматриваемые в
учебниках. Поэтому автор рассматривает физические свойства, лежащие в основе гравиразведки, магниторазведки, электроразведки,

сейсморазведки. Главное внимание уделяется факторам, определяющим петрофизические характеристики горных пород, связям физических свойств с петрографическими характеристиками. Петрофизические модели месторождений полезных ископаемых рассмотрены на отдельных примерах, методики и аппаратура петрофизических исследований вынесены на лабораторный практикум и учебно-методическую практику,

1. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Когда ставится задача изучения каких—либо физических свойств

(например, плотности или магнитной восприимчивости) массива магматических или определенного горизонта осадочных горных пород, то из этих объектов (обнажении, горных выработок, керна буровых скважин) отбирается некоторое количество образцов, у которых измеряются соответствующие Физические характеристики. При этом оказывается, что измеренные значения у разных образцов различны.

Эти различия не связаны с погрешностями измерений, а есть результат вариаций физических свойств изученных образцов, т.е. следствие неоднородности объекта исследования. Дело в том, что формирование горных пород (и соответственно их физических свойств) происходит под воздействием большого числа факторов внутренних и внешних. Например, при образовании массивов магматических пород состав и структура будет определятся такими главными факторами:

1.Изменением глубины кристаллизации расплава.
2.Неоднородностью распределения давления и температуры в пределах магматического тела.
3.Фракционной и гравитационной дифференциацией.
4.Перемешиванием расплава.
5.Вааимодействием магмы с вмещающими породами различного состава.

Каждый из перечисленных факторов в свою очередь является сложной функцией от координат и времени. Результатом будет неоднородность состава, размера зерен, структуры и текстуры в пределах массива и как следствие, неоднородность физических свойств. Многообразие действующих факторов, их неопределенность во времени и пространстве позволяют рассматривать их как случайные события, а физические свойства — как случайные величины, к которым может быть применен аппарат математической статистики.

При образовании осадочных (например, обломочных) пород главными факторами являются:

1. Вещественный состав пород источника сноса, характер и степень их выветривания

2.Удаленность бассейна осадконакопления, глубина его, гидродинамические характеристики.

3.Химический состав и степень минерализации вод, окислительно-восстановительный потенциал, РН и т.д.

В процессе Формирования породы эти факторы изменяются в связи с изменениями источников сноса, глубин, гидродинамических и гидрохимических условий, что приводит к изменениям состава обломков, размеров и степени отсортированности зерен, количества и типа цемента и т.д. Возникает первичная неоднородность физических свойств.

На первичную неоднородность может накладываться вторичная, связанная с процессами преобразования: выветриванием, трещиноватостью, метаморфизмом, привносом и выносом вещества и т.д.

Учитывая, что студентам будет читаться специальный курс "Теоретические основы обработки результатов геофизических измерений", ниже приводятся только самые элементарные сведения по статистической обработке результатов изучения физических свойств горных пород, необходимые для понимания последующих разделов.

Предположим, что мы имеем М измерений некоторого физического параметра X, среди которых присутствуют максимальное X_{max} и минимальное X_{min} значения. Разобьем весь диапазон измеренных значений на п интервалов с шириной каждого АХ:

$$\Delta X = (X_{max} - X_{min})/n \text{ , (1.1)}$$

Количество интервалов т связано с объемом выборки N и обычно определяется формулой Старджеса:

$$n = 3.3 * lgN + 1$$

где n округляется до целого числа.

Подсчитаем N_i -число измерений, параметр X которых попадает в 1-й интервал (1=1,2...n). Строится график зависимости N_i или $(N_i/N)*100^2$ от X. В каждом интервале рассчитанное значение изображается в виде отрезка горизонтальной линии (гистограмма). На рисунке 1.1 приведен пример гистограммы для N=40, n=5.

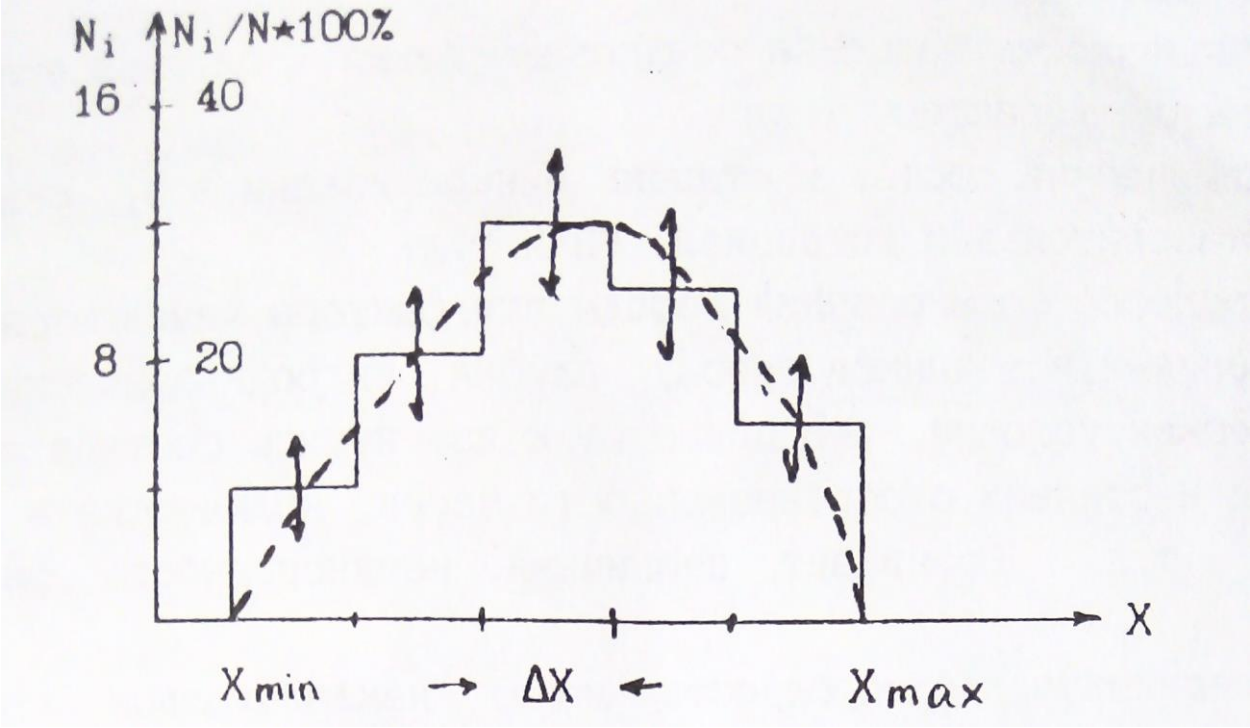


Рис.1.1. Гистограмма распределения параметра X

Гистограмма содержит в себе все статистические характеристики объекта исследования. В частности, величина $(N_i/N)*100\%$
представляет вероятность (в %) для данного объекта существования значении параметра X в пределах 1-го интервала. При построении реальных гистограмм не следует абсолютизировать полученный результат. Дело в том, что мы всегда имеем дело с ограниченными выборками и каждое значение N_i получено с погрешностью, вероятное значение которой приближенно оценивается как $\pm\sqrt{N_i}$ (на рис. показано стрелками).

При неограниченном возрастании объема выборки ($N \to \sim$), число интервалов (n) также стремится к бесконечности, а ширина интервала (ΔX) к нулю и мы получаем непрерывную кривую распределения, КОТОРУЮ часто называют вариационной кривой. Приближенно вариационную кривую можно получить путем визуального сглаживания гистограммы таким образом, чтобы площади между осью абсцисс и гистограммой и осью абсцисс и вариационной кривой были равны (изображено пунктирной линией).

Опыт Изучения физических свойств показывает, что часто распределения их подчиняется двум законам: нормальному и логнормальному — ПРИ нормальном законе кривая распределения P(X) описывается выражением:

$$F(X) = \frac{\exp[-\frac{(X_K - MX)^2}{2\sigma^2}]}{\sigma\sqrt{2\pi}}, \quad (1.2)$$

где MX—мода параметра или значение его в максимуме распределения (для нормального закона совпадает со средним значением параметра: $MX = \bar{X} = \frac{\sum X_k}{N}$ k=(1,2...N).

σ-среднеквадратичное отклонение (σ^2—называют стандартом).
Нормальному закону подчиняется обычно распределение плотности, пористости, скорости продольных волн. На рис.1.2 приведен пример нормального распределения с двумя различными значениями стандарта.

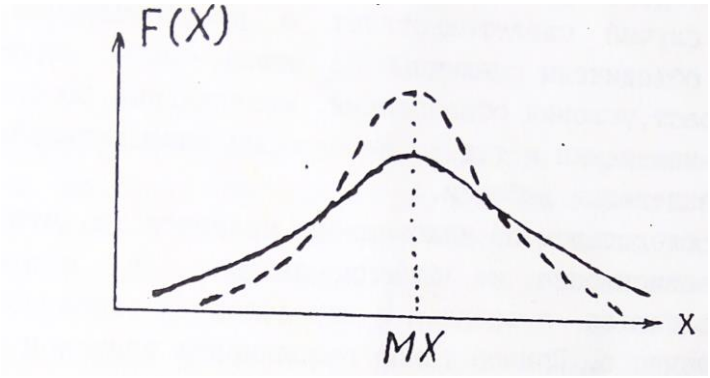


Рис.1.2. Нормальное распределение параметра X

Кривая характеризуется симметрией относительно моды и полностью определяется двумя величинами MX и σ. Логнормальныи закон соответствует случаю, когда нормальному закону подчиняется логарифм параметра (logX). Этому закону обычно подчиняется распределение магнитной восприимчивости, удельного электрического сопротивления, нефтенасыщенности. Для практического построения гистограмм или вариационных кривых в предположении существования лог-нормального закона измеренным значениям $X_к$ вычисляются значения $\log X_к$, которые обрабатываются способом, описанным выше.

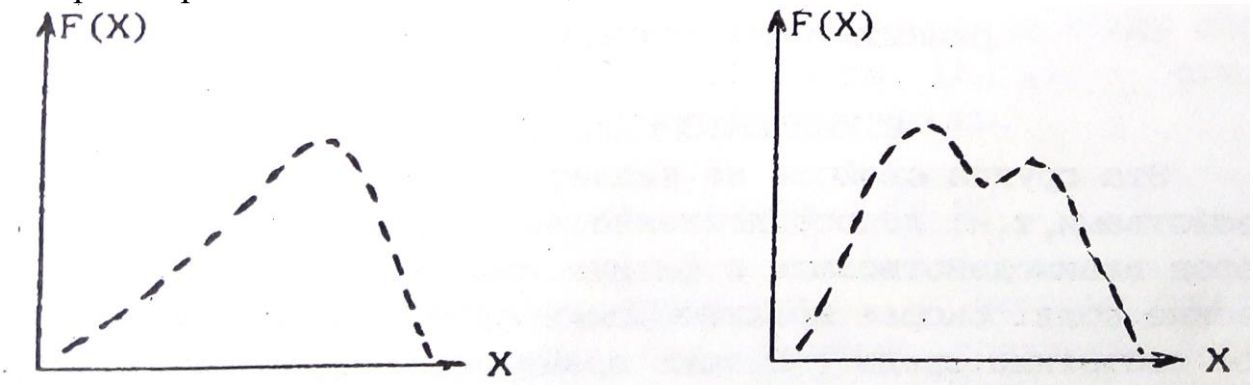


Рис.1.3.Примеры реальных кривых распределения

Реальные кривые распределения часто отличаются от теоретических
Они могут быть асимметричными и даже иметь два и более максимумов (рис. 1.3).

В первому случае появляются новые характеристики распределения (одна или более), например параметр асимметрии. В любом случае выборки считаются статистически одинаковыми если все (!) статистические параметры их одинаковы. Асимметрия обычно связана со
вторичными процессами изменения физических свойств в результате выветривания, регионального или локального метаморфизма и т.д.

Второй случай свидетельствует о неоднородности выборки; в
одну группу объединены различные по каким—либо характеристикам
породы (возраст, условия образования, минеральный состав, структура, степень изменения и т.д.). Необходимы дополнительные исследования для разделения выборки.

Важным следствием из изложенного является то, что все петрофизические зависимости не функциональные, а статистические,
то есть выполняются в среднем с определенной вероятностью отклонения от среднего. Пример такой зависимости приведен на рис.1.4.

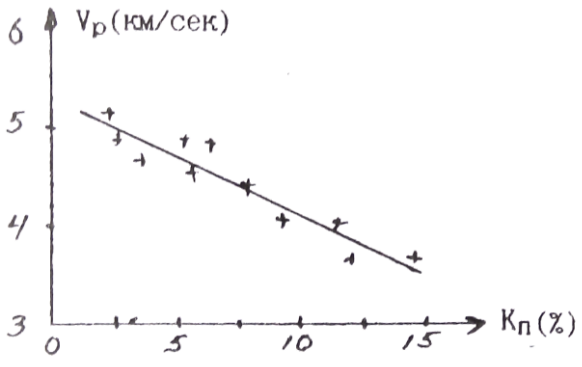


Рис.1.4. Зависимость скорости продольных волн (Vp)
от коэффициента пористости ($К_п$)(+ - экспериментальные значения)
2.КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА
Эта группа свойств не является в строгом смысле физическими
свойствами, т.к. непосредственно не определяет способности горных

пород взаимодействовать с физическими полями или создавать физические поля. Скорее коллекторские свойства характеризуют физическое состояние среды. В тоже время коллекторские свойства влияют
на другие Физические свойства (плотностные, электрические. Упругие) и определяют корреляционные связи между ними. С другой стороны,

коллекторские свойства, такие как пористость, проницаемость.
водо-, нефте- и газонасщенность. это важнейшие характеристики решенных месторождений углеводородов и подземных вод, определяющие запасы и условия эксплуатации этих месторождений сведения 0 коллекторских свойствах могут быть получены через плотностные, электрические и упругие свойства. Поэтому коллекторские
свойства рассматриваются во всех учебниках и курсах петрофизики.

2. 1. ПОРИСТОСТЬ

Пористостью называется совокупность пространства в горной
породе, не занятого твердой фазой. Оно заполнено газами, жидкостями (вода, нефть) или их смесями. Количественно пористость выражают через коэффициенты пористости К: отношение объема пор (Vпор) к
объему горной породы (Vг.п.) в процентах. Общий объем горной породы равен сумме объемов пор и твердой фазы ($V_{\text{г.п.}} = V_{\text{пор}} + V_{\text{т.ф}}$). При всем этом выделяют:

а) Коэффициент общей пористости ($К_{п}$) — отношение объема всех
пор (Vпор) к объему породы:

$$К_{п} = (V_{\text{пор}}/V_{\text{г.п.}}) * 100\%, \quad (2.1)$$

б) Коэффициент открытой пористости ($К_{п.о}$) .- отношение объема открытых пор (Vо.пор) к объему породы:

$$К_{п.о.} = (V_{\text{о.пор}}/V_{\text{г.п.}}) * 100\%. \quad (2.2)$$

Открытыми порами называются поры, сообщающиеся между собой.
в) Коэффициент динамической пористости ($К_{п.д}$) - отношение

объема динамических пор ($V_{д,пор}$) к объему породы.

$$К_{п.д} = (V_{\text{д.пор}}/V_{\text{г.п.}}) * 100\%. \quad (2. 3)$$

динамическими порами называются поры, по которым происходит движение жидкостей или газов при наличии градиента-давления. Часть открытых пор может быть представлена тупиковыми порами или водой, прочно связанной с поверхностью твердой фазы, и не участвует в переносе жидкостей или газов. Очевидно, что Кп > Кп.о) Кп.д.

2.1.1. Классификация пор.

1) По происхождению поры подразделяются на первичные и вторичные. Первичные возникают при образовании породы и представлены структурными порами — промежутками между частицами обломочных „о-род (грубообломочных, песчанистых, алевритовых, глинистых), межкристаллическими промежутками магматических и метаморфических пород и т. д. При уплотнении цементации, перекристаллизации, мета-морфизме форма и размеры первичных пор могут меняться. Вторичные поры образуются при последующих воздействиях на породы процессов выветривания, выщелачивания, кристаллизации, тектонических нагрузок и т.д.

2) По форме поры могут быть близкими к **ромбоздальным** (рыхлые отсортированные обломочные осадочные породы), близкими к **тетраэдрическим** (те же, но уплотненные породы), **щелевидным** (порода состоит из пластинчатых минералов: слюды, глины), в виде **канальцев** переменного сечения (плохо отсортированные обломочные породы), **трещеновидные** (магматические, метаморфические, плотные оса-дочные породы, испытавшие воздействие сильных тектонических нагрузок), **каверновидные** (карбонатные породы, подвергшиеся процессам растворения и выщелачивания), **пузырчатые** (магматические породы), **ячеистые** (известковые и кремнистые туфы), **каналовидные** (лёссы).

3) По размерам выделяют а) **сверхкапиллярные** - эффективный (средний) диаметр сечения пор $d_{э.ф.}$ более 0,1 мм. (грубообломочные породы типа галечников и гравия, крупно— и среднезернистые пески, оолитовые известняки, выщелоченные карбонаты). В сверхкапиллярных порах доля воды, связанной с поверхностью твердой фазы, не велика, вода в основном свободная и перемещается по законам гидродинамики. б) Капиллярные - эффективный диаметр пор $d_{э.ф.}$ $1*10^{-4}$-$1*10^{-1}$ мм. (мелкозернистые, менее отсортированные, сцементированные пороли: мелкозернистые пески и песчаники, некоторые карбонатные породы)-

В **Капиллярных** порах более высокое содержание связанной воды И возможен ее подъем в силу поверхностного натяжения. в) **Субкапиллярные** - $d_{э.ф.}$<1*10^{-4} мм. (глины, микрокристаллические известняки, туфы). Практически вся вода перового пространства связана на поверхности твердой фазы, перемещения воды почти нет.

2.1.2. ПОРИСТОСТЬ ОБЛОМОЧНЫХ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Основными факторами определяющими пористость обломочных пород являются: 1) форма и размер обломков, 2) степень отсортированности 3) степень уплотнения и цементации.

1) Влияние Формы и размера частиц иллюстрируется таблицей, в которой приведены значения Кп (%) для искусственных пород:

Таблица 1

Размер частиц (мм.)	Кварц окатанный	Кварц остроуг.	Ортоклаз остроуг.	Слюда
2-1	33	38	45	80
0.5-0.25	33	41	49	72
0.1-0.06	39	45	52	68

Отмечается малое влияние размера частиц и существенно большее формы (пористость возрастает в 2-2.5 раза при переходе от изометричных зерен к пластинчатым).

2) Степень отсортированности характеризует распределение обломков по размерам и количественно выражается через коэффициент отсортированности G_f:

$$G_f = \frac{d_{\text{ср}} - \sum V_i \delta d_i}{d_{\text{ср}}}, \quad (2.4)$$

где $V_i -$ объемное содержание частиц диаметра d_i в породе,

δd_i—отклонение от среднего диаметра 1-й группы, '

$d_{\text{ср}}$- средний диаметр частиц.

Коэффициент отсортированности меняется от 1 (хорошо отсортированная порода, все частицы одного размере) до 0 (плохо отсортированная порода. размеры частиц равномерно распределен от о до d_{max}).
присутствие в породе частиц разного размера приводит к тому, что
мелкие частицы заполняют промежутки между крупными и уменьшение коэффициента G_f (ухудшение отсортированности) ведет к уменьшению коэффициента пористости.

На рис.2.1 приведен пример такой зависимости.

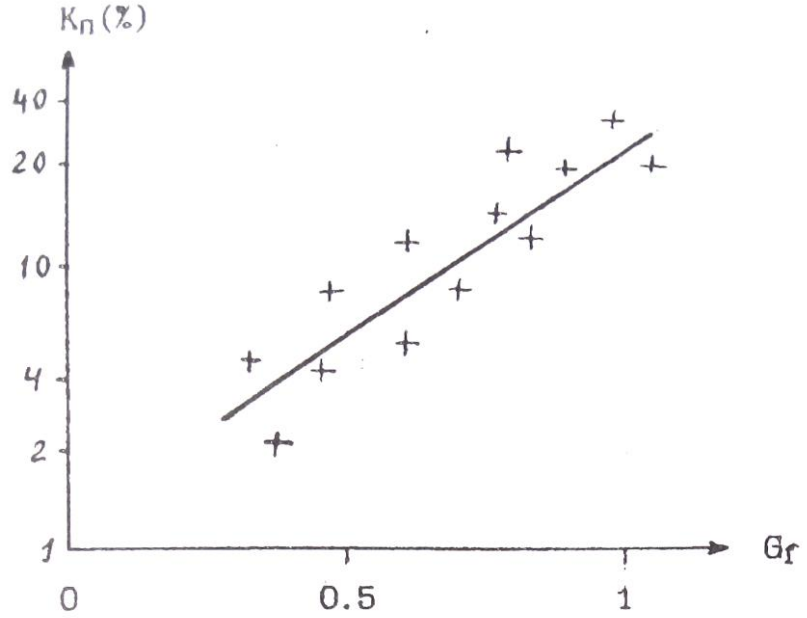


Рис.2.1. Зависимость коэффициента пористости от
коэффициента отсортированности песчаников
и алевролитов Туймазинской площади

Изменение отсортированности может приводить к изменение пористости на порядок. В связи с этим интересно рассмотреть изменение пористости песчано—глинистых образований в зависимости от
состава (рис.2,2). . '

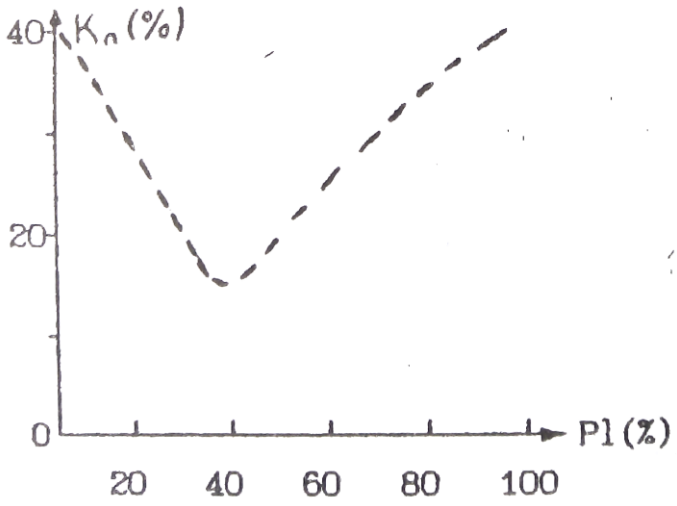


Рис.2.2. Зависимость коэффициента пористости от глинистости (P1) песчано—глинистых отложении (теоретическая зависимость)

Положим, что песчаная и глинистая фракции представлены однородными по размерам частицами каждая (песчаная крупными, глинистая мелкими). Коэффициенты пористости каждой фракции около
40%. При увеличении глинистости (P1) в породе будет происходить уменьшение пористости в результате частичного заполнения глинистыми частицами промежутков между крупным песчинками. При достижении 40% глинистости все эти промежутки (поры) будут заполнены
глинистым материалом (минимальная отсортированность), а Кп равен
0.4*0.4=0.16 (16%). При дальнейшем увеличении глинистости отсортированность и коэффициент пористости будут возрастать.

3) Под действием нагрузки вышележащих пород первичные рыхлые осадки уплотняются, что приводит к уменьшению их пористости. В начале уплотнение связано с перемещением отдельных частиц и более компактным их взаимным расположением. Затем происходит частичное разрушение и сшивание обломков (ухудшение отсортированности).
Этот процесс идет при нагрузках, превышающих несколько тысяч кг/см2. Наиболее сильно уплотняются глины, коэффициент пористости которых под нагрузкой может меняться от 50%. до 5%. В результате для многих районов, сложенных обломочными породами, наблюдается корреляционная связь Кп и глубины залегания породы:

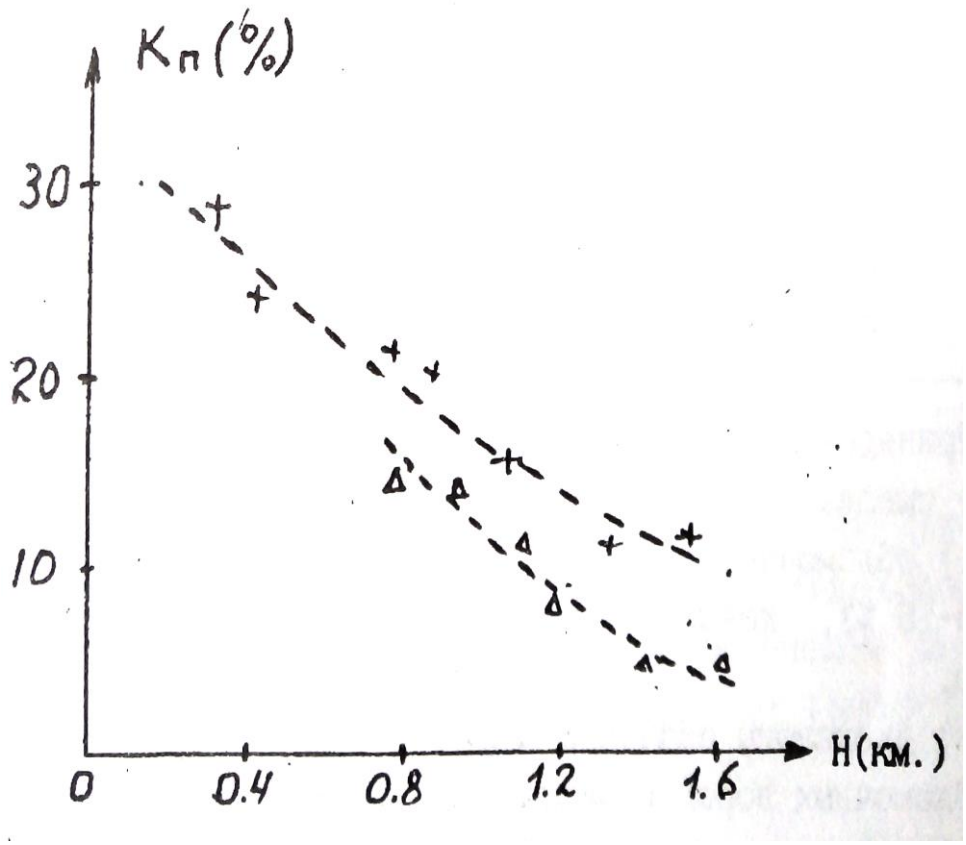


Рис.2,3. Зависимость Кп от глубины залегания Н;
+-глины, Δ- алевролиты

$$К_п(H) = К_п(0) * \exp(-\beta H), \quad (2.5)$$

где $К_п$ (0) — коэффициент пористости вблизи поверхности,
β - константа, зависящая от типа отложений (β=0.05).
Уравнения типа (2.5) позволяют прогнозировать изменения пористости с глубиной, что очень важно при интерпретации результатов геофизических съемок, т.к. величина пористости определяет ряд других
физических свойств: плотность, удельное электрическое сопротивление, скорость упругих волн.

Процесс цементации заключается в выпадении вторичных минералов (карбонаты, опал, глинистые минералы и т.д.) в поровом пространстве из поровых вод. В результате пористость уменьшается
вплоть до нескольких процентов.

В заключение приведем данные по пористости некоторых типов
обломочных пород.

Таблица 2

Порода	Кп(%)	
	Пределы	Наиболее вероятные

Пески	5-55	20-35
Песчаники	0.5-40	5-30
Лессы	40-55	40-55
Алевролиты	1-40	3-25
Глины	1-75	20-50
Аргиллиты	1-30	1.5-15

Приведенные в таблице данные позволяют сделать следующие основные выводы:

1) обломочные породы обычно характеризуются средней (Кп=10-15 %), повышенной (Кп=15-20 %) и высокой (Кп>20 %) пористостью.

2) диапазоны значений коэффициентов пористости различных типов обломочных пород в значительной степени перекрываются. Следует подчеркнуть, что данные таб.2 обобщают сведения о пористости пород всей страны в целом. В конкретных районах, у конкретных пластов диапазон колебания Кп может быть существенно уже. Например,

пласты – коллекторы AB_{2-5} одного из нефтяных районов Тюменской области имеют Кп=20-30 %

2.1.3. ПОРИСТОСТЬ КАРБОНАТНЫХ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

первичные карбонатные осадки (известковые и доломитовые илы) имеют высокую пористость (Кп=60-80 %). По мере их уплотнения пористость резко уменьшается (Кп=0.5—15 %). В дальнейшем появляется вторичная пористость, обусловленная перекристаллизацией, трещиноватостью и выщелачиванием карбонатных пород. Характерная особенность карбонатных пород - неравномерность распределения пористости в пространстве. Поэтому. при изучение карбонатных коллекторов необходимо отбирать - большое количество образцов с различных интервалов по глубине и площади. Значения пористости основных типов карбонатных пород приведены в таблице 3.

Таблица 3

Порода	Кп(%)	
	пределы	Наиболее вероятные
Известковый ил	65-85	-

Известняки	0.5-48	1.5-15
Известковый туф	20-30	-
Мел	10-55	40-50
Доломиты	0.1-37	3-20

2. 1.4 ПОРИСТОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ОСАДОЧННХ ГОРНЫХ ПОРОД.

В отличие от двух предыдущих групп пород, гидрохимические

осадки характеризуются пониженными и низкими значениями коэффициентов пористости. Так у ангидритов Кп=0.2—15 % у гипсов 1-25 %,

У каменной соли 0-5 %.

2.1.5 ПОРИТОСТЬ МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Для этой категории пород характерна низкая пористость. Исключение составляют кайнотипные эффузивы, которые в силу особенности образования (быстрое остывание, не полный отход летучих
компонент), могут иметь повышенную и высокую пористость. Таблица 4 иллюстрирует значения коэффициента общей пористости магматических и метаморфических пород.

Таблица 4

Порода	Кп(%)
	Пределы
Граниты	0.3-4
Габбро	0.3-3
Пироксенит	0.2-2
Базальт	0.5-40
Диабаз	0.2-3
Порфирит	0.4-6
Гнейс	0.2-6

Сланец хлорит.	0.2-1
Амфиболит	0.1-6

данные относятся к невыветрелым породам. В процессе выветривания пористость возрастает (образование вторичной пористости)
и может достигать 20 - 40 %.

Другая особенность данной группы пород состоит в существенном преобладании закрытой пористости над открытой.

2.1.6 ПОРИСТОСТЬ ГИДРОТЕРМАЛЬНО ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД

К гидротермально измененным породам приурочены месторождения
рудных полезных ископаемых. Многочисленные исследования показали.
что зоны развития этих пород характеризуются повышенными значениями пористости по сравнению с неизмененными ,породами. Вероятно
это связано с тем, что гидротермальные растворы могут перемешаться в средах с повышенной пористостью и проницаемостью. Таким образом, зоны повышенной пористости являются своеобразным индикатором

гидротермальных процессов и, косвенно, признаком оруденения.
На рисунке 2.4 приведен пример распределения пористости в районе медноколчеданного оруденения.

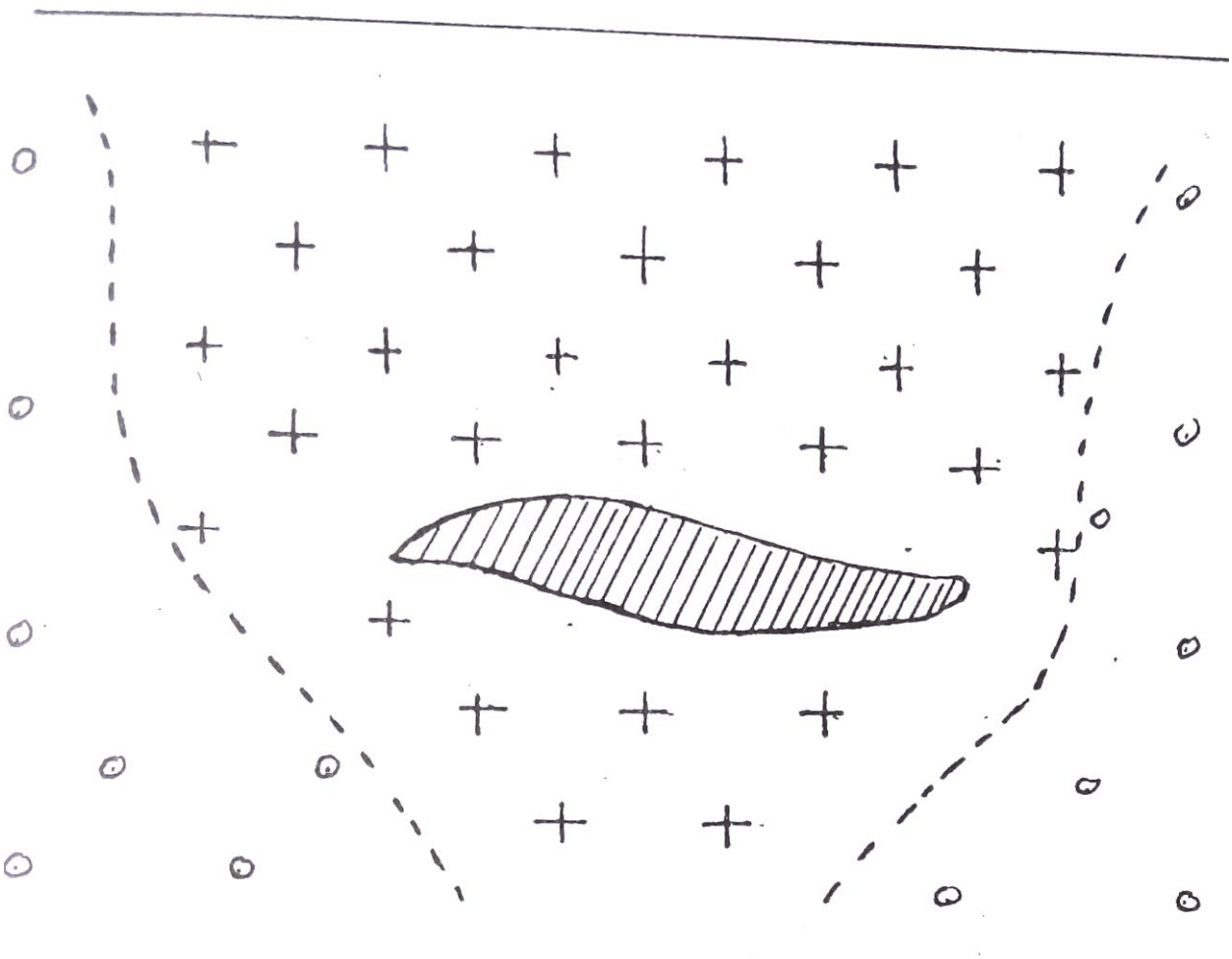


Рис.2.4. Распределение коэффициента открытой пористости
на месторождении Абеи-Саз (Башкирия)
-рудное тело
-Кп.о=0.5-3 %
-Кп.о<0.2%

2.2. ВЛАЖНОСТЬ. ВЛАГОЕМКОСТЬ

Влажность определяется, как количество воды в горной породе, а **влагоемкость**, как способность горной породы удерживать воду. Вода в горных породах может присутствовать в различных видах:

а) **Прочно связанная вода** - слои воды толщиной в несколько молекул. непосредственно примыкающий к стенке перового канала. Эта вода силами Ван-дер—Ваальса прочно связана с твердой фазой породы, Не может перемешаться, обладает аномальными физическими свойствами

(плотность до 2 г/см3, температура замерзания до -78 C^o, повышенная вязкость, плохая растворимость солей).

б) **Рыхло связанная вода** - непосредственно примыкает к слою прочно связанной воды, менее прочно связана с твердой фазой. В частности, образуется в углах пор в силу поверхностного натяжения (стыковая вода). Толщина слоя рыхло связанной воды составляет десятки и более молекул, она имеет повышенную плотность и пониженную температуру замерзания.

в) **Свободная вода** - обычная вода, которая свободно перемещается в поровом пространстве по законам гидродинамики.

Выделяют несколько типов влагоемкости:

а) **Машинальная гигроскопическая влагоемкость** ($W_{мг}$) - максимальное количество парообразной влаги (в процентах к весу абсолютно сухой породы), которое способна поглотить порода из воздуха влажностью 94%. Эта влагоемкость включает в себя прочно связанную и часть рыхло связанной воды.

б) **Капиллярная влагоемкость** — полное количество воды, которое присутствует в породе в силу явления капиллярного подъема.

в) **Полная влагоемкость** - максимальное количество связанной и свободной воды, которое может присутствовать в горной породе.

Соотношение между связанной и свободной водой при полном заполнении перового пространства определяется сечением поровых каналов и составом твердой фазы породы. Относительное количество свободной воды уменьшается с уменьшением сечения пор и увеличением содержания глинистых минералов. В случае чистых глин в норах присутствует только связанная вода, а в грубообломочных породы (галечники, крупнозернистые пески) почти вся вода представлена свободной.
Двойной электрический слой.
Поверхность твердой фазы перового пространства адсорбирует ионы одного знака из поровых растворов. Эти ионы удерживаются на ней силами Ван—дер—Ваальса, создавая слой не компенсированных зарядов (слой потенциал-определяющих ионов). В результате электростатического взаимодействия из перового раствора к нему будут притягиваться ионы противоположного знака (слой противоинов).
что в совокупности создает двойной электрический слой. Противоионы образуют сложную пространственную структуру. На расстоянии порядка размера молекулы противоионы прочно удерживается силами электростатического взаимодействия и не могут перемещаться, образуя плотную часть двойного слоя. Дальше от поверхности твердой

фазы их концентрация убывает и они не столь сильно связаны с потенциал-определяющим слоем. Эта область называется диффузионной частью двойного слоя и может перемещаться при движении жидкости в поровом пространстве примерная структура двойного слоя приведена на рис. 2.5.

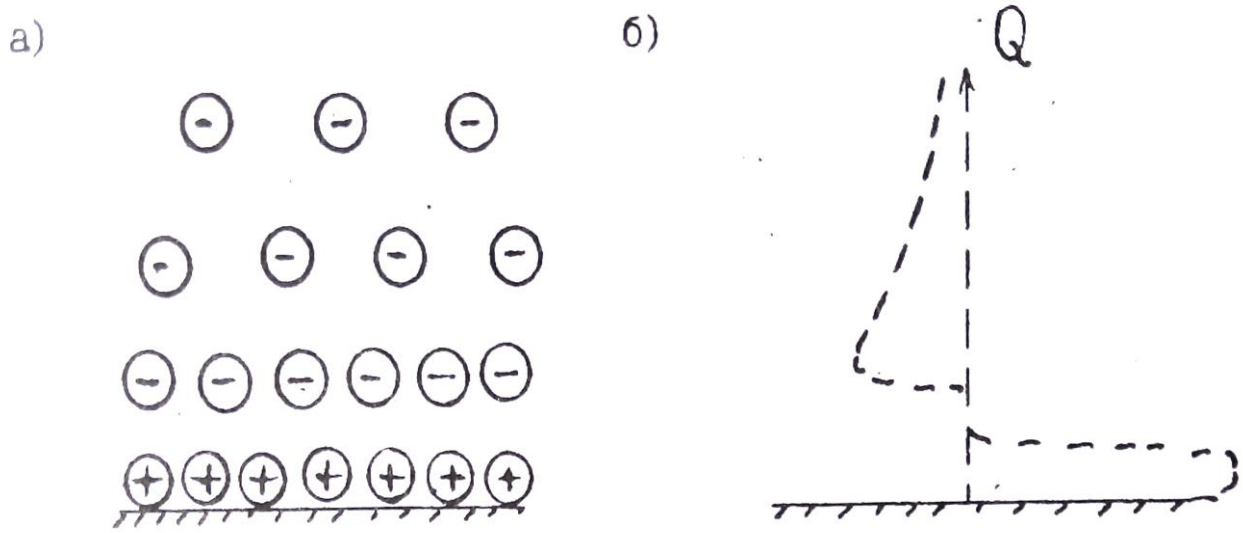


Рис.2.5. Строение двойного электрического слоя (а) и распределение заряда Q в пределах двойного слоя (б)

Область, занятая двойным слоем, примерно соответствует или несколько больше слоя прочно и рыхло связанной воды.

2. 3. ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Проницаемостью называется способность горной породы пропускать жидкости, газы или их смеси при наличии градиента давления. Выделяют физическую или абсолютную и фазовую проницаемости.

2.3. 1. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРОНИПАШОСТЬ

Это способность горных пород пропускать **однородные** жидкости или газы. Представим себе трубку, в которую помещен образец цилиндрической формы (Рис.2.б). На верхней грани образца давление P_1 на нижней P_2. Градиент давления равен $\frac{\Delta P}{L}$, где $\Delta = P_1 - P_2$, L-длина образца. Через нижнюю границу будет вытекать жидкость. раскол которой

равен Q ($см^3$/сек). Обозначим площадь поперечного сечения образца через S и введем удельный расход V=Q/S (расход через единицу площади поперечного сечения). Соотношение между этими величинами описываются законом Дарси: V прямо пропорционален градиенту давления и обратно пропорционален вязкости (μ).

$$V = К_{пр} \frac{\frac{P_1 - P_2}{L}}{\mu} (2,6)$$

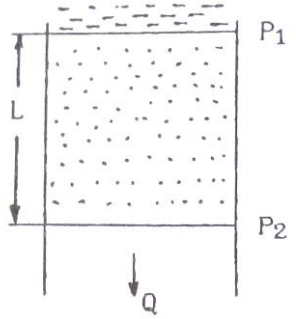


Рис.2.6. К определению коэффициента проницаемости

Коэффициент пропорциональности в этом уравнении (кпд) называется коэффициентом проницаемости, он является количественно характеристикой физической проницаемости. Единицей Кпр в системе СИ служит мг. Существует вне системная единица - Дарси, которая соответствет проницаемости породы, у которой удельный расход води равен 1 смз/сек при градиенте давления 1 атм/см. $1м^2 \approx 1 * 10^{12}$ Д или $1Д \approx 1 * 10^{-12}$ $м^2 = 1$ $мкм^2$.

Дарси крупная единица, обычно для характеристики проницаемости горных пород используют тысячную долю Дарси – 1мД, 1 мД=1 $фм^2$

2.3.2. СВЯЗЬ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЗИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ С КОЭФФИЦИЕНТОМ ПОРИСТОСТИ И СТРУКТУРОЙ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Для простейшей модели строения перового пространства в виде трубчатых капилляров (рис.2.7) выведено простое соотношение -

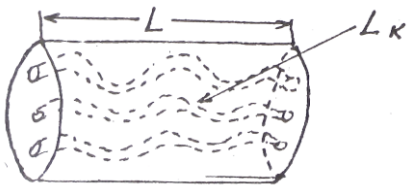


Рис.2.7. К пояснению формулы Козени—Кармана

формула Козени-Кармана

$$К_{пр} = \frac{К_{пд}^3}{S_ф^2 * T^2 * f}$$, (2.7)

Где $К_{пд}$ – коэффициент динамической пористости.
$S_ф$ – удельная поверхность порового пространства (площадь поверхности пор в единице объема горной породы.
$T=L_к/L$ -удельная извилистость поровых каналов (отношение средней длины перового канала Lк в пределах образца, к длине образца L. .
f - некоторый параметр, зависящий от формы сечения порового канала (лежит в пределах от 2 до 3).
(**Предупреждение**. В литературе в формулах типа 2.7 часто используют обозначение Кп или термин пористость вместо динамической пористости необходимо представлять, что движение флюидов возможно только по динамическим порам.)

Из формулы 2.7 следует сильная зависимость коэффициента проницаемости от коэффициента пористости (третья степень) и структуры перового пространства, которая для данной модели определяется величинами T и $S_ф$.
На рис. 2.8 приведены примеры зависимости $К_{пр}$ от $К_{пд}$ (экспериментальные данные)

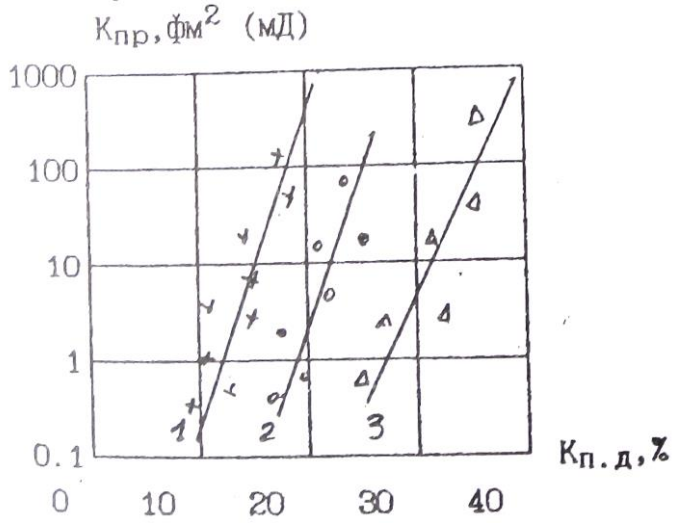


Рис.2.8. Зависимость коэффициента проницаемости от коэффициента динамической пористости 1 - песчаник, нижний вилькокс, 2 – песчаник слабо сцементированный, 3 - песчаник тонкозернистый

Линейный вид зависимостей в полулогарифмическом масштабе и угол наклона подтверждают зависимость $К_{пр}$ от третьей степени $К_{пд}$- Смещение линий в горизонтальном направлении обусловлено влиянием структуры порового пространства. Величина удельной по-

нием поровых каналов, и возрастает с уменьшением сечения. У обломочных пород сечение каналов связано с размером зерен. Например в случае отсортированной породы с изометричными обломками со средним диаметром d:

$$S_{\text{ф}} \approx 3.6/d \quad (2.8)$$

Таким образом, уменьшение размера верен приводит к уменьшению проницаемости. Это объясняет непроницаемость глин (тонкодисперсные породы), хотя коэффициент пористости у них составляет десятки процентов. Рис. 2.9 иллюстрирует подобную зависимость.

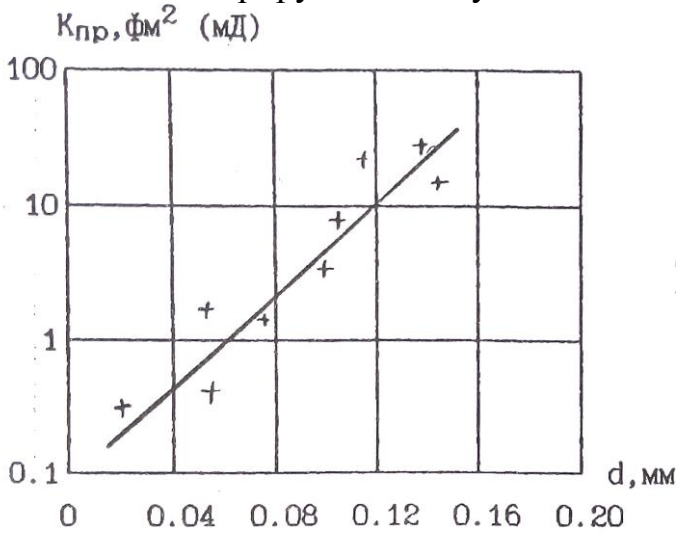


Рис. 2.9, Зависимость коэффициента проницаемости от среднего диаметра и зерен песчано—алевритово—глинистых пород

В случае трещинной пористости проницаемость определяется приближенным выражением:

$$\text{К}_{\text{пр}} \approx 8.45\ b^2 \quad (2.9)$$

где b — средний размер поперечного сечения трещин (раскрытость трещин) в мкм,
Кпт - коэффициент трещиной пористости в %.
По величине коэффициента проницаемости все породы подразделяются на три группы:

1. **Проницаемые** — грубообломочные породы (галечники, гравии), хорошо отсортированные, слабо сцементированные песчано—алевритовые породы, кавернозные и трещиноватые карбонатные породы, трещиноватые магматические породы, Это породы с высоким коэффициентом пористости (20-40%). сверхкапиллярными и капиллярными порами, существенным преобладанием свободной воды в поровом пространстве, Коэффициент проницаемости их лежит в пределах 10 - 10^6 фм^2 (мД).

2.**Полупроницаемые** — менее отсортированные песчано-алевритово-глинистые породы, мелкотрещинные меловидные карбонатные породы. поровое пространство представлено субкапиллярными порами, преобладает связанная вода. Кпр в пределах 0,1-10 фм^2 (мД).

3. **Практически непроницаемые** - глины, аргиллиты, сильно сцементированные песчаники и алевролиты, невыветрелые кристаллические карбонатные и магматические породы. Кпр < 0_1 фм^2 (мД).

2. 3. 3. ФАЗОВАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Это способность горной породы, насыщенной неоднородной жидкостью или смесью жидкостей и газов, пропускать ту или иную фазу при наличии градиента давления. Для обычных в горных породах фаз (вода, нефть, газ) количественно фазовая проницаемость характеризуется коэффициентами Фазовой проницаемости для воды (Кпр.в), нефти (Кпр.н) и газа (Кпр.г), которые являются коэффициентами пропорциональности в аналогах уравнения Дарси:

$$V_B = \text{К}_{\text{пр.в}} \frac{\frac{\Delta P}{L}}{\mu_{\text{н}}} \qquad V_{\text{Н}} = \text{К}_{\text{пр.н}} \frac{\frac{\Delta P}{L}}{\mu_{\text{н}}} \qquad V_{\Г} = \text{К}_{\text{пр.г}} \frac{\frac{\Delta P}{L}}{\mu_{\text{н}}}, (2.10)$$

где V_B, $V_{\text{Н}}$, $V_{\Г}$ - удельные расходы воды, нефти и газа соответственно.

Часто используют коэффициенты **относительной** фазовой проницаемости, которые определяют как отношение коэффициента фазовой проницаемости к коэффициенту абсолютной проницаемости в процентах. Например, коэффициент относительной Фазовой проницаемости воды ($\overline{\text{К}}_{\text{пр.в}}$) запишется: $\overline{\text{К}}_{\text{пр.в}} = (\frac{\text{К}_{\text{пр.в}}}{\text{К}_{\text{пр}}})$ 100 %.

Фазовая проницаемость отличается рядом особенностей, которые мы проиллюстрируем примером двухфазной смеси вода-нефть (Рис.2.10). На рис. Представлены зависимости коэффициентов относительной фазовой проницаемости ($\overline{\text{К}}_{\text{пр.в}}, \overline{\text{К}}_{\text{пр.н}}$) от соотношения фаз.
Последнее выражено через коэффициент вод насыщенности порового пространства ($\text{К}_{\text{В}}$) — отношение объема воды в поровом пространстве к объему пор. Полагаем, что все поровое пространство заполнено смесью вода—нефть, следовательно коэффициент нефтенасыщенности $\text{К}_{\text{Н}}$=1 -$\text{К}_{\text{В}}$. Отметим:

1) Графики зависимостей имеют в целом вогнутость вниз, т.е.

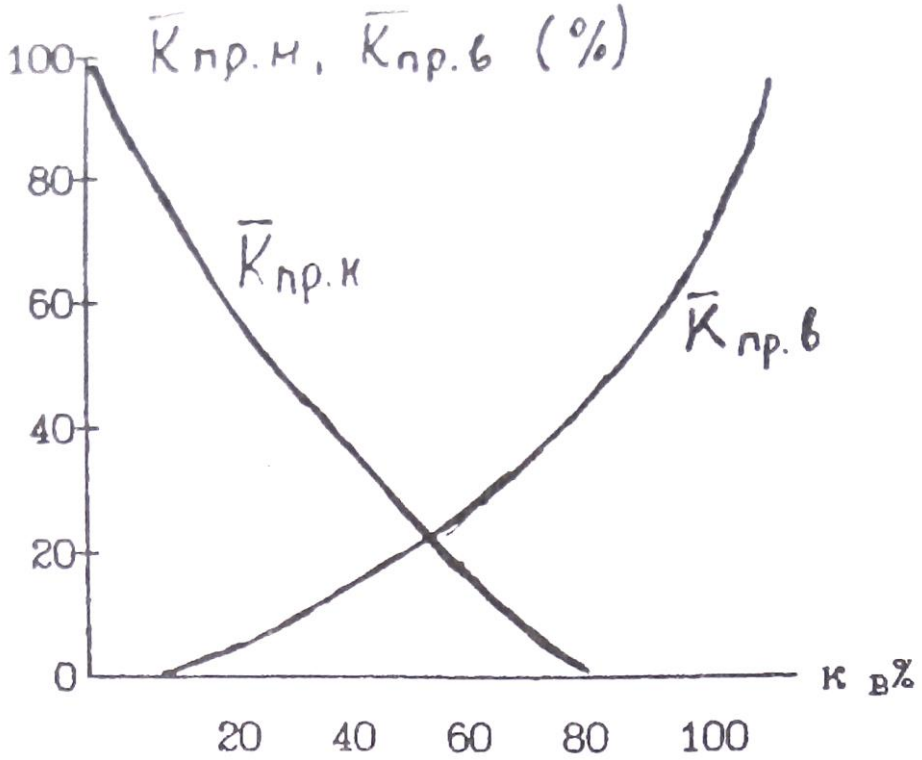


Рис.2.10. Зависимость коэффициентов относительной проницаемости по воде (Кпр.в) и нефти (Кпр.н) от соотношения фаз в смеси вода нефть

сумма Кпр.в+кПр.н<100. Смеси фильтруются хуже, чем однородные жидкости.

2) При определенном соотношении фаз возможен расход какой-либо одной фазы (при $К_В$ < 20% вода не фильтруется через породу, а при $К_В$ > 80%; не Фильтруется нефть).

3. ПЛОТНОСТНИЕ СВОЙСТВА

Эта группа свойств определяет возможность применения ряда геофизических методов. Например, гравиразведки для изучения геологических структур, поисков и разведки полезных ископаемых, ядерно-геофизическиих методов (гамма—гамма-каротаж) для расчленения разрезов скважин.

3.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЁДШНИЯ

Плотность - это масса единицы объема вещества. **Удельный вес** - вес единицы объема вещества. По определению плотность (δ):

$$\delta = \frac{m}{V}, (3.1)$$

Удельный вес (Δ):

$$\Delta = \frac{P}{V}, \quad (3.2)$$

где m, P, V - соответственно масса, вес и объем вещества. Так как P=mg (g- ускорение силы тяжести), то плотность это константа а удельный вес зависит от силы тяжести. В системе си единицей плотности является кг/м^3 удельного веса - Н/м^3. В системе СГС единица массы — грамм (г), внесистемная единица веса граммсила (Г) единицы объема - см^3. Плотности в системе СГС (г/см^3) и удельный вес во внесистемных единицах (Г/см^3) численно совпадают на поверхности Земли с точностью до 0.2-0.4% (изменения удельного веса связаны с изменениями ускорения силы тяжести по поверхности Земли).

Понятия плотность и удельный вес, строго говоря, применимы для однородных сред. Для неоднородных сред вводятся усредненные характеристики — объемная плотность (δ) и объемный вес (d), которые определяются также по Формулам (3.1 и 3.2). Следует иметь в виду, что при определении объемных параметров размер изучаемого объекта должен быть много больше размеров неоднородностей. Соотношение между единицами в различных системах:

1г/см^3 =1000 кг/м^3, 1Г/см =9810 Н/м^3.

Используют так же понятие **минеральная плотность** (δ_M) — масса единицы объема твердой фазы минерала или горной породы. Следует отметить, что наряду с системой СИ в литературе при описании плотностных свойств широко используется и система СГС, которую мы будем использовать при дальнейшем изложении материала. Кроме того общепринятым является использование терминов плотность и удельный вес вместо объемная плотность и объемный вес.

3. 2 ПЛОТНОСТЬ МИНЕРАЛОВ

Плотность минералов определяется химическим составом, строением электронных оболочек атомов, составляющих различные минералы. а также условиями их образования. Эти факторы определяют соотношение в минералах атомов с различными атомными массами, характер кристаллической связи, конституцию кристаллов. Большая часть породообразующих минералов имеет ионную или ковалентную

форму кристаллической связи, состоят из атомов с низкими средними атомными массами и имеют плотность порядка 2.2 – 3.5 г/см^3,
Среди рудных минералов преобладает ионно-металлическая и ковалетно-металлическая форма связи, часто присутствуют элементы с высокими атомными массами, ЧТО обуславливает повышение плотности до 3.5 — 7.5г/см^3.

Средняя атомная масса основных породообразующим минералов (кварц, полевые шпаты, плагиоклазы, карбонаты) почти постоянна и несколько повышается в пироксенах и железистых оливинах. В связи с этим главным фактором определяющим плотность этих минералов является плотность упаковки атомов в кристаллической решетке. Например каркасные структуры силикатов (кварц, полевые шпаты, плагиоклазы) обуславливают низкую плотность. У цепочечных силикатов (пироксены) плотность выше. Еще выше плотность минералов с островной структурой (оливины). Для породообразующих минералов характерны явления **изоморфизма** и **полиморфизма**. Изоморфизм это изменение состава без изменения структуры кристаллической решетки. Целые группы минералов магматических и метаморфических пород (плагиоклазы, амфиболы, пироксены, оливины, гранаты) образуют непрерывные изоморфные ряды. Например плагиоклазовый ряд начинается с альбита ($NaAl_2Si_3O_8$) с плотностью 2.61г/см^3 и заканчивается анортитом ($CaAlSi_2O_8$) с плотностью 2.76г/см. Соотношение между NA и Ca в ряду может быть любым, при этом образуется непрерывный ряд минералов (олигоклаз, андезин, лабрадор, битовнит) с промежуточными значениями плотности. Увеличение плотности от альбита канортиту связано с более высокой атомной массой Ca (40) по сравнению с Na (23). В тоже время при замещении Na в альбите на К имеем минерал ортоклаз (КА151308) с меньшей плотностью (2.57), хотя атомная масса К (39) выше, чем Na. Это связано с большим ионным радиусом К, что обуславливает менее плотную пространственную епаковку атомов. Полиморфизм - это изменение структуры кристаллической решетки без изменения состава. Классическим примером полиморфизма являются минералы графит (плотность 2.2) И алмаз (плотность 3.52). Оба минерала имеют одинаковый состав (С), но графит имеет рыхлую слоистую структуру кристаллической решетки, а алмаз кубическую центрогранную. Полиморфизм особенно характерен для минералов метаморфических горных пород.

Плотность некоторых минералов приведена в таблице 5.

Таблица 5

Минерал	Состав	$\delta\ (\frac{г}{см^3})$
Кварц	SiO_2	2.65
Альбит	$Na[AlSi_3O_8]$	2.61
Анортит	$Ca[Al_2Si_2O_8]$	2.76
Ортоклаз	$K[AlSi_3O_8]$	2.57
Нефелин	$Na[AlSiO_4]$	2.62
Роговая обманка	$NaCa_2(Mg,Fe)_4(Fe,Al)^*$ $(OH,F)_2Al_2Si_6O_{22}$	3.25
Пироксены:		
Авгит	$Ca(Mg,Fe,Al)[(Si,Al)_2O_6]$	3.4
Геденбергит	$CaFe[Si_2O_6]$	3.55
Эгирин	$NaFe[Si_2O_6]$	3.53
Оливин	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	3.35
Мусковит	$KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$	2.85
Биотит	$K(Mg,Fe)_3[Si_3AlO_{10}][OH,F]_2$	3.05
Серпентенит	$Mg_6[Si_4O_{10}][OH]_8$	2.55
Кальцит	$CaCO_3$	2.715
Магнезит	$MgCO_3$	2.96
Доломит	$CaMg[CO3]_2$	2.87
Барит	$BaSO_4$	4.5
Гипс	$CaSO_4*2H_2O$	2.3
Ангидрит	$CaSO_4$	2.96
Магнетит	Fe_3O_4	5.11
Ильменит	$FeTiO_3$	4.79
Хромит	$FeCr_2O_4$	4.2
Пирит	FeS_2	5.1
Халькопирит	$CuFeS_2$	4.2
Сфалерит	ZnS	3.95
Галенит	PbS	7.57
Циркон	$ZrSiO_4$	4.68

Приведены средние значения плотности наиболее чистых разновидностей минералов. Можно сделать следующие выводы:

1)Плотности основных породообразующих минералов ниже плотности рудных.

2) Темноцветные породообразующие минералы (пироксены, оливины. роговые обманки) имеют более высокую плотность по сравнению со светлыми минералами (кварц, полевые шпаты, плагиоклазы)

3.3 ПЛОТНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

Общее выражение для плотности горной породы можно записать в виде:

$$\delta = \frac{m_T + m_{\text{ж}} + m_{\text{г}}}{V_{\text{Т}} + V_{\text{Ж}} + V_{\text{г}}}, (3.3)$$

где $m_{\text{Т}}$— масса твердой фазы, $m_{\text{Ж}}$— масса жидкой фазы. $m_{\text{Г}}$- масса газовой фазы породы, $V_{\text{Т}}, V_{\text{Ж}}, V_{\text{Г}}$— объемы твердой, жидкой и газовой фаз. Сумма объемов жидкой и газовой фаз равна объему порового пространства. Масса твердой фазы равна сумме масс слагающих породу минералов, а массы жидкой и газовой фаз сосредоточены в поровом пространстве. Тогда выражение (3.3) можно преобразовать к ВИДУ:

$$\delta = (1 - \text{К}_{\text{п}}) \sum \delta_i V_i + \sum \text{К}_{\text{П}} \text{К}_{\text{жк}} \delta_{\text{жк}} + \delta_{\text{г}} \delta_{\text{г}} \qquad (3.4)$$

где $\text{К}_{\text{П}}$ коэффициент пористости, δ_i и V_i - минеральная плотность и объемное содержание в твердой фазе i—го минерала, $\delta_{\text{жк}}$ плотность к—й жидкости. $\text{К}_{\text{ЖК}}$—объемное содержание к—й жидкости в поровом пространстве, δ_{Γ}- плотность газа, К_{Γ}- объемное содержание газа в поровом пространстве. Из 3.4 следует, что плотность горной породы зависит от минерального состава. заполнения порового пространства. Факторов может быть различной.

3.3.1 МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Общим для магматических пород является их образование путем остывания магматического расплава. Классификация этих пород основана на двух основных признаках: а) условия образования, б) состав. По условиям образования выделяют; 1) **интрузивные** -породы, образовавшиеся при медленном остывании расплава на значительной глубине при низком теплообмене с вмещающими породами. При этом

первичный расплав теряет большую часть летучих компонентов (жидкая и газовая фазы). Формируются низкопористые полнокристаллические породы (см. Таб №4). 2) **Эффузивные –** породы, образовавшиеся при быстром остывании расплава в приповерхностных условиях (на поверхности, под водой, на малых глубинах). Расплав не успевает терять значительную часть летучих. Формируются пористые породы со стекловатой или частично кристаллической структурой. Среди эффузивов выделяют **кайнотипные** – сравнительно молодые породы в значительной степени сохранившие свой первичный облик и **палеотипные** – древние породы, подвергшиеся значительным изменениям (широко известно зеленокаменное изменение эффузивов) минерального состава и структуры. В частности типичными является уменьшение пористости с образованием миндалекаменных структур.

Состав определяется содержанием SiO_2 и номером плагиоклазов (соотношение Ca и Na). Нормальный (щелочноземельный) ряд магматических пород представлен всеми разновидностями от кислых (содержание SiO_2 около 70%), до ультраосновных (содержание SiO_2 около 40%). Щелочной ряд представлен ограниченным набором пород типа сионитов с составом, соответствующим средним -основным породам.

Таблица 6

Порода	$\delta\ (\frac{г}{см^3})$	Порода	$\delta\ (\frac{г}{см^3})$
Гранит фанерозоевский	2.57	Сиенит	2.62
Гранит докембрийский	2.59	Сиенит нефелиновый	2.66
Гранодиорит	2.69	Липарит	2.35
Диорит кварцевый	2.75	Кварцевый порфир	2.60
Диорит	2.81	Андезит	2.49
Габбро	2.95	Андезит-й порфирит	2.73
Пироксенит	3.2	Базальт	2.54
Перидотит	3.2	Диабаз	2.79

В таб. 6 приведены средние значения плотности основных типов магматических пород. По этим данным составлена диаграмма (рис. 3.1) зависимости средней плотности от состава магматических пород. Состав выражен через содержание SiO_2. В нижней части диаграммы приведены названия интрузивных, кайнотипных эффузивных и палеотипных эффузивных пород соответствующего состава.

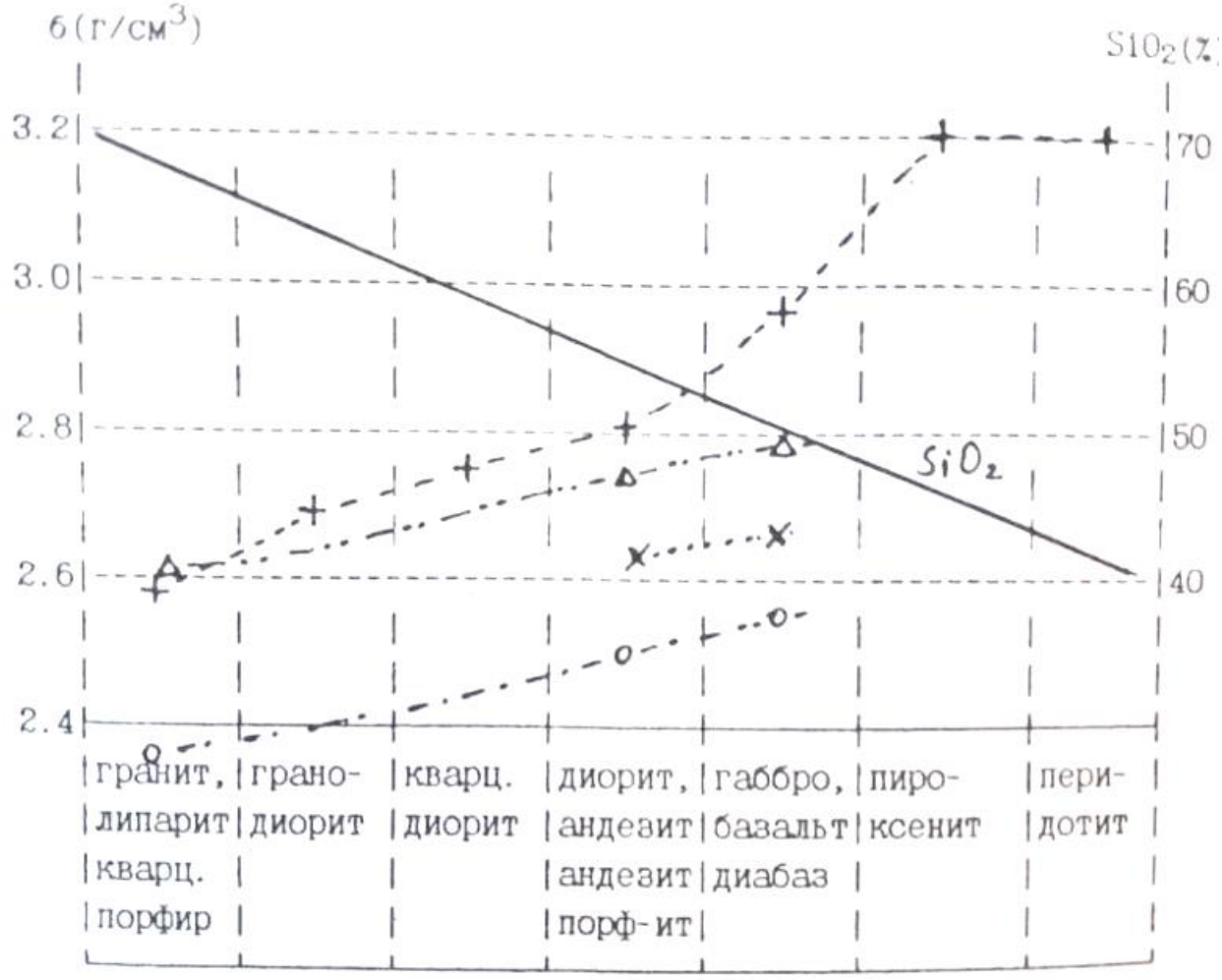


Рис.3.1. Зависимость средней меткости магматических пород от состава. (+ интрузивнне породы щелочноземельного ряда, х интрузивные породы щелочного ряда, о кайнотипные эффузивы, Δ палеотипные эффузивы).

Сделаем основные вывод:

1.Из таблицы и диаграммы следует закономерное возрастание плотности по мере увеличения основности (уменьшения содержания SiO_2), что обусловлено возрастанием количества плотных темноцветных минералов.

2. Разница в средних плотностях между соседними группами по основности составляет около ± 0.1 г/см^3. т.е. является **значимой** (например, позволяет разделять эти породы по уровню гравитационного поля над ними).

3.Графики зависимости плотности от состава интрузивных и палеотиных эффузивных пород практически совпадают. Причина этого – близость составов и пористости. Исключение составляют породы основного

ионного состава. причины этого будут рассмотрены ниже.

4. Бросается в глаза существенно меньшие плотности кайнотипных зффузивов. Причина — высокая пористость.

Вероятные отклонения от средних значений в каждой группе интрузивных и палеотипных зффузивных пород составляют 0.1Г/см^3, у кайнотипных зффузивов 0.15г/см^3. Эти отклонения связаны с влиянием двух основных факторов;

1. В каждой петрографической группе объединены по сути различные породы. Например. среди гранитов выделяют аляскитовые, мусковитовые, двуслюдяные, роговообманковые и т.д. Таким образом, в пределах группы возможны вариации состава породообразующих, минералов и, следовательно, плотности. Так, среди пород типа габбро есть и анортозиты (состоят на 90-95%. из плагиоклаза — лабрадора) с плотностью 2.69 г/см^3, и оливиновое габбро (плагиоклаз и до 20 % оливина) с плотностью 3.07г/см^3.

2.Любая порода, кроме породообразующих, содержит и акцессорные (второстепенные) минералы. В кислых породах это апатит ($\delta = 3.19$), циркон ($\delta = 4.7$), магнетит ($\delta = 5.1$), ильменит ($\delta = 4.79$). В породах основного состава это магнетит, титаномагнетит ($\delta = 4.72$), сульфиды ($\delta = 4.7 - 4.9$). В ультраосновных - магнетит, титаномагнетит. Количество акцессорных минералов может меняться от тысячных долей процента до нескольких процентов, что и приводит к вариациям плотности для ряда районов установлено увеличение содержания акцессорных минералов в рудоносных магматических комплексах, что может служить поисковым признаком.

Процессы автометаморфизма (серпентинизация, амфиболизация) Оказывают существенное влияние на плотность магматических пород. При серпентинизации массивов ультраосновных пород пироксены и оливин преобразуются в серпентин — минерал, содержащий гидроксильную группу. с плотностью 2.55 г/см^3. На рис. 3.2 представлен график зависимости плотности от степени серпентинизации. Нацело серпентинизированные породы имеют плотность, соответствуют кислым магматическим породам, это обстоятельство приходится учитывать при интерпретации данных гравиразведки. дальнейший процесс метаморфизма связан с карбонатизацией, при которой плотность возрастает.

Амфиболизация характерна для пород основного состава и проявляется в преобразовании пироксена в амфиболы и плагиоклазы с выделением хлорита, эпидота, серицита — минералов с меньшей плотностью.

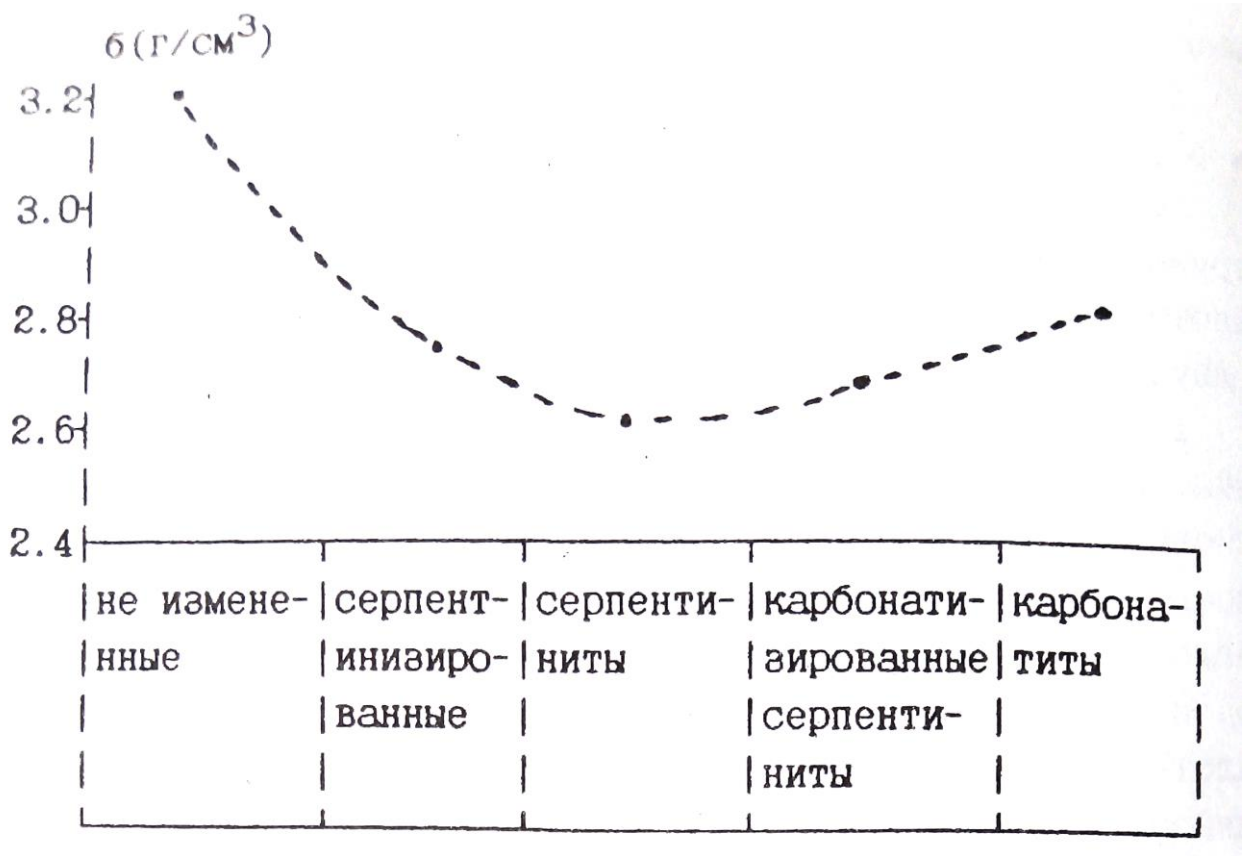


Рис 3.2. Изменение плотности ультраосновных перед
пород в процессе серпентинизации и карбонатизации

Таким образом, амфиболизация сопровождается уменьшением плотности. Обратите внимание, что на рис. 3.1 плотность диапазон меньше плотности их интрузивного аналога — габбро. Диабаз это порода, претерпевшая метаморфические изменения, и её плотность соответствует амфиболизированному габбро. Процессы локального метаморфизма (метасоматоза) могут сопровождаться как уменьшением, так и увеличением плотности. В таблице 7 приведены данные по изменению плотности для типичных процессов.

Таблица 7

Порода	$\delta\left(\frac{г}{см^3}\right)$ измененных	Процесс	$\delta\left(\frac{г}{см^3}\right)$ не измененных
Гранодиорит	2.65	Серицитизация	2.55
Гранодиорит	2.67	Хлоритизация	2.61
Порфирит	2.76	Окварцевание	2.65
Диорит	2.8	Альбитизация	2.63
Гранит	2.6	Грейзенизация	2.77
Порфирит	2.7	Эпидотизация	2.85

Локальные изменения плотности используются как поисковый признак, так как процессы рудообразования сопровождаются локальным метасоматозом.

3.3.2. ОСАДОЧННЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

ОБЛОМОЧНЫЕ ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

В таблице 8 приведены значения минеральной плотности (плотность твердой Фаза) основных типов обломочных пород.

Порода	$\delta_{\text{ср}}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{min}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{max}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$
Песчаник	2.67	2.58	2.76
Алевролит	2.69	2.62	2.76
Аргилит	2.68	2.69	2.78
Глина	2.68	2.58	2.78

Отметим близкие значения бар, из чего следует зависимость плотности в основном от пористости и характера заполнения порового пространства. Для водонасыщенных и газонасыщенных пород плотность ($\delta_{\text{В}}, \delta_{\text{Г}}$) соответственно равна:

$$\delta_{\text{В}} = (1 - \text{К}_{\text{П}})\delta_{\text{Т}} + \text{К}_{\text{П}}\,\delta_{\text{Т}} \quad (3.5)$$

$$\delta_{\text{Г}} = (1 - \text{К}_{\text{П}})\delta_{\text{Т}} \quad (3.6)$$

где $\text{К}_{\text{П}}$ - коэффициент пористости, $\delta_{\text{Т}}$- плотность твердой фазы, плотность воды. Учитывая постоянство минеральной плотности, в Обоих случаях имеем линейную зависимость плотности от пористости. На рис. 3.3 приведены зависимости, рассчитанные для $\delta_{\text{Т}}$=2.68г/см^3 и результаты изучения плотности реальных пород. Расчетные и экспериментальные данные достаточно близки. Изменение пористости на 1% приводит к изменению плотности на на 0.03 и 0.02 г/см^3, соответственно для газонасыщенных и водонасыщенных пород. Эти цифры полезно запомнить поскольку они определяют требования к точности измерения плотности геофизическими методами (гамма—гамма каротаж, акустический каротаж) с целью оценки пористости коллекторов.

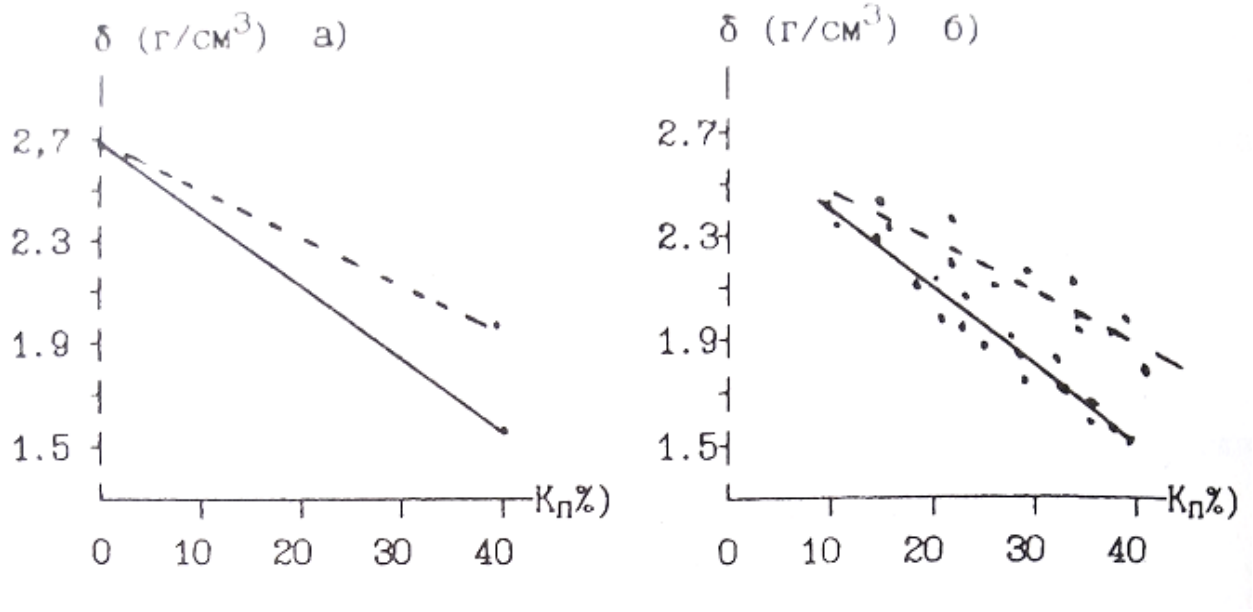


Рис. 3.3. Зависимость плотности обломочных осадочных пород от пористости, а) расчет, б) экспериментальные данные для песчано-глинистых отложении. - водонасыщенные - газонасыщенные

Как отмечалось ранее, в результате уплотнения под нагрузкой вышележащих слоев происходит закономерное уменьшение пористости обломочных пород. Если в выражении 3.5 и 3.6 подставить значения пористости из 2.5, то получим зависимость плотности от глубины залегания:

$$\delta_{\Gamma}(H) = \delta_{\text{Т}}(1 - \text{К}_{\text{П}}(0) * \exp(-0.45\,H)) \qquad (3.7)$$

$$\delta_{\text{В}}(H) = \delta_{\text{Т}} + \text{К}_{\text{П}}(0) * (1 - \delta_{\text{Т}}) * \exp(-0.45\,H) \qquad (3.8)$$

где $\text{К}_{\text{П}}(0)$ - пористость на поверхности, Н — глубина в км.

Таблица 9

Порода	$\delta\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$ пределы	$\delta\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$ наиб. вероят.
Глины	1.20-2.40	-
Аргилиты	1.70-2.90	2.30-2.40
Пески	1.30-2.00	1.50-1.70
Песчаники	2.00-2.90	2.50-2.65
Алевролиты	1.80-2.80	2.30-2.50
Конгломераты	2.10-3.00	-

В таблице 9 приведены значения плотности обломочных осадочных пород. Основные выводы:

1) Плотность обломочных осадочных горных пород (вероятные значения) ниже плотности магматических пород.
2) Плотность меняется в широких пределах. что связано с широким диапазоном возможных значении пористости.
3) Интервалы плотности основных типов обломочных пород в значительной степени перекрываются.

КАРБОНАТНЫЕ ОСАДОЧННЕ ПОРОДЫ

В таб.10 приведены значения минеральной плотности карбонатных пород.

Таблица 10

Порода	$\delta_{\text{ср}}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{min}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{max}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$
Мел	2.69	2.56	2.80
Известняк	2.72	2.62	2.80
Доломит	2.80	2.76	2.88
Мергель	2.70	2.58	2.80

Отмечаются значимые различия средних плотностей. Поэтому плотность карбонатных пород будет определяться минеральным составом, пористостью и характером заполнения перового пространства. Представления о плотности этих пород иллюстрируются таб. 11.

Таблица. 11

Порода	$\delta\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$ пределы	$\delta\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$ наиб. вероят.
Известняки	1.80-2.90	2.60-2.70
Доломиты	1.90-3.00	2.60-2.80
Мергели	1.50-2.80	2.20-2.40

Для этой группы пород остаются справедливым пункты 2 и 3 выводов, которые получены для обломочных пород. Дополнительно отметим более высокую плотность известняков и доломитов, которая близка к плотности кислых и средних магматических пород.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ ,

Для этих пород характерна низкая пористость, и их плотность в основном определяется минеральным составом. Плотность гипсов лежит в пределах 2.10 — 2.50 г/см^3, ангидритов 2.50—2.90 г/см^3, каменной соли 2.15 — 2.30 г/см^3. Приведем пример соотношения плотностей осадочных комплексов с вытекающими из этого особенностями геофизических полей. Среди структур, вмещающих углеводородное сырье. существуют так называемые диапировые структуры или структуры протыкания. Они образуются в результате выжимания ("Всплывания") соляных куполов сквозь толщ обломочных осадочных пород. Соотношение плотностей приведено на рис. 3.4 а).

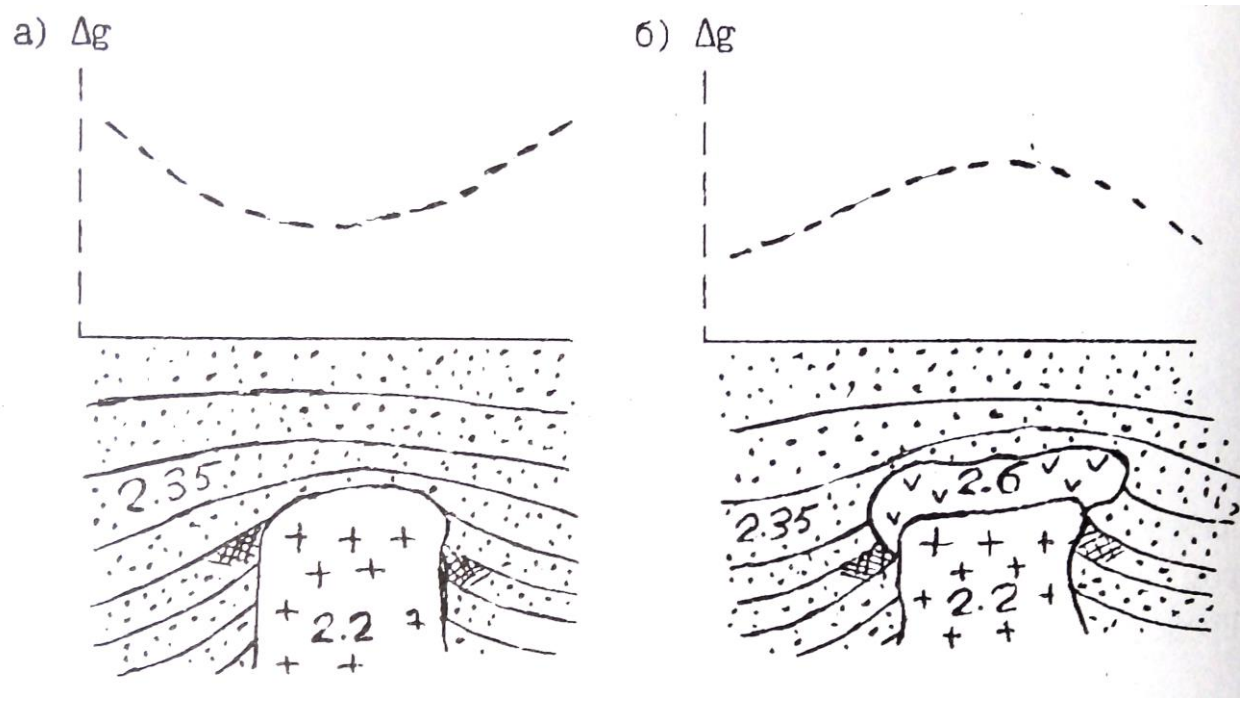


Рис. 3.4. Характер распределения плотности и ускорение силы тяжести над соляно-купольными структурами (песчано-глинистые отложения, + - каменная соль, — ангидритн, - приращениеускорения силы тяжести, - нефтеносность)

Плотность каменной соли (2.20 г/см^3) меньше плотности песчано-глинистых отложении (2.35 г/см^3). Это обуславливает недостаток масс соляного куполам над структурой наблюдается Уменьшение силы тяжести (Кривая Δg,рис.3.4. а)). Однако, возможно и более сложное строение соляных куполов (рис.3.4. б)). В верхней части купола образуется покрышка сложенная ангидритами ("каменная шляпа") с плотностью 2.60 г/см^3.

Избыток масс покрышки может превосходить действие недостатка масс соляного купола, и над структурой наблюдается увеличение силы тяжести. Возможно ситуация баланса этих двух факторов, и над структурой существенного изменения гравитационного поля не будет.

3.3.3. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Метаморфические породы образуются в результате регионального (охватывающего значительные площади и объемы пород) преобразования магматических и осадочных пород под действием высокой температуры и давления. В основу классификации метаморфических пород положены условия (фация) метаморфизма, структурно-текстурные особенности и состав породы. В порядке возрастания термодинамических условии выделяют следующие фации: зеленых сланцев. эпидот-амфиболитовую, амфиболитовую, гранулитовую, эклогитовую. В начальный этап регионального метаморфизма происходит уплотнение первичных осадочных пород в результате уменьшения пористости под действием давления (катагенеза). В фацию зеленых сланцев наблюдается некоторое разуплотнение исходных магматических и подвергнутых катагенезу осадочных пород в результате образования минералов, содержащих кристаллизационную и конституционную воду. Дальнейший метаморфизм сопровождается увеличением плотности за счет полиморфных преобразовании минералов. Образуются новые минералы с уплотненными кристаллическими решетками. данные о плотности метаморфических пород Приведены в таблице 12. При общем закономерном возрастании плотности с увеличением степени метаморфизма, в пределах каждой отмечаются существенные колебания плотности, что отражает влияние минерального состава пород. Интересно отметить, что при так называемом ультраметаморфизме (протекает в условиях относительно пониженного давления и высоких температур, сопровождается полной перекристаллизацией и частичным расплавлением пород) отмечаются существенное уменьшение плотности. Так амфиболиты (3.0 г/см^3) преобразуются в метасоматические граниты (2.6 г/см^3). Процесс гранитизации сопровождается кремний-калиевым метасоматозом с преобразованием плотных минералов (амфиболы, гранаты, биотит) в менее плотные (кварц, микроклин).

Таблица 12

Фация	Порода	$\delta_{\text{ср}}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{min}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{max}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$
Зеленых сланцев	Филит	2.45	2.40	2.70
	Сланец:			
	Кварцево-серицитовый	2.57	2.50	2.64
	Кремнистый	2.60	2.58	2.62
	Хлоритовый	2.76	2.72	2.80
	Слюдистый	2.65	2.60	2.75
Эпидот-амфиболитовая	Сланец кристаллический:			
	Биотитовый	2.63	2.62	2.63
	Роговообманковый	2.77	2.75	2.80
	Кварцит	2.64	2.62	2.65
	Мрамор	2.70	2.68	2.72
Амфиболитовая	Гнейс:			
	Биотитовый	2.63	2.60	2.68
	Амфиболовый	2.78	2.75	2.82
	Амфиболит:			
	Полевошпатовый	2.87	2.80	2.95
	Гранатовый	3.10	3.00	3.20
Гранулитовая	Гранулит гиперстеновый	2.72	2.60	2.85
	Сланец	3.05	2.90	3.25
Эклогитовая	Эклогит	-	3.20	3.40

3.3.4. ВЛИЯНИЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД.

Процессы гипергенеза в результате химического и механического выветривания приводят к существенному изменению состава и состояния пород. Образуется вторичная пористость в результате растрескивания и выщелачивания, которая достигает 20-30%.

Образующиеся коры выветривания глинисто-слюдистого и хлорито-гюдрослюдистого состава с гидроокислами железа, обломками кварца, микроклина, биотита имеют пониженную плотность порядка 2.1-2.5 г/см^3.

Вопросы для самопроверки:

1. *Какие причины создают неоднородность физический свойств горных пород?*
2. *Как строятся гистограммы распределения физический свойств горных пород?*
3. *Типы пористости.*
4. *Какие факторы определяют пористость обломочных пород?*
5. *Назовите группы пород с низкой и повышенной пористостью.*
6. *Как изменяется пористость с глубиной?*
7. *Что такое влажность и влагоемкость?*
8. *В каком виде присутствует вода в горных породах?*
9. *Какими особенностями обладает связанная вода?*
10. *Что такое проницаемость?*
11. *Отличие физической проницаемости от фазовой?*
12. *Как классифицируются породы по проницаемости?*
13. *Как образуется двойной электрический слой?*
14. *Каким параметром характеризуется нефтенасыщенность?*
15. *Что такое плотность и минеральная плотность?*
16. *От чего зависит плотность минералов?*
17. *Назовите основные факторы, определяющие плотность магматических (инрузивных и эффузивных) и осадочных (обломочных, карбонатных и гидрохимических) пород.*
18. *Рассчитайте плотность водонасыщенного и газонасыщенного печсчаника с коэффициентом пористости 25%.*

Литература:

1. В.М. Добрынин, В.Ю. Вендельштейн, Д.А. Кожевников. Петрофизика: Учебник для вузов. -М: Недра, 1991.
2. В.Н. Кобранова. Петрофизика: Учебник для вузов -М: Недра, 1986.

Оглавление

Введение……..... 3
1. Статистическая природа физических свойств……..... 4
2. Коллекторские свойства……..... 8
2. 1. Пористость..... 9
2.1.1. Классификация пор……..... 10
2.1.2. Пористость обломочных осадочных пород……..11
2.1.3. Пористость карбонатных осадочных пород……....14
2.1.4. Пористость гидрохимических осадочных пород.....15
2.1.5. Пористость магматических и метаморфических пород.....15
2.1.6. Пористость гидротермально измененных пород….....16
2.2. Влажность, влагоемкость…….....17
2. 3. Проницаемость 19
2.3.1. Физическая проницаемость 19
2.3.2. Связь коэффициента проницаемости с коэффициентом пористости и структурой перового пространства……..20
2.3.3. Фазовая проницаемость 23
3. Плотностные свойства 24
3.1. Основные понятия и определения 24
3.2. Плотность минералов 25
3.3. Плотность горных пород 28
3.3.1. Магматические породы 28
3.3.2. Осадочные породы 33
3.3.3. Метаморфические породы 37
3.3.4. Влияние выветривания на плотность пород 38
Вопросы для самопроверки 39
Литература 39

Игорь Иванович Бреднев

ПЕТРОФИЗИКА

Часть 1. Коллекторские и плотностные свойства горных пород

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Петрофизика» для студентов профилизации «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» (РФ)направления 650200 «Технологии геологической разведки»

Конспект лекций

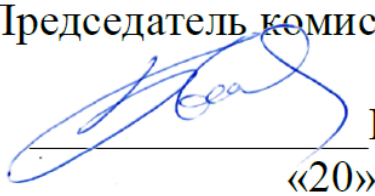
Корректура кафедры геофизики

Подписано в печать 09.09.2004г.
Бумага писчая. Формат бумаги 60х84 1/16.Печать на ризографе.
Печ.л. 2,8. Уч-изд. л. 2,39. Тираж 100 экз. Заказ №130.

Издательство УГГГА
620144. г. Екатеринбург. УЛ- Куйбышева 30
Уральская государственная горно-геологическая академия
Лаборатория множительной техники

И. Г. Сковородников

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ «ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ»

Курс лекций для студентов всех форм обучения

Специальность:
21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация № 1:
«Геофизические методы поиска и разведки
месторождений полезных ископаемых»

Специализация № 2:
"Геофизические методы исследования скважин"

форма обучения: очная, заочная

Екатеринбург
2020

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»

И. Г. Сковородников

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ «ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ»

Курс лекций для студентов всех форм обучения

Специальность:
21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация № 1:
«Геофизические методы поиска и разведки
месторождений полезных ископаемых»

Специализация № 2:
"Геофизические методы исследования скважин"

форма обучения: очная, заочная

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

УДК 550.8
С 44

Рецензент: Г. В. Иголкина, доктор геолого-минералогических наук, зав. лабораторией промысловой геофизики Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Уральского государственного горного университета.

Сковородников И. Г.

С 44 Введение в специальность «Технологии геологической разведки»: курс лекций // И. Г. Сковородников; Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. 137 с.

ISBN 978-5-8019-0361-3

Дисциплина «Введение в специальность» носит ознакомительный характер, это первая встреча студентов с их будущей специальностью – «Технология геологической разведки».

В курсе лекций рассматривается роль минерального сырья в жизни современного общества, описываются виды минерального сырья и его источники, приводятся краткие сведения о способах разведки и добычи полезных ископаемых, о внутреннем строении Земли и даются определения основных геологических терминов.

Более подробно рассмотрены физические основы всех основных отраслей разведочной геофизики.

УДК 550.8

© Сковородников И. Г., 2020

ISBN 978-5-8019-0361-3

© Уральский государственный горный университет, 2020

Лекция 1

В 1988 г. в издательстве «Недра» была опубликована небольшая книжица Гелия Сергеевича Вахромеева «Введение в разведочную геофизику». Книга стала прекрасным учебником для студентов-геофизиков по курсу «Введение в специальность». К огромному сожалению, в 2000 г. Г. С. Вахромеев умер.

Но курс «Введение в специальность» остался в учебном плане согласно Государственному образовательному стандарту 2011 г., который, в частности, требует, чтобы учебники по изучаемым дисциплинам были не старше 10 лет.

Эти обстоятельства вынудили автора подготовить к печати курс лекций по «Введению в специальность», который он читает на факультете геологии и геофизики УГГУ студентам геофизических специальностей (а теперь – специализаций) начиная с 1997 г.

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Какой бы предмет мы ни взяли из окружающей нас обстановки, в его изготовлении обязательно задействованы минеральные ресурсы.

Возьмем, например, мебель в нашей аудитории, она состоит в основном из древесины, и, казалось бы, минеральные ресурсы здесь ни при чем. Однако чтобы спилить дерево, разделать его на доски или шпон, нужны пилы, а пилы – это железо, его выплавляют из железной руды. Для перевозки древесного сырья и уже готовой мебели нужны автомобили, а это тоже железо. Кроме того, для перевозки нужен бензин, а его производят из нефти, которую добывают из недр. Из нефти также производят и резину, которая нужна для изготовления шин автомобилей.

Если возьмем другой предмет, скажем, телевизор, у которого мы проводим часть своего свободного времени, то телевизор весь изготовлен из минерального сырья: транзисторы и диоды – это полупроводники (германий, кремний и др.), трансформаторы – это железные сердечники и медные обмотки, кинескоп – это стекло, все провода – это медь и т. д.

Если взять такой продукт, как хлеб, то и он не может быть изготовлен без участия минерального сырья.

Как известно, хлеб выпекают из муки. Но чтобы вырастить пшеницу или рожь, из которой делают муку, нужно вспахать поле. А для этого нужны машины – тракторы и, следовательно, железо и горючее (опять-таки нужна нефть). Чтобы урожай был хороший, поле нужно удобрить, т. е. опять необходимо минеральное сырье: калийные соли, фосфориты и пр. Для того

чтобы скосить пшеницу или рожь, обмолотить их, перемолоть зерно в муку, опять нужны машины, а значит, железо и горючее. Горючее необходимо также и для выпечки хлеба (либо непосредственно, либо после получения с его помощью электричества). И так обстоит дело буквально с каждым предметом.

Природные материалы были необходимы человеку на всех этапах развития человеческого общества.

При этом чем более развито общество в техническом отношении, тем больше минерального сырья, приходящегося на душу населения, оно потребляет.

В первобытном обществе грубые орудия труда и простые приспособления изготавливались человеком из камня, дерева и кости.

Когда люди научились обрабатывать камень, придавать ему нужную форму, начался **каменный** век.

По мере того, как открывались способы извлечения металлов из руд, человечество вступало последовательно в **медный, бронзовый** и **железный** век, а затем в век **стали**, в **атомный** век.

На каждом этапе развития общества добываемые из недр материалы приобретали все более важное значение, возрастало и количество добываемого сырья.

Как показывает статистика, в настоящее время в развитых странах на душу населения расходуется примерно 1 т угля в год. А ведь кроме угля нужны еще нефть, металлы, строительные материалы и другие виды минерального сырья.

Понятие *минерального сырья* объединяет все, что извлекается из недр для последующего использования в жизнедеятельности человека. Минеральное сырье, еще не извлеченное из недр, называется **полезным ископаемым**.

Различают следующие виды полезных ископаемых:

– горючие (нефть, газ, горючие сланцы, уголь, торф);

– рудные, включающие руды:

- черных металлов (Fe, Mn, Ti, Cr, V);
- цветных металлов (Cu, Zn, Pb, Al, Sn, Ni, Co, Mg, Hg);
- редких и рассеянных металлов (W, Mo, Li, Be, Nb, Ta, Zr, Cd и др.);
- радиоактивных металлов (U, Ra, Th, K);
- благородных металлов (Au, Ag, Pt);

– нерудные:

- строительные материалы (песок, глина, известняк, гранит, асбест);
- агрохимическое сырье (калийные соли, фосфориты, апатит);

- камнесамоцветное сырье (алмазы, бериллы, янтарь, яшма, малахит и пр.);
- прочие нерудные (флюорит, тальк, сера, графит, слюды, каменная соль);

– подземные воды.

О подземных водах следует сказать особо.

Еще в 20-х годах прошлого века академик А. П. Карпинский назвал подземные воды полезным ископаемым № 1. В наше время мы убеждаемся в справедливости этого высказывания. В связи с загрязнением поверхностных источников пресных вод роль подземных вод в обеспечении населения, промышленного и сельскохозяйственного производства возрастает с каждым годом. В развитых странах (Германия, Франция и др.) потребность в пресной воде обеспечивается более чем наполовину за счет подземных вод.

Интересно посмотреть, как распределяется стоимость различных видов добытого минерального сырья.

По данным Бюро горных работ в США за 1975 год, 77 % стоимости добытого минерального сырья пришлось на горючие полезные ископаемые, 8 % – на рудные и 15 % – на нерудные. Общая стоимость минеральной продукции за тот год в США составила 62 млрд долларов (Вахромеев, 1988).

По европейским странам в среднем 60 % стоимости приходится на стройматериалы.

В настоящее время минеральные ресурсы по своему значению в жизнеобеспечении общества занимают *второе место*, уступая только продукции сельского хозяйства.

При этом они отличаются еще и тем, что являются невозобновляемыми.

Сельскохозяйственные, лесные и водные ресурсы относятся к возобновляемым. При правильном ведении хозяйства поле и лес будут давать урожай каждый год. Водные ресурсы возобновляются за счет круговорота воды в природе.

Большая часть минеральных ресурсов расходуется без остатка. После сжигания угля остается только зола, после сжигания газа и продуктов перегонки нефти практически ничего не остается (кроме газообразных веществ), без остатка расходуется агрохимическое сырье и стройматериалы. Исключение составляют только металлы. Они не расходуются без остатка и потому допускают повторное использование. Так, например, 30 % железа в мире выплавляется из железного лома. Идет в переплавку и лом цветных металлов.

Способы добычи полезных ископаемых

За историю развития науки и техники разработано немало способов добычи полезных ископаемых. Как правило, добыча осуществляется с помощью горных выработок: карьеров, шахт (штолен) и скважин.

Карьеры – это открытые горные выработки, есть смысл использовать их при относительно небольшой (до 500-600 м) глубине залегания полезных ископаемых. С их помощью добывают строительные материалы, уголь, некоторые виды рудного и камнесамоцветного сырья. Так, например, угольный карьер Коркино (Челябинская область) имеет глубину 470 м; карьер для добычи алмазов в г. Мирном (Якутия) имеет диаметр 1,5 км и глубину 500 м, ниже разработка ведется шахтами до глубины 1220 м. Алмазный карьер на месторождении Айхал (Якутия) имеет глубину более 600 м. Карьер-гигант по добыче медных руд в США – Бингем достигает отметки 700 м от дневной поверхности. Но самый глубокий карьер в мире – Big Hole в Южно-Африканской Республике в провинции Кимберли, его глубина 854 м. Примечательно, что он был вырыт добытчиками алмазов с помощью кирки и лопаты без применения какой-либо тяжелой техники.

Шахты сооружают при более глубоком залегании полезных ископаемых. Шахты – это более дорогой вид горных выработок, так как их нужно крепить и оснащать вентиляционным, насосным и спуско-подъемным оборудованием. Глубина шахт может доходить до 1-3 км. Так, шахты на СУБРе (Северо-Уральском бокситовом руднике), который дает около 70 % российских бокситов, имеют глубину более 900 м и ежегодно углубляются на 15-20 м. Угольные шахты в Донбассе доходят до 1,5 км. В ЮАР, в провинции Витватерсранд, золотодобывающая шахта достигает глубины 3 км. А самая глубокая шахта в мире находится в Индии в окрестностях г. Колар, её глубина около 4 км, и служит она также для добычи золота.

Штольни, как и шахты, относятся к подземным горным выработкам, но их проходят в горных местностях, и располагаются они горизонтально или с небольшим уклоном.

Буровые скважины используются в основном для добычи жидких и газообразных полезных ископаемых: нефти, газа, подземных вод. Глубина нефтяных и газовых скважин в Западной Сибири составляют около 2-2,5 км, на Оренбургском нефтегазовом конденсатном месторождении – до 5 км. Следует отметить, что с помощью скважин возможна добыча и твердых полезных ископаемых.

Так, например, добыча каменной соли через скважины известна ещё с XII-XIV веков. Для этого соль предварительно растворяли, закачивая в неё воду, а

затем извлекали раствор **(метод подземного растворения)**, который потом выпаривали.

В 1891 г. американцем Г. Фрашем был предложен метод добычи серы посредством **подземного расплавления**. Для этого в пласты серы закачивают перегретую до 160 °С воду, а затем откачивают из них расплавленную серу (рис. 1.1, *а*). Сейчас этим способом добывается большая часть серы в мире.

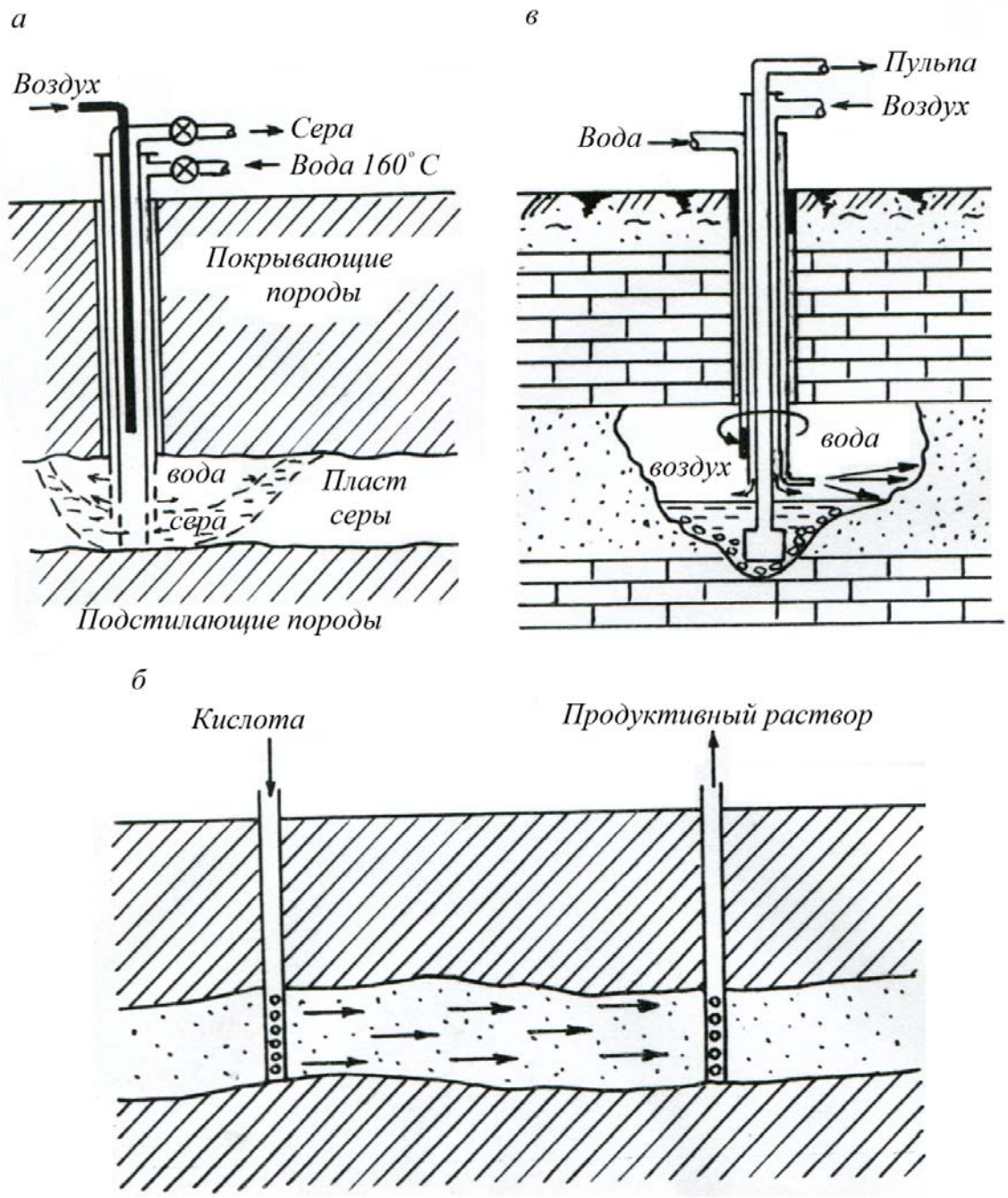


Рис. 1.1. Способы добычи твердых полезных ископаемых с помощью скважин, по (Аренс, 1975):

а – подземная выплавка серы (способ Г. Фраша); *б* – подземное выщелачивание; *в* – скважинная гидродобыча

Разработана также технология **подземного выщелачивания**, согласно которой через одни скважины в залежь полезного ископаемого закачивают реагент, например, раствор какой-либо кислоты, а через другие скважины откачивают этот раствор, но уже обогащенный полезным ископаемым (рис 1.1, *б*).

Впервые способ был применен в XVI веке для добычи меди на руднике Кананеа (Мексика). В 1939-1942 гг. способ применялся на медноколчеданных месторождениях Урала. Сейчас этим способом в мире получают около 20 % меди (Аренс, 1975).

С 1957 г. метод подземного выщелачивания применяется для добычи урана из месторождений инфильтрационного типа.

Известен также способ **скважинной гидродобычи**, который применяется для разработки рыхлых и слабосцементированных руд. В соответствии с ним в скважины закачивают под большим давлением воду, струи которой разрушают массив руды, а образовавшуюся пульпу откачивают на поверхность (рис. 1.1, *в*). Таким методом разрабатывается, например, Ломоносовское месторождение алмазов в Архангельской области.

Разработан также способ **подземной газификации**, который имеет большие перспективы при добыче газа («сланцевый газ») из горючих сланцев, большие запасы которых известны как на Американском континенте, так и в Европе, и в России.

Скважинные технологии всегда более привлекательны, чем добыча полезных ископаемых с помощью карьеров или шахт, не только по экономическим соображениям (их сооружение ведется гораздо быстрее и обходится намного дешевле), но и по экологическим причинам. Скважинная добыча причиняет гораздо меньший ущерб окружающей среде.

Масштабы добычи минерального сырья

Масштабы добычи минерального сырья поражают воображение. Ежегодно на планете добывается около 100 млрд т различного минерального сырья, из них одной только нефти около 3 млрд т. Чтобы представить себе, насколько это много, проделаем небольшой расчет вслед за профессором Вахромеевым Г. С. Если загрузить эту нефть в железнодорожные цистерны по 50 т каждая, то 1 состав из 60 цистерн вместит 3000 т нефти и при этом будет иметь длину около 800 м. Для всей добытой нефти понадобится $3 \cdot 10^9 : 3 \cdot 10^3 = 10^6$ таких составов, а их общая длина будет $0{,}8 \cdot 10^6$ км = 800 тыс. км. Если учесть, что длина окружности Земли по экватору всего 40 тыс. км, то такой состав опояшет Землю целых 20 раз!

Конечно, перевозки нефти железнодорожным транспортом – это удовольствие слишком дорогое, и в настоящее время большая часть нефти (и газа тоже) транспортируются к местам переработки или потребления по трубопроводам.

Однако твердое и сыпучее минеральное сырьё по-прежнему приходится перевозить колёсным или водным транспортом.

Расчёты показывают, что для перевозки всего добытого за один год в мире угля понадобится не меньше вагонов, чем для перевозки добытой нефти.

Аналогично обстоит дело и с объемами добычи рудных полезных ископаемых. Одной только железной руды добывается за год более 1 млрд т. Хотя самих металлов (в чистом виде) извлекается значительно меньше, чем ископаемого угля, объемы добытой руды очень велики из-за того, что в разработку вовлекаются руды с очень небольшим содержанием металлов. Так, например, промышленным содержанием меди в руде считается 2 %, урана – 0,03 %, золото выгодно добывать уже при содержании 2÷3 г/т, а алмазы – при содержании 0,5 карата на 1 $м^3$ породы (карат = 0,2 г). Ну, и количество добытых стройматериалов не уступает количеству рудной массы.

Источники минерального сырья

Основными источниками минерального сырья являются его скопления в земной коре – так называемые **«месторождения полезных ископаемых».** Их поисками и разведкой и занимаются вместе с геологами специалисты по разведочной геофизике и бурению скважин.

Распределение месторождений по странам мира

Месторождения полезных ископаемых крайне неравномерно распределены по территории Земли. Как известно, около 40 % мировых запасов нефти и газа локализуется на Ближнем Востоке (Саудовская Аравия, Кувейт, Иран, Ирак). Очень богата полезными ископаемыми южная часть африканского континента: там сосредоточены более 90 % мировых запасов хрома, около 60 % запасов золота и платины (всё в ЮАР). Недаром ЮАР занимает первое место в мире по добыче золота – 603 т в 1990 г. (газета «Уральский рабочий» от 21.03.91). До 60 % мировых запасов алмазов находится в ЮАР, Заире и Ботсване и до 60 % кобальта в Заире. Три четверти мировых запасов олова сосредоточены в Юго-Восточной Азии (Таиланд, Малайзия, Индонезия).

Нет ни одной страны в мире, которая полностью обеспечивала бы свою промышленность и сельское хозяйство минеральным сырьем из своих собственных месторождений. Уникальной страной в этом отношении был Советский Союз. В СССР не было только крупных месторождений алмазов. Но

в 1954 г. на территории Якутии была открыта геологом Ларисой Попугаевой первая кимберлитовая трубка «Зарница», в 1955 г. последовало открытие трубки «Мир» (геологи Хабардин Ю. И. и Елагина Е. Н.), а затем в Якутии было открыто ещё более 20 алмазоносных кимберлитовых трубок.

А в 70-80-х годах XX века кимберлитовые трубки были обнаружены и на территории европейской части СССР – в Архангельской области.

Полная обеспеченность СССР своим собственным минеральным сырьем объяснялась двумя причинами: во-первых, огромной территорией, занимаемой страной (всё-таки шестая часть суши – не шутка!), а во-вторых, хорошей организацией геологической службы в стране (Козловский, 1980). И недаром каждый год в первое воскресенье апреля население всего Советского Союза праздновало День геолога.

Минерально-сырьевая база России

С обеспечением Российской Федерации минеральным сырьем дело обстоит тоже неплохо. Благодаря большой территории ей досталось значительная часть месторождений Советского Союза.

В России осталось 90-95 % всесоюзных запасов каменного угля, (Восточная часть Донбасса, Кузбасс, Подмосковный и Иркутско-Черемховский бассейны, Воркута, Южно-Якутские месторождения, Сучан на Дальнем Востоке и др.).

Остались крупнейшие месторождения нефти и газа в Волго-Уральской провинции, Республике Коми, в Западной Сибири, в Якутии. Разведанные запасы в России составляют, по разным источникам, от 12,9 млрд т (газета «Аргументы и факты». 2011. № 38) до 29 млрд т (та же газета. 2014. № 5). Наиболее достоверными нам представляются данные, которые приводит в своём учебнике В. П. Максаковский, – 14,7 млрд т. Это пятое место в мире. А по добыче нефти Россия уступает только Саудовской Аравии, причем время от времени даже обгоняя её.

Годовая добыча нефти в России в последние годы составляет около 500 млн т: точнее, в 2010 г. – 505 млн т, а в 2013-м – 532,2 млн т, что на 47,8 млн т больше, чем в Саудовской Аравии.

А по запасам и добыче газа Россия бесспорно на первом месте в мире.

Российская нефть и газ идут почти во все страны Центральной Европы и в бывшие республики СССР – Украину, Белоруссию, Молдавию, прибалтийские республики. Действуют крупнейшие трубопроводы из России в Европу: проложенный через территорию Украины и по дну Балтийского моря, строится

новый трубопровод через Черное море от побережья Кавказа до берегов Болгарии. Увеличивается экспорт газа в Азию – Китай, Японию, Индию.

Бюджет России наполняется в основном за счет поступлений от продажи углеводородного сырья.

В нашей стране находятся крупнейшие месторождения железных руд: на Урале, на КМА, в Восточной Сибири (Ангаро-Илимская группа месторождений), в Кемеровской области и др.

У нас много медных месторождений: на Урале (Сибай, Бурибай, Межозерное, Тарньерское, Михеевское и др.), на севере Западной Сибири (Норильское медно-никелевое месторождение), в Забайкалье (Удокан).

Достаточно месторождений золота: на Урале (Берёзовское, Воронцовское, Кочкарское месторождения и др.), в Восточной Сибири (Забайкалье, Магаданская область, Чукотка); большие запасы алюминиевых руд (Северный Урал, Восточная Сибирь); крупнейшие в мире месторождения агрохимического сырья (калийных солей на Урале, апатитов в Хибинских горах).

Тем не менее Россия уже не может полностью покрыть все свои потребности в минеральном сырье за счет собственных источников.

Так, в бывших союзных республиках остались крупнейшие эксплуатируемые месторождения марганцевых руд (Никопольское на Украине и Чиатурское в Грузии), в Казахстане остались месторождения хрома (Кемпирсай и Хромтау). Из семи действовавших в СССР горно-химических комбинатов, добывавших уран, в России остался только один (Краснокаменский на юге Читинской области).

Так что Россия вынуждена ввозить уран (из Казахстана и даже из Австралии), марганец с Украины и хром из Казахстана.

Кроме того, поскольку во времена СССР сложилась общая система хозяйствования, то сейчас России выгоднее завозить некоторые виды минерального сырья из близких заграничных месторождений, чем везти со своих, но расположенных где-нибудь на дальнем конце страны. Так, например, экономически выгоднее везти железную руду для Магнитогорского металлургического комбината из Казахстана, с Соколовско-Сарбайских месторождений, чем из Восточной Сибири или с КМА. Для тепловых электростанций на Урале завозится уголь из Экибастуза (Казахстан), это ближе и выгоднее, чем везти его из Ростовской области или Кузбасса.

Другим странам, даже располагающим крупными территориями, приходится ввозить минерального сырья много больше, чем России.

Так, например, Соединенные Штаты Америки ввозят до 30 % потребляемой нефти (несмотря на то, что имеют свои очень крупные месторождения; они их «придерживают» на черный день), их собственная

добыча составляет около 400 млн т в год; ввозят все металлы группы платины, кобальт, хром. США также вынуждены импортировать 90 % всего необходимого им количества цветных металлов или соответствующих им руд (Патури, 1979).

Неравномерность распределения запасов минерального сырья по странам мира не раз приводила к тяжелым политическим последствиям.

Ещё в далеком прошлом страны нередко вели войны за обладание месторождениями золота и др. металлов. В недавней истории подобных примеров ещё больше.

Так, в 1973 г. в Чили было свергнуто социалистическое правительство Сальвадора Альенде. Одна из причин – национализация этим правительством месторождений полезных ископаемых. На территории Чили имеется ряд очень крупных месторождений меди, которыми владели известные американские и межнациональные компании, не пожелавшие мириться с потерей своих доходов. В Чили при поддержке американского капитала был организован вооруженный переворот, который и привел к свержению избранного народом правительства и гибели президента Альенде.

В 2003 г. войска США в результате непродолжительной войны оккупировали территорию арабского государства – Ирака. Предлог – предполагаемое наличие у правительства запрещенного ООН оружия массового поражения. Причина же этой войны – наличие в Ираке крупных запасов нефти, ежегодная добыча которой составляла более 170 млн т (до 90 % её шло на экспорт). Страна была захвачена, президент Саддам Хусейн расстрелян, оружие массового уничтожения так и не найдено.

Более свежий пример – события в Ливии. Ливия по запасам нефти занимает 8-е место в мире. При поддержке западных государств, США, Франции и др. в стране был организован мятеж, правитель страны – полковник Муамар Каддафи убит без суда и следствия, а организаторы и спонсоры мятежа прибрали к рукам нефтяные месторождения Ливии и доходы от них.

Крупные запасы углеводородного сырья в Российской Федерации вызывают зависть правительств других стран. Бывший госсекретарь правительства США при президенте Дж. Буше-младшем Мадлен Олбрайт договорилась до того, что в одном из публичных выступлений заявила, что такие огромные богатства не должны быть собственностью одного государства, они должны принадлежать всем странам (!?).

Так что, если Россия не будет сильной, охотники до её богатств объявятся очень быстро, и её вполне может ожидать судьба того же Ирака.

А предлог всегда найдется…

Контрольные вопросы

1. Что такое минеральное сырье?
2. На какие виды подразделяют полезные ископаемые?
3. Какова примерная масса минерального сырья, добываемого ежегодно в мире?
4. Какова ежегодная мировая добыча нефти?
5. Сколько нефти в год добывает Россия?
6. Какое полезное ископаемое в настоящее время можно считать самым важным?
7. Какое место занимает минеральное сырье в жизни современного общества?
8. Что можно сказать о возобновляемости минерального сырья?
9. В какой стране находится самая глубокая скважина? Какова её глубина?
10. Где находится самая глубокая шахта?
11. Где находится самый глубокий карьер?
12. Какие горные выработки обходятся дороже всего: карьеры, шахты или скважины?
13. Перечислите способы добычи твердых полезных ископаемых с использованием буровых скважин.
14. Укажите преимущества скважинных способов перед добычей ископаемых с помощью карьеров и шахт.
15. Дайте определение: что называется месторождением полезных ископаемых.
16. В каких странах находятся самые большие запасы нефти?
17. Какое место в мире по запасам нефти занимает Россия?
18. Подсчитайте, на сколько лет хватит разведанных запасов России при сохранении нынешних объемов добычи.
19. Дефицит каких полезных ископаемых испытывает Россия?
20. Из каких стран Россия ввозит недостающее минеральное сырье?
21. Приведите примеры международных конфликтов, связанных с неравномерностью расположения источников минерального сырья на территории Земли.

Лекция 2

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Добыча и потребление минерального сырья непрерывно увеличиваются во всем мире.

По расчетам экспертов ООН во главе с Василием Леонтьевым, темпы валового роста добычи составят в ближайшем будущем по развитым странам около 5 %, а по развивающимся более 7 % в год (Г. С. Вахромеев).

Между тем месторождения полезных ископаемых постепенно истощаются, а некоторые и вовсе вырабатываются.

Почти все рудные месторождения Европы, упомянутые в известном труде Г. Агриголы «О месторождениях и рудниках в старое и новое время», полностью выработаны, о них остались только воспоминания. Месторождения песка и гравия в Европе истощатся приблизительно через 20 лет.

Уже в настоящее время мировая промышленность ощущает нехватку серебра, алюминия, ртути, свинца, платины, цинка и олова (Патури, 1929).

По этой причине возникает вопрос о том, хватит ли имеющихся месторождений полезных ископаемых для жизнеобеспечения человеческого общества. Не ограничит ли недостаток полезных ископаемых научно-технический прогресс?

Вопрос непраздный и неновый. Ещё 2,5 тыс. лет назад греческие философы, а через 500 лет древнеримские задавались вопросом о том, хватит ли железа для нужд цивилизации того времени.

Месторождения полезных ископаемых, как мы уже отмечали, относятся к разряду невосполнимых природных ресурсов. Проблемы обеспечения промышленности минеральным сырьем активно обсуждаются на страницах мировой печати и в настоящее время.

По пессимистическим оценкам зарубежных специалистов (Д. Медоуза, В. Леонтьева и др.), некоторых видов минерального сырья хватит человечеству только до 2050 г. (Вахромеев, 1988).

По прогнозам отечественных ученых, запасы минеральных ресурсов не будут тормозом для развития мировой экономики не только в ближайшие 50, но и в последующие годы.

Оптимистические оценки нам представляются более правильными. И вот почему.

Практически ежегодно за последние 50 лет в США делались заявления о том, что запасов жидкой нефти при существующих объёмах добычи им хватит

лишь на 10-15 лет. Однако за этот период добыча возросла на 75 %, а нефть все ещё добывается, т. е. запасы не иссякли. Это объясняется тем, что одновременно с добычей полезных ископаемых ведется их разведка, и прирост запасов покрывает или даже опережает их истощение вследствие добычи.

Кроме того, с развитием науки и техники появляются новые технологии, которые позволяют вовлечь в разработку те месторождения, эксплуатация которых ранее была нерентабельной.

Рассмотрим нетрадиционные источники минерального сырья несколько подробнее.

Техногенные месторождения

В качестве таких месторождений, но не природного, а техногенного происхождения, могут рассматриваться отвалы, отходы переработки руд, накопленные за предшествующие годы. Добывать полезные ископаемые из них даже выгоднее, чем из природных месторождений, несмотря на малые содержания в них полезного компонента. Это объясняется тем, что они уже извлечены из недр и раздроблены.

Так, например, уже существуют и используются технологии извлечения золота и др. металлов из отвалов медноколчеданных рудников, извлечения магния из отвалов асбестовых рудников, изготовления белого портландцемента из пирофиллитсодержащих пород, находящихся в отвалах уральских медноколчеданных месторождений (Семячков, Руднов, 2013), изготовления строительных материалов (шлакоблоков) из золоотвалов тепловых электростанций, извлечения скандия из золы Экибастузских углей, на которых, в частности, работает Рефтинская ГРЭС на Урале и др.

Мировой океан

Крупнейшим источником минерального сырья является Мировой океан.

Мировой океан – это совокупность всех морей и океанов Земли. Он занимает около 71 % земной поверхности. Объем воды в Мировом океане, по расчетам академика В. И. Вернадского, – 1370 млн км^3 (исходя из средней глубины 3,8 км).

Морская вода содержит в растворенном виде большое количество различных химических элементов. По данным норвежского океанолога Харальда Свердрупа, в 1 л морской воды содержится 19 г хлора; 10,5 г натрия; 1,3 г магния; небольшие количества железа, золота, урана, меди, никеля, кобальта и др. – всего около 50 элементов.

Учитывая огромную массу воды Мирового океана, даже этих небольших содержаний достаточно для обеспечения потребностей всего человечества на многие годы.

Ещё 4 тыс. лет тому назад морскую соль начали добывать в Китае, позднее – в Испании и Италии. Сейчас более 30 % поваренной соли, добываемой в мире, приходится на морскую соль. Растет добыча из морской воды калия, магния и брома, из морских водорослей добывают йод. Делались успешные попытки добывать из морской воды золото и уран, но пока это оказалось слишком дорого.

В настоящее время на долю Мирового океана приходится 2 % мировой добычи минерального сырья и, для сравнения, около 1 % потребляемых продуктов питания (Ф. Р. Паули).

Но главную ценность среди ресурсов Мирового океана представляет пресная вода. Как сказал американский геохимик Д. Хорн, «в не очень отдаленном будущем наиболее важным веществом, добываемым из океана, может стать **пресная вода**… В 1 куб. миле морской воды содержится пресной воды на сумму 10^{10} долларов, а золота всего на сумму 10^5. Золото – роскошь, а без воды мы погибнем» (Вахромеев, 1988).

Пресная вода уже сегодня дефицитна во многих странах мира. Она потребна не только для жизнеобеспечения населения, но и для промышленных нужд. В среднем на выпуск 1 т каменного угля затрачивается 2 т воды, на 1 т стали – 20 т воды, серной кислоты – 80 т, вискозы – 400 т, хлопчатобумажной ткани – 1100 т и т. д. Пресную воду транспортируют на сотни километров по каналам и трубопроводам, везут в танкерах и цистернах. Новая Зеландия снабжает водой из озера Манапури засушливый Бахрейн, Германия закупает воду в Швейцарии, США – в Канаде. В Японии всерьез рассматривают проекты буксировки айсбергов из Антарктиды. Американские гидрогеологи подсчитывают запасы солёных и солоноватых подземных вод: в США полагают, что добывать эти воды в засушливых штатах и опреснять их здесь же обойдется дешевле, чем доставлять воду из других регионов.

Интересно отметить, что одна из первых в мире мощных опреснительных установок действовала в СССР. Она опресняла воду, взятую из Каспийского моря, для снабжения населения города Форт Шевченко на восточном берегу Каспия (ныне это город Актау).

В настоящее время в мире действует более 100 крупных опреснительных установок.

Кроме воды и растворенных в ней элементов с Мировым океаном связано ещё несколько источников минерального сырья. Это прибрежные россыпи,

полезные ископаемые морского дна и месторождения, скрытые в породах ниже морского дна.

Морские россыпи. В прибрежной зоне солнце, ветер, прибойные волны разрушают монолитные горные породы и освобождают из них зерна наиболее устойчивых в химическом отношении минералов: олова (касситерит), титана (рутил, ильменит), хрома (хромит), железа (магнетит, титаномагнетит), редкоземельных элементов (монацит), а также самородного золота и платины, алмазов, янтаря. Эти минералы не уносятся далеко в море, а оседают на дно в прибрежной зоне.

Морские и береговые россыпи касситерита (SnO_2) известны в Индонезии, Таиланде, Малайзии, а также в Европе, на полуостровах Корнуолл (Великобритания) и Бретань (Франция). Именно в россыпях юго-восточной Азии сосредоточены почти три четверти мировых запасов олова.

Россыпи ильменита ($FeTiO_3$), рутила (TiO_2), часто с монацитом ($Ce,LaPO_4$) и цирконом ($Zr\ SiO_4$), разрабатываются в Норвегии, США, Бразилии, Мексике, Индии и некоторых других странах.

Магнетит (Fe_3O_4) и титаномагнетит ($Fe(FeTi)_2O_4$) добывают из морских россыпей в Канаде, Новой Зеландии Японии, России. В Японии они обеспечивают 20 % потребностей в железной руде (Вахромеев, 1988).

Морские россыпи янтаря разрабатываются со средних веков на Балтике, в их числе крупные россыпи в Калининградской области России.

В последние годы аналогичные россыпи янтаря обнаружены у берегов арктических морей в России и в Канаде.

Месторождения морского дна. Из месторождений морского дна наибольший интерес представляют железо-марганцевые конкреции, фосфориты и строительные материалы.

Железо-марганцевые конкреции – это ещё недостаточно изученные образования. Впервые такие конкреции были извлечены с морского дна в южной части Тихого океана вместе с донными пробами глубинного морского грунта во время исследовательского плавания британского корвета «Челенджер» в 1872-1873 гг.

В 1898 г. подобные «черные клубни» были обнаружены на дне Атлантического океана в ходе экспедиции германского исследовательского судна.

Конкреции представляют собой округлые объекты черного цвета диаметром до 8 см. В разрезе они имеют концентрическую слоистость. Это свидетельствует о том, что они образовались путём наращивания слоёв вокруг кристаллического центра (рис. 2.1, *а*) и, следовательно, сформировались не вдруг, а в процессе длительного роста (Патури, 1979).

В отдельных местах конкреции покрывают дно глубоководных морских долин (абиссалий) сплошным слоем (рис. 2.1, *б*). Удивительно, что они никогда не располагаются в два или более слоев и, несмотря на большой вес, не проваливаются в ил, на котором они лежат. Ещё более удивительно, что конкреции двигаются, хотя на дне долин, где они находятся, не бывает никаких морских течений. По строению их концентрических слоев удалось выяснить, что конкреции время от времени поворачиваются.

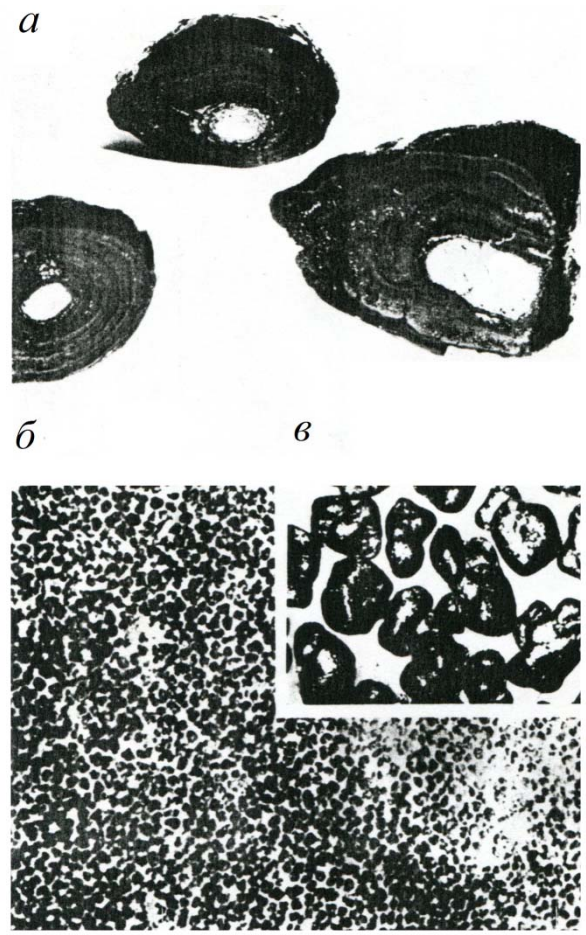


Рис. 2.1. Слоистое строение железо-марганцевых конкреций (*а*); фотография дна глубоководной долины (5100 м) в Тихом океане, покрытого слоем железо-марганцевых конкреций (*б*), и фотография конкреций из пробы, отобранной со дна океане (*в*), по (Патури, 1979)

Причины такого поведения конкреций, так же как и причины их образования, остаются неизвестными. Зато хорошо изучен их состав: они содержат 25-35 % марганца, 5-35 % железа, 1-14 % никеля, 1-16 % меди, 0,5-0,3 % кобальта. Запасы конкреций в Тихом и Атлантическом океанах в сумме превышают 1700 млрд т. Подсчитано, что в них содержится в 150 раз больше меди, в 1500 раз больше никеля, в 5000 раз больше кобальта и в 4000 раз больше марганца, чем во всех материковых месторождениях этих металлов.

Наиболее богатые залежи конкреций находятся на глубине от 3 до 6 км.

Уже разработаны и испытаны способы добычи конкреций со дна океана. Так, например, способ, разработанный американской компанией «Deep Sea

Ventures» реализуется с помощью грузового судна-матки и самоходного устройства для сбора конкреций, которые соединяются с судном эрлифтной системой (рис. 2.2).

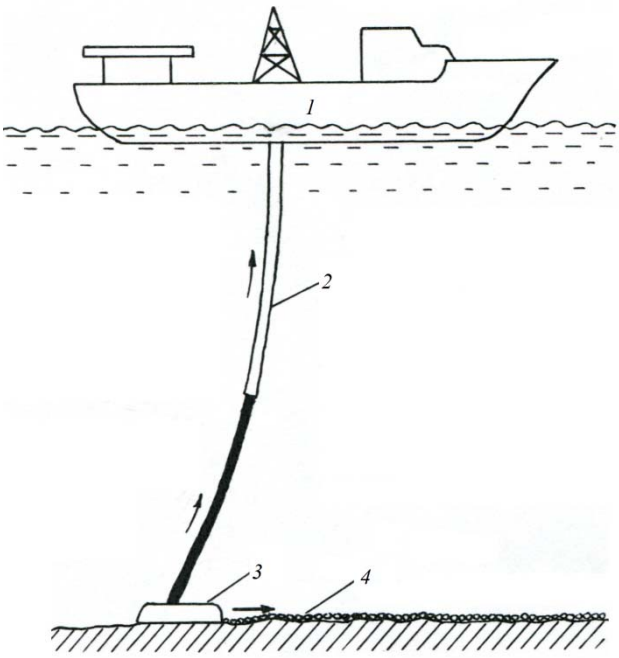


Рис. 2.2. Способ добычи железо-марганцевых конкреций, разработанный фирмой «Deep Sea Ventures» (по Ф. Р. Патури):
1 – судно-матка; *2* – подъёмная эрлифтная система; *3* – самоходное устройство для сбора конкреций; *4* – слой конкреций на дне океана

Интересный способ добычи конкреций был предложен в Свердловском горном институте коллективом авторов под руководством профессора А. Д. Матвеева (авторское свидетельство на изобретение № 1369387, 1987). Способ заключается в том, что с грузового судна опускается на дно океана трубопровод (шланг), по которому закачивают хладоагент. Хладоагент вызывает замораживание воды; образующийся лед обволакивает конкреции и вместе с ними всплывает на поверхность. Остается собрать их мелкоячеистым тралом.

Фосфоритовые конкреции обнаружены на шельфе на глубине от 80 до 300 м.

Известные месторождения фосфоритов, расположенные на суше, также имеют морское происхождение. Об этом свидетельствуют морские окаменелости, которые в них находятся.

Строительные материалы со дна моря обходятся дешевле, чем аналогичные материалы (песок, гравий, ракушечник), добытые из месторождений на суше.

Англичане первые из народов западной Европы начали драгирование со дна моря сырья для производства строительных материалов. Сейчас они предлагают гравий для поставки в прибрежные районы ФРГ по цене, меньшей, чем стоит отечественный германский гравий.

В России песком, добытым со дна Черного моря, намывают пляжи на курортах кавказского побережья. «Менее чем через два десятилетия море станет для многих стран единственным экономичным источником строительных материалов», – писал Феликс Р. Патури ещё в 1979 г.

Конечно, запасы песка и гравия в пустынных и полупустынных областях Земли практически неограниченны, но транспортировка их к густонаселенным районам, где существует основная потребность в строительных материалах, обойдется чересчур дорого.

Месторождения под дном Мирового океана. В настоящее время в разных странах мира существуют более 100 горных предприятий, ведущих добычу угля, медно-никелевых и других руд из-под дна моря. Морские угольные месторождения разрабатываются в Японии, Великобритании, на острове Шпицберген (Норвегия). В Японии подобные месторождения дают около 38 % от всего добываемого угля, в Великобритании – 10 % (Вахромеев, 1988).

Но самую большую ценность из месторождений под дном Мирового океана представляют месторождения углеводородного сырья.

Разведанные запасы морских нефтяных месторождений достигают 20 млрд т из 85-90 млрд т всех разведанных мировых запасов.

Понятно, что добыча нефти из-под морского дна обходится значительно дороже, чем на сухопутных месторождениях, тем не менее в настоящее время доля нефти, добытой из морских месторождений, составляют более 20 % от общемировой добычи. Пионером морской добычи был Советский Союз. В послевоенные годы в СССР была развернута добыча нефти на акватории Каспийского моря в районе Баку (г. Нефтяные Камни). Буровые вышки нефтяных скважин устанавливались на стальных эстакадах, уходивших от берега туда, где глубина моря достигала до 85 м.

Сейчас нефть из морских месторождений добывают с помощью специальных буровых платформ. Разрабатываются месторождения, находящиеся под толщей воды до 300 м, проектируются платформы для глубины в 2,5 км.

В настоящее время в Мировом океане работают около 4000 установок. Различные типы этих установок представлены на рис. 2.3.

Особые трудности доставляет добыча нефти из-под дна арктических морей. Эти трудности связаны с замерзанием моря зимой и последующим движением льдов весной и летом – движущийся лед легко смещает платформу, установленную на домкратах подвышечного основания или полупогружного типа.

В таких районах приходится прибегать к созданию искусственного острова, на котором затем и устанавливается буровая платформа.

Примером может служить нефтедобывающая платформа «Малипак», сооруженная группой зарубежных компаний у берегов острова Сахалин в 1996 г.

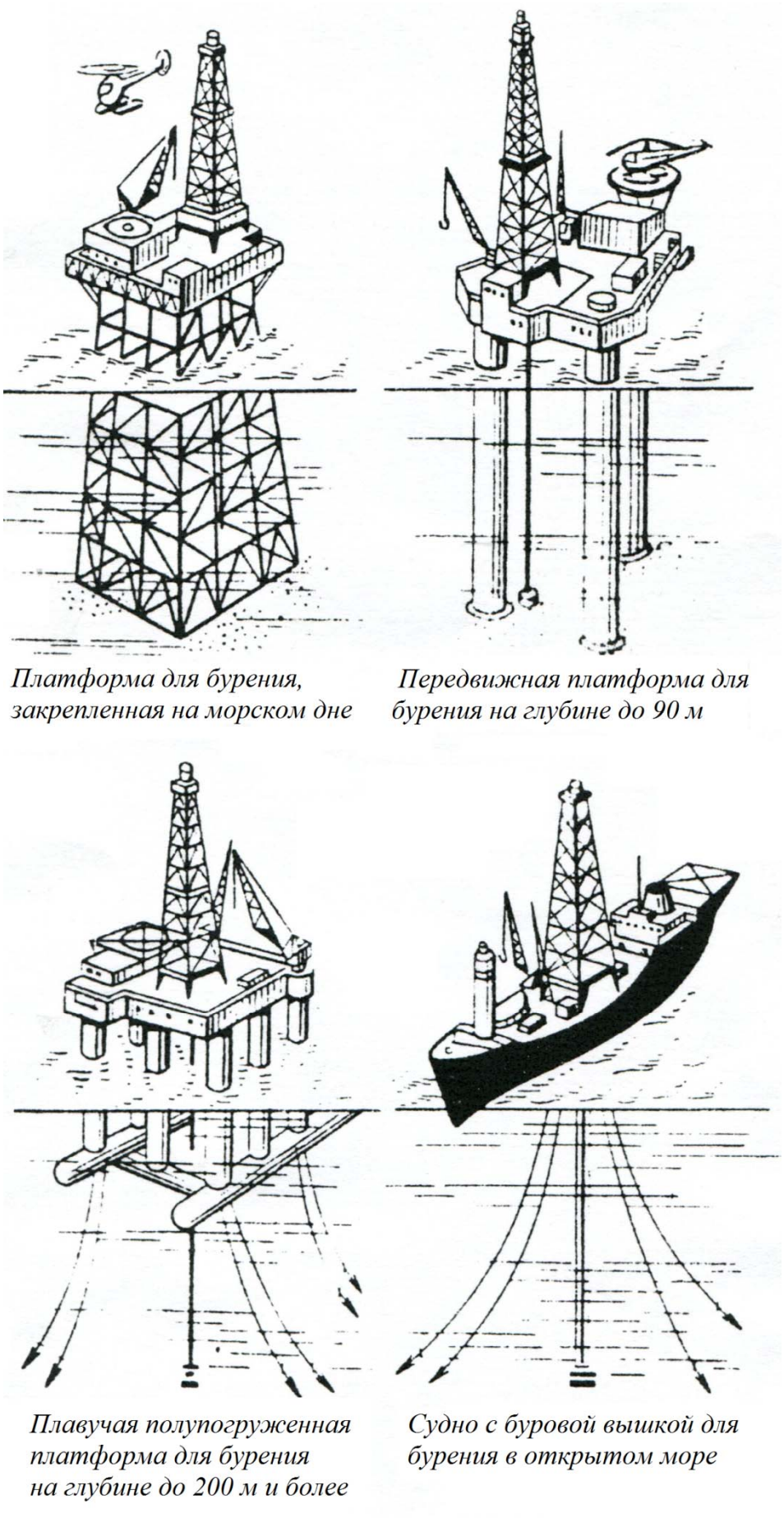


Рис. 2.3. Типы установок для морского бурения

Аналогичную конструкцию имеет платформа «Приразломная» в Баренцевом море, которую в 2013 г. пытались штурмовать активисты движения «Green peace».

Скопления бедных руд

Кроме ресурсов Мирового океана существует ещё один резерв минерального сырья – крупные скопления «бедных» руд, имеющих низкие содержания полезного компонента. В принципе все необходимые химические элементы человек со временем сможет извлекать из «пустых» пород, т. е. из обычных гранитов, пироксенитов, песчаников и известняков. Суммарное содержание химических элементов в «пустых» породах во много раз выше, чем во всех месторождениях Земли, вместе взятых. Так, например, в 1 км^3 обычного гранита присутствуют 250 тыс. т меди, что приблизительно соответствует среднему по запасам месторождению; 100 тыс. т олова, что эквивалентно крупному месторождению; 75 тыс. т кобальта. Такими запасами кобальта обладает только уникальное месторождение Шинколобве в Центральной Африке.

Извлечение металлов из обычных горных пород потребует огромных затрат энергии, но в принципе эта задача вполне решаема.

Так что абсолютное истощение минеральных ресурсов человечеству практически не угрожает и не может рассматриваться в качестве тормоза научно-технического прогресса (Вахромеев, 1988).

Контрольные вопросы

1. Перечислите нетрадиционные источники минерального сырья.
2. Приведите примеры техногенных месторождений.
3. Источником каких видов минерального сырья может служит мировой океан?
4. Какие элементы и соединения элементов добываются из морской воды в настоящее время?
5. Какова доля минерального сырья, извлекаемого из вод Мирового океана в общемировом потреблении его?
6. Что такое морские и прибрежные россыпи?
7. Что такое железо-марганцевые конкреции? Каков их состав?
8. На какой глубине находятся скопления железо-марганцевых конкреций?
9. На какой глубине находятся фосфоритовые конкреции?
10. Какие полезные ископаемые добывают из-под дна морей и океанов?

11. С помощью каких сооружений добывают нефть на морских месторождениях?
12. Какова доля нефти, добытой из морских месторождений, в общемировой нефтедобыче?
13. Какие химические элементы могут быть извлечены из обычных горных пород?

Лекция 3

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Обнаружение новых месторождений полезных ископаемых становится все более трудным делом и требует совершенствования методов поисков и увеличения затрат.

Причина этого очевидна: в настоящее время территория материков уже в достаточной степени опоискована, и все месторождения, залегающие на небольшой глубине, давно выявлены, а многие уже и выработаны. Поиски же глубокозалегающих месторождений требуют больших затрат и разработки новых методов.

Современная система поисково-разведочных работ включают четыре основные группы методов: геологические, технические, геофизические и геохимические.

Традиционно эти методы применялись на поверхности Земли, но в последние 50 лет геофизические методы стали использовать для измерений с воздуха и из космоса, а также при исследовании акваторий морей и океанов.

В первом случае говорят о дистанционных или аэрокосмических методах, во втором – о морской геологии и геофизике.

Все перечисленные группы методов при правильной организации работ используются в комплексе и дополняют друг друга (Вахромеев, 1988).

Геологические методы

Как мы уже отмечали, с самых первых этапов развития человеческое общество нуждалось в продуктах неживой природы: сначала в определенных сортах камня, затем в рудах металлов, позднее – в каменном угле и нефти, а в настоящее время ещё и в энергетическом сырье для атомных электростанций.

По этой причине поиски полезных ископаемых – это одна из древнейших профессий.

О том, что древние геологи знали толк в своём деле, свидетельствуют находки остатков древних выработок, в нашей стране это так называемые «чудские копи». И эти выработки всегда располагаются над богатыми рудными залежами и являются надежным поисковым признаком для современных геологов.

Согласно греческой мифологии, именно Прометей, который не только подарил людям огонь, но и научил их распознавать минералы и выплавлять металл из них, может считаться первым геологом.

Среди многочисленных трудов древнегреческого философа Аристотеля (384-322 до н. э.) есть работы по минералогии.

Первую классификацию минералов составил ученик Аристотеля – Теофраст (372-287 до н. э.). По классификации Теофраста все минералы делились по физическим свойствам на 8 категорий: цветные камни, плавкие, негорючие, горючие, драгоценные, легкоразрезаемые, землистые и, наконец, просто камни.

В 1546 г. немецкий врач и металлург Георгий Агрикола (1494-1555) из города Яхимов (ныне этот город на территории Чехии) в своем солидном труде «О месторождениях и рудниках в старое и новое время» в 2-х книгах собрал все сведения о месторождениях, содержавшиеся в трудах ученых и писателей Древней Греции и Рима (всего 47 авторов).

Позднее Г. Агрикола в своем новом труде, опубликованном в 1550 году, «О горном деле и металлургии» в 12-ти книгах обобщил имевшиеся в то время сведения о геологии, способах добычи руд и выплавке металла из них.

Большое влияние на развитие геологии имели труды М. В. Ломоносова (1711-1765): «О слоях земных», «Слово о рождении металлов от трясения Земли», «Первые основы металлургии или рудных дел» (1763). Ломоносов рассматривал Землю и все процессы, происходящие в ней, как нечто развивающееся во времени. Он считал, что в образовании горных пород принимает участие и подземный жар, и механические перемещения, в том числе и надвигания древних слоев на молодые. Ломоносов предложил способ определения относительного возраста рудных жил по их взаимному пересечению.

В Западной Европе в то время в геологии шла дискуссия между представителями двух направлений: нептунистов и плутонистов.

Нептунисты полагали, что Землю некогда покрывал океан, из которого последовательно осаждались гнейсы, граниты, сланцы и др. породы.

Плутонисты считали, что горные породы и полезные ископаемые образуются в глубинах Земли при высоких температурах из расплавленной магмы.

Родоначальником современной геологии на Западе считают Абраама Готлоба Вернера (1750-1817), профессора Фрайбергской горной академии. Он возглавлял направление нептунистов. Вернер А. Г. разработал классификацию минералов и горных пород по внешним признакам и разделил геологию (она

тогда называлась минералогией) на две самостоятельные науки – минералогию и геогнозию (т. е. познание Земли).

Огромный вклад в развитие геологической науки внесли российские ученые А. П. Карпинский (1846-1936), В. А. Обручев (1863-1956), В. И. Вернадский (1863-1945), А. Е. Ферсман (1883-1943), И. М. Губкин (1871-1939), С. С. Смирнов (1895-1947) и др.

Современная геология распадается на целый ряд составляющих её дисциплин, таких как минералогия, петрография, гидрогеология и т. д.

Издавна девизом геологов было «mente et malleo» (лат.) – что означает «умом и молотком».

Но сейчас на вооружении геологов кроме молотка, компаса и собственных органов чувств находятся весьма чувствительные приборы и методы исследования: поляризационные и электронные микроскопы, рентгено-структурный, нейтронно-активационный и спектральный анализы и пр.

До сих пор именно геологи определяют общую стратегию разведки и принимают участие в геологоразведочном процессе на всех его этапах.

Геологу всегда необходим непосредственный контакт с горными породами и минералами (Вахромеев, 1988).

Однако в большинстве случаев коренные горные породы бывают перекрыты слоем наносов и открываются только на обнажениях – склонах гор, крутых берегах рек, бортах оврагов и т. п.

Там, где толща наносов невелика, геологи создают искусственные обнажения: роют канавы, «бьют» шурфы или бурят скважины, т. е. прибегают к помощи технических методов. Там, где и технические методы бессильны, применяют геофизические и геохимические методы.

Технические методы

Технические методы включают проходку различных горных выработок, которые позволяют геологу добраться до объектов исследования: коренных горных пород, руд, угольных пластов, нефтяных залежей и т. д. К разведочным горным выработкам относятся канавы, шурфы («дудки»), шахты, штольни и буровые скважины.

Канавы задаются для вскрытия коренных пород при небольшой мощности (т. е. толщине слоя) наносов от 0,5 до 2 м. Располагают канавы, как говорят геологи, вкрест простирания (т. е. поперек простирания) горных пород.

Пример разведки неглубокозалегающего месторождения с помощью канав представлен на рис. 3.1.

В степных и других равнинных областях проходку канав осуществляют с помощью военных траншеекопателей на гусеничном ходу.

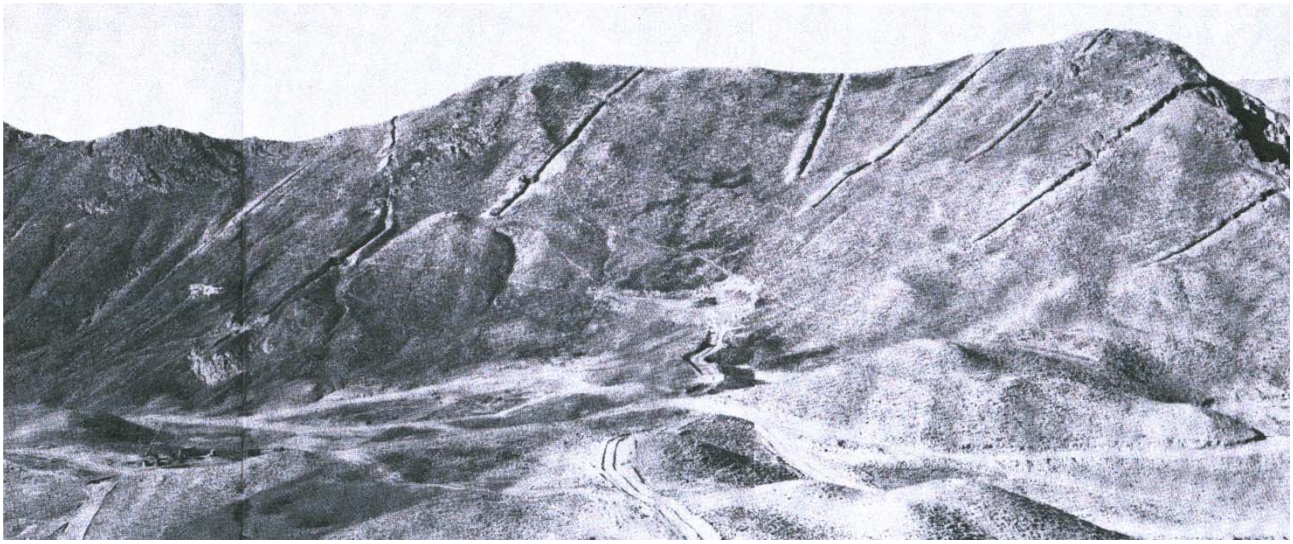


Рис. 3.1. Панорама разведки месторождения меди Айнак (Афганистан).
По материалам В/О «Техноэкспорт»

Шурфы проходят при толщине слоя наносов до 10-15 м. Обычно они имеют прямоугольное сечение, как колодцы. При проходке шурфов необходимо крепление ствола и наличие подъемного оборудования для транспортировки грунта с забоя шурфа на поверхность.

На Урале распространена разновидность шурфов круглого сечения – это так называемые «дудки».

Разведочные шахты сооружают при мощности наносов в несколько десятков метров. Обычно их задают с таким расчетом, чтобы в случае успешных результатов разведки их можно было использовать и для добычи полезного ископаемого.

Штольни – это горизонтальные горные выработки, аналогичные тоннелям, проходят их в склонах гор.

Буровые скважины. Бурить скважины люди умели ещё в глубокой древности. Например, около 6 тыс. лет тому назад в Египте бурили скважины при сооружении пирамид.

Начиная с XI-XII века в России бурили скважины с целью добычи растворов поваренной соли. Эти «рассолоподъемные трубы» имели диаметр до 1 м и глубину до 100 м.

Первые скважины на нефть тоже были пробурены в России – в 1846 г. на месторождении Биби-Эйбат (район Баку) купцом Семеновым.

Для сравнения первая нефтяная скважина США была пробурена и дала нефть в 1859 г. в штате Пенсильвания (Ф. Меркс).

Первые скважины бурили ударным способом. С 20-х годов XX века стало внедряться вращательное бурение, гораздо более быстрое.

Большой вклад в развитие буровой техники внесли советские инженеры и конструкторы.

Вот что писал, например, 29 февраля 1956 г. корреспондент газеты «Нью-Йорк геральд трибюн» в Москве Б. Дж. Катлер: «Советский Союз разработал совершенно новое буровое оборудование, позволяющее проходить скважины дешевле и в десять раз быстрее, чем оборудование, которое применяется в Соединенных Штатах».

«Это сообщение ещё долго обсуждалось на первых страницах американских газет. Оно было похоже на взрыв бомбы. Штаб-квартиры нефтяных концернов охватило беспокойство: ведь более 95 % бурового оборудования, применявшегося в капиталистическом мире, изготовлялось в США. В СССР и страны народной демократии это оборудование не поставлялось. Между этими странами и США шла «холодная война». Но русские сумели разработать новый эффективный метод бурения» (цитируется по Ф. Мерксу, 1978). В заметке американского корреспондента шла речь о так называемом «турбинном бурении». Ранее применялось только роторное бурение, при котором буровой станок, находящийся на поверхности, вместе с породоразрушающим наконечником вращает сотни метров (а иногда и километры) бурильных труб. При турбинном бурении вращается только нижняя часть бурового набора с породоразрушающим наконечником, которая приводится в движение либо потоком промывочной жидкости, либо электромотором. Остальная часть бурильных труб остается неподвижной.

Турбобур был разработан М. А. Капелюшниковым, а электробур – А. П. Островским и И. М. Ратманом.

Кроме того, у наших отечественных инженеров были и другие очень эффективные изобретения в области бурения.

И не случайно, что самая глубокая в мире скважина была пробурена именно в нашей стране отечественной буровой установкой «Уралмаш-15000».

Эта скважина «Кольская сверхглкбокая СГ-1» бурилась с чисто научными целями. Она дошла до 12 262 м, после чего в 1992 г. бурение было остановлено. Сейчас скважина законсервирована.

Самая **длинная** в мире скважина также была пробурена в нашей стране в 2011 г. на о. Сахалин, на нефтяном месторождении «Одопту». Её длина 12 345 м.

Для сравнения: самая глубокая скважина в США «Берта Роджерс» имеет глубину 9583 м, самая глубокая в ФРГ, в Баварии – 9101 м (журнал «Огонёк». 2011. № 7).

Характерная особенность разведочных скважин – это то, что они бурятся с отбором керна. Это так называемое «колонковое бурение».

Бурение с отбором керна обходится дороже, чем бурение «сплошным забоем», зато оно дает в руки геологам так необходимый каменный материал – тонкий столбик горной породы, называемый керном.

Все технические методы являются самыми дорогими из геологоразведочных работ, так как их проведение сопряжено с большими трудовыми затратами и связано с применением громоздкой и сложной техники.

Геофизические методы

Геофизические методы получили распространение только в XX веке. По сравнению с древними, как мир, геологическими и техническими методами, они ещё не вышли из младенческого возраста. Тем не менее на геофизические исследования приходится более 30 % от всех затрат на геологоразведочные работы.

Широкое применение геофизических методов объясняется теми преимуществами, которыми они обладают. К этим преимуществам относятся:

– высокая производительность, особенно у аэро- и космических вариантов методов;

– большая глубинность: самая большая у сейсморазведочных методов (до 12 км и более);

– значительно меньшие затраты средств и труда на их осуществление, по сравнению с техническими методами.

В нашей стране каждый пятый работник геологоразведочных экспедиций – это геофизик, а ведь там кроме самих геологов трудятся ещё буровики, горные рабочие, топографы, механики, шофёры, бухгалтеры и пр.

Геофизические методы по своей природе являются не прямыми, а косвенными. Они основаны на исследовании особенностей естественных или искусственных физических полей, связанных с полезными ископаемыми.

Месторождения полезных ископаемых или структуры, в которых они локализуются, как правило, отличаются по какому-нибудь из физических свойств (плотности, намагниченности, радиоактивности, электропроводности и т. п.) от вмещающих пород. Эти отличия создают искажения, аномалии соответствующих физических полей. Геофизические методы дифферен-

цируются по природе изучаемых физических полей. Более подробно сущность этих методов, их краткая история и решаемые ими задачи будут рассмотрены нами во второй части курса.

В связи с тем, что ресурс приповерхностных месторождений уже исчерпан, открытие новых месторождений в настоящее время производится в основном по данным геофизических методов.

Буровые скважины задаются для проверки геофизических аномалий. В Западной Сибири 80 % скважин, заданных по рекомендациям сейсморазведчиков, оказались продуктивными.

Особенно велика роль геофизических методов при поисках и разведке месторождений под дном морей и океанов: собственно геологические методы там неприменимы, а технические – чрезвычайно дороги.

Геохимические методы

Геохимические методы относятся к прямым способам индикации полезных ископаемых.

Их появление было подготовлено фундаментальными трудами академика В. И. Вернадского и др. геохимиков, изучавших распределение и закономерность миграции различных химических элементов в земной коре.

Эти методы направлены на обнаружение ореолов рассеяния тех химических элементов, которые входят в состав полезных ископаемых. Как известно, вокруг месторождений и в частности над ними образуются первичные и вторичные ореолы рассеяния.

Первичные ореолы – это зоны повышенных содержаний рудных и сопутствующих элементов около промышленных залежей в коренных породах (рис. 3.2, *а*). Они образуются в результате действия тех же процессов, которые формируют само месторождение, но отличаются от него тем, что содержание химического элемента в контуре ореола ниже промышленных требований. В то же время оно гораздо выше, чем так называемое «фоновое» содержание за пределами ореола.

Вторичные ореолы и потоки рассеяния формируются в приповерхностных рыхлых отложениях в результате выветривания рудных залежей или первичных ореолов (рис. 3.2, *б*).

При этом объемы как первичных, так и вторичных ореолов в десятки раз больше, чем объёмы самих залежей. Поэтому если отбирать пробы грунта, воды или снега или даже растений, то в пределах ореолов рассеяния в них можно обнаружить повышенные концентрации этих элементов.

Поскольку процессы рассеяния вещества охватывают все геосферы Земли и протекают в различных фазах, то геохимические методы подразделяют на лито-, гидро-, био- и атмогеохимические.

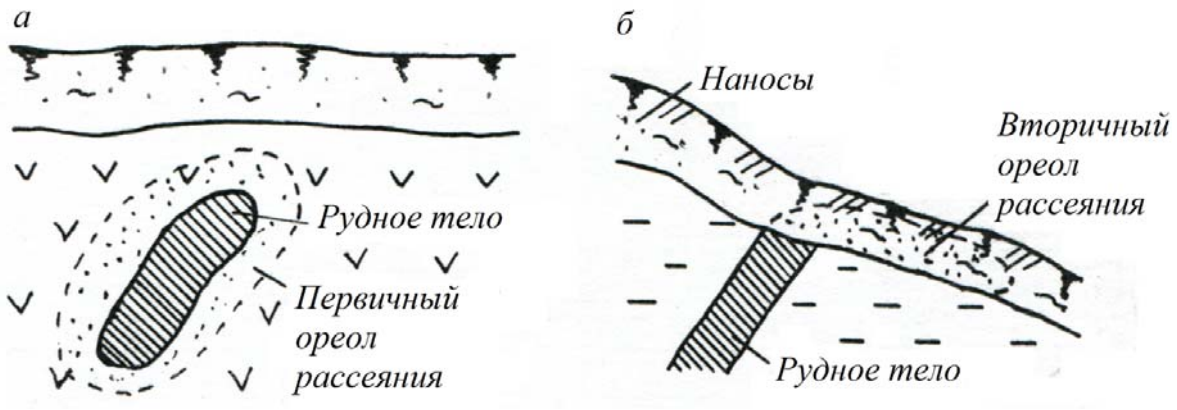


Рис. 3.2. Первичный (*а*) и вторичный (*б*) ореолы рассеяния рудного вещества

Для анализа отобранных проб наряду с химическими и спектральными методами применяют и современные ядерно-физические методы: рентгено-радиометрический анализ, метод нейтронной активации и др.

Геохимические методы впервые начали применяться в СССР.

В 1932 г. советским геофизиком Н. И. Сафроновым были теоретически предсказаны, а затем зафиксированы на практике повышенные концентрации цинка и свинца в почвах над полиметаллическими месторождениями Рудного Алтая.

В 1934 г. А. П. Соловов успешно провел аналогичные работы на олово на месторождении Хапчеранга в Восточном Забайкалье. Он же был инициатором литогеохимических съемок в Читинской области и в Казахстане.

В 1932 г. В. Н. Соколов начал разработку геохимических методов поисков нефти и газа (Вахромеев, 1988).

В конце 50-х годов прошлого века в Восточной Сибири применялся так называемый «контурный» метод поисков урановых месторождений. Метод заключался в отборе проб грунта на границах марей – обширных пойменных болот. Расчет строился на том, что уран, выносимый временными водными потоками, на границах марей, где окислительная среда сменяется на восстановительную, выпадает в осадок.

Всего в СССР с помощью геохимических методов были открыты более 100 рудных месторождений: меди, полиметаллов, золота, молибдена, урана.

Интересно знать, что за рубежом эти методы стали применяться намного позднее, чем в СССР.

В Канаде, в районе, где геологоразведочные работы велись непрерывно в течение 70 лет, было обнаружено крупное месторождение меди «Казино»; найдены полиметаллические руды в Ирландии и во Франции, открыты новые месторождения в Мексике, Египте, Иране и др. странах.

В Китайской Народной Республике в 90-х годах геохимической съемкой были покрыты огромные территории и выявлены несколько десятков месторождений золота с запасами свыше 100 т каждое (устное сообщение В. И. Лещикова, Уксоген-99).

В 60-х годах прошлого века появились электрохимические методы, в которых с помощью электрического тока стимулировалось движение ионов металлов к специальным электродам – элементоприемникам.

Пионерами этих методов были преподаватели кафедры рудной геофизики СГИ, профессора Г. П. Саковцев и А. А. Редозубов, доцент А. И. Соколова. В 1968 г. они получили авторское свидетельство на изобретение «Способ геохимических поисков колчеданных месторождений» (а. с. № 221977).

Позднее для подобных работ в Ленинграде был разработан метод ЧИМ (частичного извлечения металлов) и выпускалась соответствующая аппаратура.

В конце 90-х годов очень интересные исследования провел аспирант кафедры прикладной геофизики УГГГА О. Э. Локтионов. Он определял содержание тяжелых углеводородов в пробах снега, отобранных на поверхности земли над известными нефтяными месторождениями в Западной Сибири. Как оказалось, контуры нефтеносности совпадают с контурами аномалий повышенных содержаний тяжелых углеводородов в снегу над месторождениями.

Дистанционные методы

С помощью дистанционных методов ведут поиски полезных ископаемых и геологическое изучение поверхности и глубин Земли с летательных и космических аппаратов: самолетов, вертолетов, искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций.

Иногда эти методы называют дистанционным зондированием, поскольку обзор Земли с высоты несет и глубинную информацию, как это ни парадоксально. При наблюдении с высоты чехол рыхлых отложений оказывается как бы прозрачным, под ним хорошо видны тектонические нарушения, разломы, геологические структуры в коренных породах. Невольно вспомнишь поэта: «Лицом к лицу лица не увидать, большое видится на расстоянии…».

В настоящее время дистанционное зондирование дает важные сведения для многих отраслей геологии, геотектоники, геоморфологии, гидрогеологии, инженерной геологии, мерзлотоведения, а также для сельского хозяйства – прогноз ожидаемого урожая.

Современная аэрофотосъемка в черно-белом и цветном вариантах характеризуется исключительно высокой разрешающей способностью: на снимке, сделанном с высоты 10 км, видны шляпки гвоздей, которыми прибивают шифер на крышах. На снимках со спутников (высота от 200 до 500 км) уверенно распознаются объекты размеров около 1 м.

Сопоставляя снимки, сделанные в разное время, можно исследовать в динамике действие речных и морских вод, ветра, вулканов.

Помимо черно-белых и цветных съемок широко используется спектрозональное фотографирование на трёхслойную пленку, один из слоев которой чувствителен к инфракрасному излучению. ИК-съёмка фиксирует тепловые потоки, даже очень слабые, поэтому она используется для изучения вулканической деятельности, поисков подземных вод в засушливых районах, исследования ледников и поверхности Мирового океана. С помощью спутников строят карты распределения температур на поверхности Земли с точностью до десятых долей градуса.

Применяется также радиолокационная съемка в микроволновом диапазоне электромагнитного спектра. Её проводят в активном (радарная) и пассивном (радиотепловая) режимах. Её можно проводить в любое время суток, в облачную погоду и туман. С помощью отечественной системы «Торос» полуостров Таймыр был заснят всего за одну неделю. Обычная фотосъемка там практически невозможна, так как ясная погода там бывает 3-4 дня в году.

В арсенале дистанционных методов важное место занимают аэрогеофизические методы: магнитные, электрические, гамма-съемка.

Отличительная особенность дистанционных методов – их чрезвычайно высокая производительность. 5 минут многоканальной съемки из космоса могут дать столько же информации, сколько обычная полевая геолого-геофизическая партия за 10 лет работы.

Методы морской геологии и геофизики

Морская геология и геофизика возникли совсем недавно, в связи с поисками месторождений под дном морей и океанов. Для проведения геофизических работ в этих условиях необходимо решение двух специфических задач: обеспечение герметичности аппаратуры и организация телеуправления ею.

Пока широкое распространение в морской геофизике из всех геофизических методов получила только сейсморазведка.

Контрольные вопросы

1. Почему с течением времени поиски новых месторождений полезных ископаемых становятся всё более трудным делом?
2. Какие группы методов включают в себя поисково-разведочные работы?
3. Назовите несколько древнейших человеческих профессий?
4. Кто создал первую классификацию минералов? По какому признаку?
5. Назовите известные работы немецкого учёного Г. Агриколы, касающиеся геологии
6. Назовите труды по геологии, принадлежащие М. В. Ломоносову.
7. Кто считается основоположником современной геологии?
8. Назовите известных российских геологов.
9. Назовите инструменты и методы, находящиеся на вооружении геологов.
10. Проходка каких горных выработок производится при осуществлении технических методов?
11. Чем отличается штольня от шахты?
12. С какого времени люди применяют бурение?
13. Чем вращательное бурение отличается от ударного?
14. В чем преимущество турбинного бурения?
15. Чем разведочное бурение отличается от бурения скважин для добычи полезных ископаемых?
16. С какого времени стали применяться геофизические методы?
17. Назовите преимущества геофизических методов.
18. Как подразделяются геофизические методы?
19. В чём заключается сущность геохимических методов?
20. Назовите варианты геохимических съемок.
21. Каковы преимущества дистанционных методов?

Лекция 4

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВНУТРЕННЕМ СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ

Научно обоснованный поиск месторождений полезных ископаемых невозможен без знания внутреннего строения Земли, поскольку между глубинным строением Земли и процессами образования в ней полезных ископаемых существует очень тесная связь. Значительная часть месторождений формируется именно в глубинах Земли. Это и рудные пояса, и бассейны угленакопления, и, возможно, залежи нефти и газа.

О том, что Земля имеет форму шара, было известно еще со времен Древней Греции, но научно доказано это было только в XX веке. Правда, в последнее время выяснилось, что Земля не шар, а эллипсоид, сплюснутый в направлении оси вращения, так как полярный радиус Земли короче экваториального на 21,3 км, к тому же эллипсоид этот несколько грушевидный, поскольку Северный полюс приподнят относительно земного эллипсоида на 15 м, а Южный опущен на 20 м. Средний радиус Земли 6,38 тыс. км.

Земля как планета включает в себя несколько концентрических оболочек, как внутренних, так и наружных. К наружным относятся магнитосфера, атмосфера и гидросфера; к внутренним – земная кора, мантия и ядро.

Достоверных данных о глубинном строении Земли нет, так как непосредственному изучению доступен лишь очень тонкий приповерхностный слой, толщина которого не превышает 0,1-0,2 % земного радиуса.

Глубинное строение и состав Земли изучают только с помощью косвенных методов. Главный из них – сейсмический, основанный на измерении скорости упругих волн, возбуждаемых как землетрясениями, так и искусственными взрывами. Полезную информацию дает также гравиметрический метод, заключающийся в измерении силы тяжести на поверхности Земли.

Границы раздела между отдельными оболочками внутри Земли устанавливают по изменениям (скачкам) скорости упругих волн. Их глубины примерно 50, 900, 1800, 2900 и 5100 км.

Изменения же скорости упругих волн всецело зависят от вещественного состава, плотности и физического состояния среды.

Земная кора представляет собой тонкую твердую скорлупу Земли. Ее толщина составляет от 5 до 50 км. Минимальную толщину (5-10 км) земная кора имеет под океанами, максимальную (40-50 км) – под материками. Строение коры слоистое. В ней по сейсмическим данным выделяют 3 слоя: осадочный, гранитный и базальтовый. Названия «гранитный» и «базальтовый»

являются условными, так как состав этих оболочек установлен лишь на основе сопоставления скоростей упругих волн в них и в образцах горных пород соответствующих названий (гранитах и базальтах) (Горбачев, 1973). Под океанами гранитный слой отсутствует, а граница между гранитным и базальтовым слоями называется поверхностью Конрада и обозначается буквой «К» (рис. 4.1).

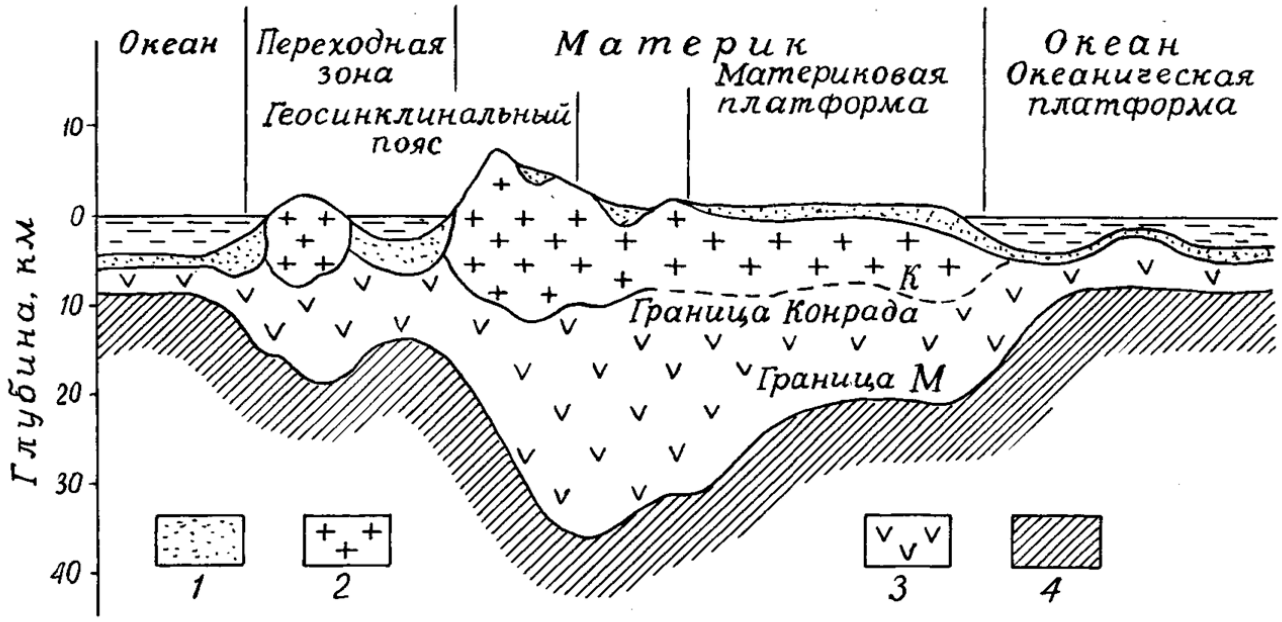


Рис. 4.1. Строение земной коры:
1 – осадочный слой; *2* – гранитный слой; *3* – базальтовый слой; *4* - мантия

Земная кора отделяется от нижележащей мантии поверхностью Мохоровичича*, на которой скорости упругих волн претерпевают скачок от 6-7,5 км/с в земной коре до 8 км/с в мантии. Эта поверхность обозначается буквой «М».

Мантия распространяется до глубины 2900 км. В пределах мантии скорость упругих волн плавно возрастает с 8 до 13,7 км/с, а плотность вещества от 3,3 до 5,7 г/см^3. Внутри мантии выделяют три слоя: верхнюю, среднюю и нижнюю мантию.

Верхняя поверхность верхней мантии неровная. Она поднимается под океанами и опускается под материками, неточно повторяя их контур в зеркальном отображении. Материки как бы плавают в верхней мантии.

---

*Эта поверхность получила такое название в честь югославского геофизика Андрея Мохоровичича, который первым обнаружил на ней скачок скорости упругих волн еще в 1909 году.

Между верхней и средней мантией на глубине 60-100 км располагается слой пониженной плотности, в котором скорость упругих волн уменьшается от 8-8,1 до 7,8 км/с. Этот слой называется **астеносферой,** или слоем Гутенберга. Нижняя граница астеносферы доходит до 300 км. Б. Гутенберг объясняет снижение скорости упругих волн в астеносфере наличием частично расплавленного и размягченного вещества мантии. При этом полагается, что верхняя часть мантии до поверхности астеносферы – твердая. К астеносфере приурочено большинство зарегистрированных землетрясений средней глубины. Считается, что именно в ней возникают магматические очаги, которые прорываются на поверхность как вулканы. Это наиболее вероятная зона проявления подкоровых конвекционных течений и зарождения вертикальных и горизонтальных движений земной коры.

Земную кору вместе с верхней мантией называют **литосферой,** или каменной оболочкой.

Средняя мантия, или слой Голицына, отличается особенно быстрым нарастанием плотности и скорости упругих волн. Она простирается от глубины 900 до 2900 км. Ниже идет ядро.

Ядро делится на внешнее и внутреннее, граница между которыми располагается на глубине 5100 км. Давление в ядре около 3,6 млн атм., температура до 5000 ^{o}C, плотность вещества по одним данным 13,5 г/см^3 (А. Алисон и Д. Палмер); по другим – до 17,9 г/см^3 (К. Буллен).

Внешнее ядро, по-видимому, находится в жидком состоянии, так как через него не проходят поперечные упругие волны. **Внутреннее ядро** – твердое. Полагают, что внешнее ядро представляет собой железо-никелевый расплав (рис. 4.2).

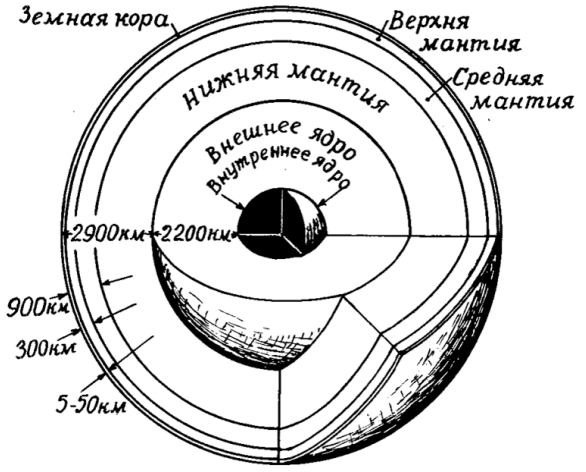


Рис. 4.2. Внутреннее строение Земли

В отношении химического состава ядра существует несколько точек зрения. Согласно одной из них, ядро, подобно метеоритам, состоит из железа и никеля; по другой – из силикатов железа и магния.

По третьей, самой последней, высокие температуры и давления в ядре приводят к тому, что электронные оболочки атомов разрушаются, ядра атомов сближаются между собой, вещество становится более плотным и насыщенным свободными электронами.

Полагают, что именно огромные кольцевые вихри свободных электронов в ядре Земли порождают её магнитное поле (гипотеза «земного динамо»).

С поверхности Земля имеет асимметричное строение: в северном полушарии преобладают материки, в южном – океаны. Материки и океаны – самые крупные тектонические элементы земной коры.

Материки имеют сложное геологическое строение. В их пределах выделяют древние ядра-**платформы** и обрамляющие их складчатые пояса, называемые **геосинклинальными областями.** Для геосинклинальных областей характерны накопление мощных осадочных толщ (до 20 км), развитие магматических процессов и вулканизма, высокая сейсмическая активность.

Складчатые сооружения подвижных поясов расчленяются **разломами**, т.е. крутопадающими разрывными структурами. Крупнейшие из них – глубинные разломы – имеют протяженность в несколько тысяч км и уходят корнями в мантию (пример – разлом Сан-Андреас в Калифорнии).

С момента образования горные породы подвергаются воздействию различных механических нагрузок, что, в зависимости от степени пластичности этих пород, приводит либо к разрывам и разломам, либо к пластическим складчатым деформациям. Наиболее распространены 2 вида складок: выпуклые, или **антиклинали,** и вогнутые, или **синклинали**. И те и другие бывают самых разных размеров и амплитуд.

Новая глобальная тектоника

В 60-70-х годах прошлого века было установлено, что внешняя оболочка твердой Земли – литосфера состоит из 6 крупных и нескольких мелких плит. Крупные несут на себе континенты Южной и Северной Америки, Евразию, Африку, Австралию, Антарктиду и большую часть Тихого океана. Эти плиты, имеющие толщину от 75 до 125 км, медленно перемещаются относительно друг друга. В зоне их соприкосновения возникают многочисленные землетрясения.

Ниже литосферы, как мы уже отмечали, располагается **астеносфера** (т. е. податливая сфера), где под действием тепла, поднимающегося из глубин Земли, горные породы частично переходят в расплавленное состояние. Об этом свидетельствует уменьшение скорости продольных волн V_p и их амплитуды.

Расплавленное вещество устремляется вверх и прорывает литосферу там, где она наиболее тонкая – под океаном. Вблизи поверхности дна океана расплавленный материал охлаждается и затвердевает, образуя так называемые «срединные океанические хребты». Для этих хребтов характерны горный рельеф и обилие разломов. Образующаяся в результате затвердевания расплавленного вещества горная порода расталкивает «половинки»

океанической плиты и их разные блоки в противоположных направлениях, и они «расползаются» со скоростью нескольких сантиметров в год. Такой процесс называется разрастанием морского дна, или **«спредингом»** (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Схема движения литосферных плит согласно «теории плит» (по А. Алисону и Д. Палмеру и др.)

Механизм этого процесса изучен пока недостаточно, но, видимо, имеет место какой-то вид конвекции больших объемов пластичного мантийного вещества. Подъем мантийного магматического вещества в срединно-океанических хребтах способствует образованию новой коры в месте раздвижения океанического дна. Так, раскол, на месте которого возник Срединно-Атлантический хребет, послужил началом образования впадины Атлантического океана и обусловил отделение Северной и Южной Америки от Евразии и Африки. Спрединг в стороны от хребта вызвал медленное расширение океана до его современных размеров.

Там, где края океанической плиты сталкиваются с соседней континентальной плитой, как происходит, например, у западных берегов Тихого океана, более тонкая океаническая плита загибается вниз, под континентальную плиту, в мантию Земли, образуя в морском дне глубоководный желоб в месте изгиба.

Зона погружения одной плиты под другую называется **зоной субдукции** (или зоной Беньоффа).

Холодная океаническая плита, двигаясь вниз, достигает глубины до 700 км и, вызывая на своем пути глубокофокусные землетрясения, затем окончательно поглощается мантией.

При этом осадочные отложения, скопившиеся на поверхности океанической коры, будучи достаточно мягкими, «сдираются»

континентальной корой и сминаются в складки, образуя горные сооружения, подобные Андам.

Таким образом, «тектоника плит» дает научное обоснование гипотезе А. Вегенера (1880-1930) о дрейфе континентов, которая была высказана еще в 1912 г.

Необходимо отметить, что новая теория глобальной тектоники базируется на данных, полученных главным образом, с помощью геофизических методов.

Контрольные вопросы

1. Какую форму имеет Земля? Чем эта форма отличается от шара?
2. Перечислите наружные оболочки Земли. Какая из них имеет наибольший объем?
3. На какую глубину Земля доступна для непосредственного изучения?
4. По каким данным люди узнают о глубинном строении Земли?
5. Перечислите внутренние оболочки Земли. Какова их толщина?
6. Каково строение земной коры?
7. Что такое поверхность Мохо, по каким данным она обнаруживается?
8. Из каких слоев состоит мантия?
9. Где располагается астеносфера? Какими особенностями она характеризуется?
10. Что такое литосфера?
11. Каково строение ядра Земли? Из чего оно состоит?
12. Какие температуры и давления существуют в ядре Земли?
13. Сколько крупных плит выделяют в строении литосферы?
14. Кто впервые выдвинул гипотезу «дрейфа континентов» и почему?
15. Что является причиной дрейфа континентов?
16. Какова скорость перемещения континентов?
17. Что такое «спрединг»?
18. Где располагаются зоны субдукции?
19. На основе каких данных базируется модель внутреннего строения Земли и «тектоника плит»?

Некоторые основные геологические и геофизические термины и понятия

Геологи и геофизики, так же как, например, медики и представители других профессий, пользуются достаточно сложной системой понятий, названия которых заимствованы из древнегреческого, латинского, английского и др. иностранных языков (Г. С. Вахромеев).

Освоение геологической терминологии – задача непростая. Достаточно сказать, что даже «Краткий геологический словарь для школьников» (М.: Недра, 1989) содержит свыше трех тысяч специальных терминов. По этой причине осваивать геологическую терминологию студенты будут на протяжении всего времени обучения в вузе. Ну, а поскольку основной принцип освоения – «повторенье – мать ученья» – не утратил своей силы и теперь, то чем раньше будет начато освоение специальной терминологии, тем лучше.

Часть понятий и терминов уже была определена нами ранее (минеральное сырье, полезные ископаемые, месторождение, спрединг, субдукция и некоторые др.), часть будет пояснена далее по мере продолжения нашего курса. Тем не менее имеет смысл повторить их в настоящем разделе.

Геология – наука о Земле. Термин образован из двух греческих слов. **Гея** – в древнегреческой мифологии богиня Земли; **logos** – означает учение, слово, понятие, мысль.

В современном понимании **геология** – это наука, которая занимается изучением, освоением и использованием земных недр (Ребрик, 1984).

Геология включает в себя ряд разделов, ставших в настоящее время самостоятельными науками. Это минералогия, петрография, историческая геология, структурная геология, динамическая геология, гидрогеология и инженерная геология, вулканология, геофизика и некоторые др.

Геофизика – наука о физических процессах и связанных с ними явлениях на Земле. Геофизика распадается на две ветви. Одна, условно называемая **«большой геофизикой»**, занимается физическими процессами и явлениями на Земле в целом. Другая – **«разведочная геофизика»** изучает различные физические поля Земли с целью поисков и разведки полезных ископаемых. Разведочная геофизика подразделяется на ряд отраслей, различающихся по природе исследуемых физических полей. Это магниторазведка, гравиразведка, электроразведка, сейсморазведка, радиометрия и ядерная геофизика, геофизические исследования скважин (ГИС).

Минерал – природное химическое соединение, образовавшееся в недрах или на поверхности Земли. Минерал может состоять и из одного химического элемента. Примером могут служить самородная сера, золото, медь, алмаз (С).

Примеры минералов: кварц (SiO_2), полевой шпат ($KNaAlSi_3O_8$), пирит (FeS_2), вода (H_2O) и др. Всего в настоящее время известно около 3 тысяч минералов.

Изучением минералов занимается наука **минералогия.**

Минералы подразделяют по химическому составу на окислы, силикаты, карбонаты, сульфиды и т. д.; по облику их кристаллов – на категории (сингонии): кубическую, тетрагональную, трехклинную, моноклинную и др.

Кроме того, все минералы подразделяют на 2 большие группы: породообразующие и рудные. Из **рудных** выплавляют металлы, а **породообразующие** создают горные породы.

Примеры рудных минералов: пирит (FeS_2), халькопирит ($CuFeS_2$), магнетит (Fe_3O_4), рутил (TiO_2).

Примеры породообразующих: кварц, полевой шпат, слюды, пироксены, амфиболы и др.

Горная порода – агрегат минералов более или менее постоянного состава. Например, гранит. Где бы он ни находился: на Урале, в Карелии или на Аляске – у него всегда один и тот же состав: примерно 65 % полевых шпатов, около 30 % кварца и 5-10 % темноцветных минералов (слюды, амфиболов или пироксенов).

Горные породы могут состоять и из одного минерала, как, например, кварцит, пироксенит, сильвинит (KCl).

Состав и облик горных пород изучает наука **петрография** (от греческого **петрос**, что означает «камень»).

В зависимости от способа образования горные породы подразделяют на осадочные, магматические и метаморфические.

Осадочные горные породы – вторичные, они формируются в результате разрушения других, монолитных горных пород под действием процессов выветривания и последующего переноса и переотложения продуктов выветривания ветром или водой рек, озер и океанов. Основные разновидности осадочных пород – песчаник, глина, алевролит, известняк.

Магматические горные породы – первичные, они образовались при остывании и кристаллизации магмы. Они, в свою очередь, подразделяются на **интрузивные**, образовавшиеся на большой глубине при медленном остывании магмы, и **эффузивные** (излившиеся), которые образуются при сравнительно быстром затвердевании магмы в приповерхностных условиях. В зависимости от условий кристаллизации при одном и том же составе горные породы имеют разный облик и разные названия. Каждая интрузивная порода имеет свой эффузивный аналог: гранит – липарит, габбро – базальт и т. д.

Интрузивные породы сплошь кристаллические, из-за медленного остывания все минералы в них успели приобрести кристаллический облик; эффузивные обычно состоят из стекловидной общей массы, в которой заметны отдельные зерна – кристаллы минералов.

Метаморфические породы – значит преобразованные (**метаморфоза** по-гречески «превращение»). Они формируются как из осадочных, так и из магматических пород под действием высоких температур и давлений, а также привноса вещества. Примеры: глинистые и кристаллические сланцы, мрамор, гнейс. Гнейс по составу идентичен граниту, но имеет совсем другой облик: он, в отличие от гранита, рассланцован.

Все кристаллические породы (и интрузивные, и эффузивные, и метаморфические) подразделяют по содержанию кремнекислоты (SiO_2) на **кислые** (граниты, гранодиориты, липариты, дациты) с содержанием кремнекислоты от 65 % и более, **средние** – с содержанием кремнекислоты около 60 %, **основные**, которые содержат не более 50-55 % кремнезема, и **ультраосновные**, характеризующиеся самым низким (около 45 %) содержанием кремнекислоты (пироксениты, амфиболиты, дуниты, перидотиты).

Полезные ископаемые – минеральные образования, которые благодаря своему химическому составу и физическим свойствам могут быть эффективно использованы в сфере материального производства. Виды полезных ископаемых были рассмотрены в лекции № 1.

Интересно, что по мере развития науки и технологий обычные горные породы могут переходить в категорию полезных ископаемых. Так, например, случилось с бокситами, которые стали рассматриваться как полезное ископаемое только после того, как была разработана технология получения из них алюминия.

Руда – агрегат минералов, из которого технологически возможно и экономически выгодно извлекать металлы или их соединения. Например, вышеупомянутый боксит – это алюминиевая руда, медная колчеданная руда – это обычно сложные агрегаты минералов, но обязательно с содержанием соединений меди, например халькопирита ($CuFeS_2$).

Месторождение – природное скопление полезного ископаемого, условия залегания и запасы которого обусловливают целесообразность его разработки. По содержанию полезного компонента месторождения подразделяют на богатые, рядовые и бедные, а по запасам – на уникальные, крупные, средние, мелкие.

Уникальных месторождений на Земле бывают единицы, крупнейших – десятки, средних и мелких – много. К числу уникальных относятся, например,

Самотлорское месторождение нефти в Западной Сибири, Курская магнитная аномалия (месторождение железа), золоторудное месторождение Витватерсранд (ЮАР) – оно обеспечивает 75 % ежегодного производства этого металла в мире.

Месторождения подразделяются по сложности обнаружения на легко- и трудноотрываемые. Первые – это неглубокие, выходящие на поверхности или под наносы. Они почти все уже открыты, и новые открытия таких месторождений случаются крайне редко. В качестве примера можно назвать Сафьяновское медноколчеданное месторождение в районе г. Реж (Свердл. обл.).

Трудноотрываемые залегают на больших глубинах, под толщей перекрывающих их пород. Открытие и разведка таких месторождений – это основная задача специалистов по технологиям геологической разведки.

Рудопроявление – скопление полезного ископаемого непромышленных или невыясненных запасов.

Аналогично – нефтепроявление, углепроявление, водопроявление.

Обнажение – выход горных пород на поверхность. Обнажений много в горах, но очень мало в равнинной местности. Здесь их нужно искать на крутых берегах рек, склонах оврагов или создавать искусственно.

Структура – массив слоёв горных пород определенной формы, возникшей в результате деформации земной коры.

Антиклиналь – выпуклая складка. В ядре антиклинали располагаются более древние горные породы. К антиклинальным складкам проницаемых пород приурочены месторождения нефти и газа.

Синклиналь – вогнутая складка. В ядре синклинали располагаются более молодые горные породы. С синклинальными структурами бывают связаны залежи ископаемых углей.

Элементы залегания – это простирание и падение.

Простирание – направление горизонтальной линии, лежащей в плоскости пласта, характеризуется азимутом простирания.

Падение – линия, лежащая в плоскости пласта, направленная перпендикулярно простиранию, характеризуется азимутом и углом падения.

Мощность – это толщина пластов, рудных и нефтяных залежей.

Нормальное поле – геофизический термин, означающий уровень физического поля без каких-либо отклонений от нормы.

Аномалия – также геофизический термин. Дословно – отклонение от нормы.

И аномалии, и нормальные поля носят относительный характер.

Возникновение геофизических аномалий обусловливается действием одной из двух причин: либо наличием геологических объектов, создающих

естественные физические поля (магнетитовых залежей, создающих магнитные и гравитационные аномалии, колчеданных рудных тел, создающих аномалии естественного электрического поля в результате окисления рудных минералов, залежей радиоактивных руд, сопровождающихся полями повышенного гамма-излучения и пр.); либо наличием геологических объектов, вызывающих искажения **искусственных** физических полей (например, кварцевые жилы препятствуют распространению электрического поля, литологические границы отражают и преломляют упругие волны и т. п.).

Источник аномалии называется **возмущающим** объектом.

Аномалии бывают положительными и отрицательными. Например, положительные аномалии силы тяжести бывают связаны с рудными залежами, которые характеризуются повышенной плотностью; отрицательные – с угольными месторождениями, поскольку угли имеют меньшую плотность, чем вмещающие породы.

По занимаемой площади аномалии подразделяют на локальные, региональные и материковые. Материковые соизмеримы по площади с материками (пример – Восточно-Сибирская магнитная аномалия, связанная с базальтовыми траппами). Региональные аномалии имеют несколько меньшую площадь (пример – Курская магнитная аномалия, которая захватывает большую часть Курской и Белгородской областей). Локальные аномалии бывают связаны с отдельными рудными телами или угольными залежами. Пример сочетания региональной и локальных аномалий приведен на рис. 6.9.

Наличие локальной аномалии физического поля – надежный поисковый признак месторождения или, по меньшей мере, рудопроявления.

Прямая задача геофизики – расчет аномалии физического поля по заданным параметрам возмущающего объекта: его размерам, физическим свойствам, условиям залегания (глубине от поверхности земли, углу падения, мощности и пр.).

Решение прямой задачи необходимо для выбора густоты сети точек наблюдения, точности измерений, соответствующей аппаратуры.

Обратная задача геофизики – расчет параметров возмущающего объекта по наблюденным аномалиям физических полей. К сожалению, решение обратной задачи зачастую оказывается неоднозначным, так как одинаковые аномалии могут быть созданы разными объектами, например, крупным объектом, залегающим на большой глубине, или мелким, залегающим близко к поверхности.

Интерпретация – одно из «ключевых» слов геофизической разведки, означающее процесс решения обратной задачи.

Интерпретация может выполняться ручным или машинным способом. В последнем случае параметры возмущающегося объекта рассчитываются или подбираются ЭВМ по заранее разработанной программе.

Лекция 5

ГРАВИРАЗВЕДКА

Название этой отрасли разведочной геофизики происходит от латинского слова gravis, что означает «сила тяжести», и заключается гравиразведка в измерении естественного поля силы тяжести.

Силой тяжести G называют равнодействующую двух сил – силы притяжения всей массы Земли F и центробежной силы C, возникающей в результате вращения Земли (рис. 5.1).

Как известно из физики, сила притяжения всей массы Земли M тела массой m, находящегося на поверхности Земли:

$$F = f\frac{mM}{R^2}, \tag{5.1}$$

где R – радиус Земли;

F – гравитационная постоянная, $f = 6{,}67\cdot10^{-11}$ м$^2\cdot$Н/кг^2.

Центробежная сила C, действующая на то же тело:

$$C = mr\omega^2 = \frac{mV^2}{r}, \tag{5.2}$$

где ω – угловая, а V – линейная скорость вращения;

r – радиус, перпендикулярный оси вращения.

Направлена центробежная сила по радиусу вращения от оси вращения, как показано на рис. 5.1.

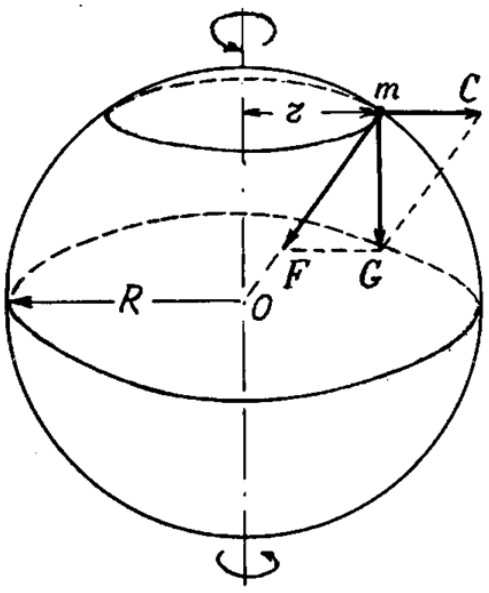


Рис. 5.1. Сила тяжести и ее составляющие

На полюсах Земли сила C = 0, а на экваторе эта сила имеет наибольшее значение: $C = \frac{F}{288}$. Это означает, что сила тяжести почти целиком определяется силой притяжения: $G \approx F$, а ускорение свободного падения, согласно второму закону Ньютона, $g = \frac{G}{m}$.

Гравитационное поле в каждой точке Земли характеризуется силой, дейст-вующей на единицу массы, следовательно, при m = 1 $g = G$. По этой причине в гравиразведке силу тяжести измеряют величиной ускорения свободного падения g. Единица измерения g

в честь великого итальянского ученого Г. Галилея называется Гал. 1 Гал = 1 см/с^2 = 1000 мГал.

Из-за того, что полярный радиус Земли короче экваториального, на полюсах g = 983,2 Гал, а на экваторе g = 978,0 Гал.

Из-за этого, кстати, развитые в техническом отношении страны стремятся размещать свои космодромы по возможности ближе к экватору.

Таким образом, нормальное значение силы тяжести g_0 зависит от географической широты местности φ:

$$g_0 = g_э (1+\beta \cdot \sin^2\varphi), \qquad (5.3)$$

где β – коэффициент, зависящий от угловой скорости вращения Земли и сжатия земного сфероида. Эта формула (5.3) была получена французским физиком А. К. Клеро еще в XVIII в.

Разность между измеренными и нормальными значениями дает **аномалии силы тяжести** $\Delta g = g_{изм} - g_0$. Но перед вычислением Δg в измеренные значения вводят поправки за **высоту** точки измерения над уровнем океана, за **притяжение промежуточного слоя**, находящегося между точкой наблюдения и уровнем океана, а также за **рельеф** местности.

Из истории гравиметрии

Еще в IV в. до нашей эры выдающийся греческий ученый Аристотель, не проводя никаких опытов, пришел к ошибочному заключению о том, что чем тяжелее тело, тем быстрее оно в свободном падении достигает земли. Поскольку слава Аристотеля как ученого была очень велика, то считалось недопустимым обсуждать его утверждения (Иванов, 1971). И даже в средние века полагали, что для того чтобы стать ученым, нужно наизусть знать Аристотеля.

И только профессор Пизанского университета в Италии Г. Галилей (1564-1642)* осмелился заняться экспериментальной проверкой утверждения Аристотеля. В присутствии настроенных против него профессоров и студентов он столкнул с вершины «падающей» Пизанской башни (высота 56 м) одновременно большое пушечное ядро и маленькую пулю от мушкета.

Оба тела достигли земли одновременно, что доказывало независимость скорости падения от массы тела.

Интересно, что Галилей пришел к такому заключению еще до опыта, чисто умозрительным путем.

---

*Галилео Галилей с 1589 по 1592 гг. заведовал кафедрой математики в Пизанском университете, потом перешел в г. Падую на ту же должность.

Он рассуждал так. Допустим, Аристотель прав. Возьмем два тела: одно легкое, другое тяжелое. Скрепим их вместе. С одной стороны, легкое тело должно тормозить более тяжелое, и вместе они должны падать медленнее. С другой стороны, скрепив два тела вместе, мы получим новое тело, еще более тяжелое, чем было у нас. И, согласно Аристотелю, это тело должно падать быстрее!

Получается парадокс! Парадокс разрешается, если допустить, что все тела, независимо от их массы (или веса), падают с одинаковой скоростью.

Измеряя время скатывания шариков по наклонной плоскости, Галилей вычислил ускорение свободного падения g, он же открыл известные в настоящее время из школьного курса физики законы свободного падения тел:

$$V = gt \text{ и } H = \frac{gt^2}{2},$$

где V – скорость, достигаемая телом при падении за время t, а H – расстояние, пройденное телом за это время (1638).

В 1673 г. голландский ученый Х. Гюйгенс (1629-1695) разработал теорию математического маятника и дал метод определения ускорения силы тяжести по измерениям периода его колебаний:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \qquad (5.4)$$

где l – длина маятника;

g – ускорение свободного падения.

В 1686 г. И. Ньютон (1643-1727) сформулировал основные принципы механики и открыл закон всемирного тяготения (5.1). Выяснилось, что очень многие явления (падение тел на Землю, движение луны, морские приливы, траектория полета пушечного ядра и др.) подчиняются одному и тому же закону природы – закону всемирного тяготения (Иванов, 1971).

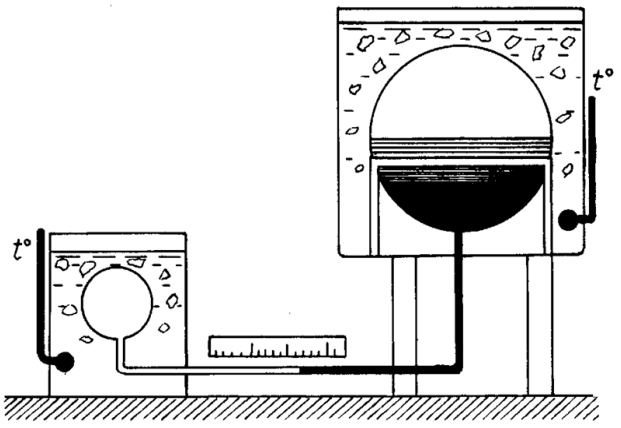


Рис. 5.2. «Универсальный барометр» М. В. Ломоносова

В 1798 г. английский физик Г. Кавендиш (1731-1810) опытным путем с помощью крутильных весов определил значение гравитационной постоянной, а затем рассчитал массу Земли ($6 \cdot 10^{24}$ кг) и среднее значение её плотности (σ = 5,52 г/см^3).

Интересный гравиметр был предложен М. В. Ломоносовым. В 1749 г. Ломоносов доложил об этом приборе, названном им «универсальным барометром», на собрании Российской академии наук. Этот прибор состоял из двух стеклянных сфер, соединенных тонкой стеклянной трубкой, как это показано на рис. 5.2. Верхняя сфера, имеющая диаметр около 80 см, была примерно до половины объема заполнена ртутью, нижняя сфера диаметром около 25 мм заполнена воздухом. Сила тяжести, действующая на ртуть, уравновешивалась силой сжатого воздуха в маленькой сфере. Напротив среднего, горизонтального участка стеклянной трубки располагалась шкала с делениями. Для исключения влияния температуры на результаты измерений обе сферы были помещены в сосуды с битым льдом. Изменения силы тяжести приводили к перемещению границы «ртуть-воздух» в трубке, и это перемещение легко было зафиксировать по шкале. По расчетам Михаила Васильевича, мениск ртути в трубке сдвигался на величину, в 20000 раз большую, чем изменялся уровень ртути в большей сфере. Ломоносов пытался с помощью этого прибора «засечь» притяжение Луны, но из-за недостаточной точности прибора сделать это не удалось.

Первые систематические измерения силы тяжести с помощью маятниковых приборов были выполнены в XIX в. как в России, так и в зарубежных странах.

К пионерам гравиметрии относится русский ученый Ф. П. Литке (1797-1882). В 1826-1829 гг. он участвовал в кругосветном путешествии на военном шлюпе «Сенявин». Во время этого путешествия он провел серию высокоточных измерений: магнитных, барометрических, астрономических, гравитационных.

На основании гравитационных измерений Литке сделал вывод о влиянии на поле силы тяжести и форму Земли неоднородностей геологического строения земной коры.

В 1896 г. венгерским физиком Л. Этвешем (1848-1919) был разработан высокочувствительный прибор, названный гравитационным вариометром. Прибор позволял определять даже небольшие изменения силы тяжести в горизонтальной плоскости.

В честь этого ученого была названа единица градиента силы тяжести – этвеш ($1E = 1 \cdot 10^{-9}$ с$^{-2}$).

Этвеш также установил, что от гравитационных сил невозможно защититься каким-либо экраном.

Многие ученые пытались экспериментально обнаружить разницу в притяжении к Земле одинаковых по массе и форме тел из разных материалов, но выявить такую разницу не удалось.

Как не удалось до сих пор и объяснить физическую природу гравитационных сил.

Плотность горных пород

Единственный физический параметр, от которого зависят аномалии силы тяжести Δg, – это плотность. Чем больше разница в плотности возмущающего объекта и вмещающих пород, тем больше аномалия силы тяжести. По этой причине для интерпретации силы тяжести необходимо знать плотность и возмущающего объекта, и вмещающей среды.

Плотность геологических образований зависит от их химического и минерального состава, а также от пористости и характера заполнения пор.

Пористость магматических пород невелика, и потому их плотность определяется, главным образом, составом и растет от кислых пород к основным.

Таблица 5.1

Плотность горных пород и полезных ископаемых (Успенский, 1968)

Порода, полезное ископаемое	**Плотность, г/см^3**
Магматические породы:	
– гранит	2,53-2,70
– габбро	2,85-3,05
– перидотит	2,88-3,29
– базальт	2,22-2,95
Осадочные породы:	
– глины	1,20-2,40
– песчаники	2,50-2,65
– известняки	2,60-2,70
Полезные ископаемые:	
– руды металлов	3,3-5,5
– каменная соль	2,12-2,22
– угли	1,15-1,75
– нефть	0,7-0,9
– вода	1,0
Земная кора в среднем	2,67
Вещество Земли в среднем	5,52
Ядро Земли	13,5

Из геологических факторов на аномалии Δg влияют размеры возмущающих объектов, их геометрическая форма и элементы залегания.

Измерение силы тяжести

Методы измерения силы тяжести подразделяют на динамические, в которых наблюдается движение груза в поле силы тяжести, и статические, в которых измеряется растяжение упругого элемента под действием подвешенного на нем груза.

Измерения силы тяжести могут быть как абсолютными, так и относительными.

При абсолютных измерениях на каждой точке наблюдения определяют полное или абсолютное значение силы тяжести $g_{изм}$, при относительных – приращение силы тяжести Δg по сравнению с ее значением на какой-то исходной (или контрольной точке).

По конструктивным признакам могут быть выделены:

– маятниковые гравиметры;

– гравиметры типа пружинных или крутильных весов;

– струнные гравиметры;

– гравитационные вариометры.

В маятниковых гравиметрах экспериментально определяют период качания маятника и из формулы (5.4) рассчитывают ускорение свободного падения $g_{изм}$.

Сложность измерений силы тяжести маятниковыми приборами заключается в том, что период колебаний и длина маятника должны быть измерены с очень высокой точностью, а именно период колебаний – с точностью до 10^{-7} с, а длина маятника – до 0,001 мм.

В настоящее время измерения силы тяжести с помощью маятниковых приборов выполняют лишь в обсерваториях и на контрольных пунктах (КП).

Гравиметры типа пружинных весов основаны на измерении растяжения пружины под действием веса грузика (рис. 5.3). Такие гравиметры применяют для относительных измерений силы тяжести.

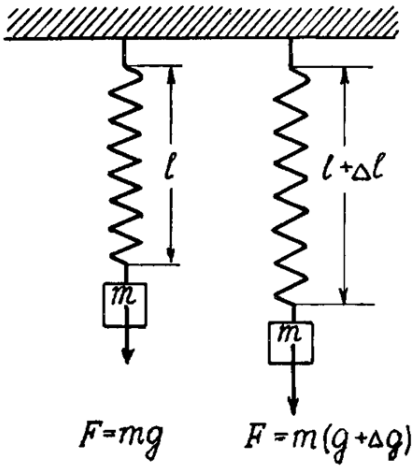


Рис. 5.3. Принцип действия гравиметра типа пружинных весов

Пружины изготавливают либо из металла с очень малым коэффициентом температурного расширения, либо из кварца.

На рис. 5.4 представлена чувствительная система кварцевого гравиметра типа ГАК. На кварцевой рамке *1* натянута

закрученная кварцевая нить *2*. На нити подвешен рычаг *3* с грузиком *4* и зеркальцем на конце. Рядом с зеркальцем грузика закреплено неподвижное зеркальце *5*. При изменении силы тяжести, действующей на грузик *4*, меняется наклон рычага *3*, который возвращают к исходному горизонтальному положению, меняя натяжение компенсирующей пружины *6*, прикрепленной к дополнительному рычагу *8*. За положением подвижного зеркальца следят с помощью специальной оптической системы, а натяжение компенсирующей пружины изменяют за счет поворота микрометренного винта *7*. Винт снабжен специальным измерителем его поворота, отсчет которого и служит мерой измеряемой силы тяжести.

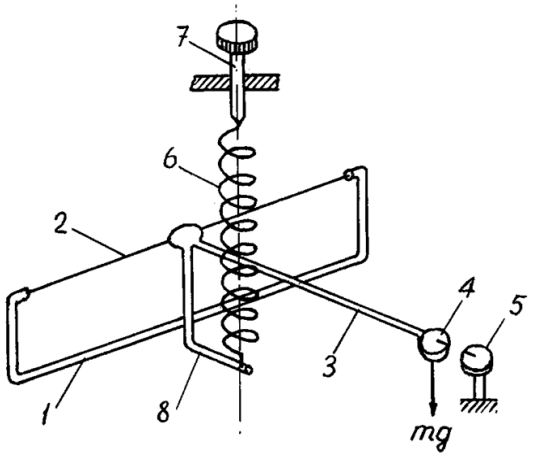


Рис. 5.4. Чувствительная система гравиметра ГАК:
1 – кварцевая рамка; *2* – закрученная кварцевая нить; *3* – коромысло; *4* – грузик; *5* – индикатор горизонтального положения коромысла; *6* – компенсирующая кварцевая пружина; *7* – микрометренный винт; *8* – дополнительный рычаг для крепления компенсирующей пружины

В струнных гравиметрах грузик подвешивают на тонкой металлической нити (струне), о натяжении которой судят по частоте возбуждаемых в ней поперечных колебаний (И. Г. Сковородников).

Гравитационные вариометры служат для измерения градиента силы тяжести. Чувствительная система вариометра представляет собой крутильные весы, которые содержат коромысло *1* с двумя одинаковыми грузиками *2* на концах, подвешенное на упругой нити. Под воздействием неравномерного поля тяготения коромысло поворачивается, закручивая нить на определенный угол. Для измерения градиентов силы тяжести по разным направлениям закручивание нити измеряют при нескольких ориентировках коромысла. На рис. 5.5 представлены несколько видов крутильных весов.

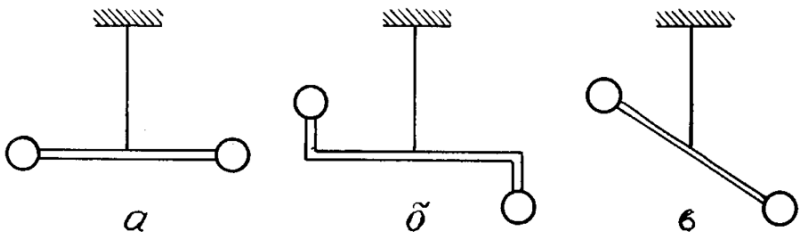


Рис. 5.5. Виды крутильных весов: *а* – весы Кавендиша; *б* – крутильные весы вариометра Z-40; *в* – то же вариометра S-20

Методика гравиметрических работ

Основным видом гравиметрических работ является площадная съемка. Выбор густоты точек наблюдения зависит от масштаба съемки, характера поля силы тяжести, ожидаемой глубины и размеров разведываемых геологических объектов. Оптимальное расстояние между точками наблюдения на профиле должно быть в 1,5-3 раза меньше предполагаемой глубины залегания, а расстояние между профилями – примерно вдвое меньше протяженности объекта поисков. Ориентируются профили «вкрест» простирания пород или предполагаемых объектов поисков.

При методике однократных поисков ежедневная работа должна начинаться и заканчиваться на одной и той же точке.

Расхождение в результатах – невязка – «разбрасывается» так же, как это делается при нивелировке.

Точность наблюдений проверяется при помощи контрольных измерений, объем которых обычно около 10 % от объема основных.

Результаты измерений представляют в виде графиков Δg по профилям наблюдений и планов изоаномал по площади исследований.

Области применения гравиразведки и решаемые ею задачи

Изучение глубинного строения Земли по данным гравиметрии возможно вследствие того, что Земля как планета сформировалась под влиянием сил тяготения. Именно под действием силы тяжести наиболее тяжелые элементы сконцентрировались в глубоких частях планеты, и наиболее легкие – в приповерхностных слоях. Сила тяжести обусловила то, что внутри Земля состоит из отдельных концентрических оболочек. Плотность этих оболочек рассчитана методом подбора на основе анализа приливных вариаций силы тяжести. На границах земной коры, мантии, внешнего и внутреннего ядра плотность претерпевает скачкообразные изменения, а внутри этих

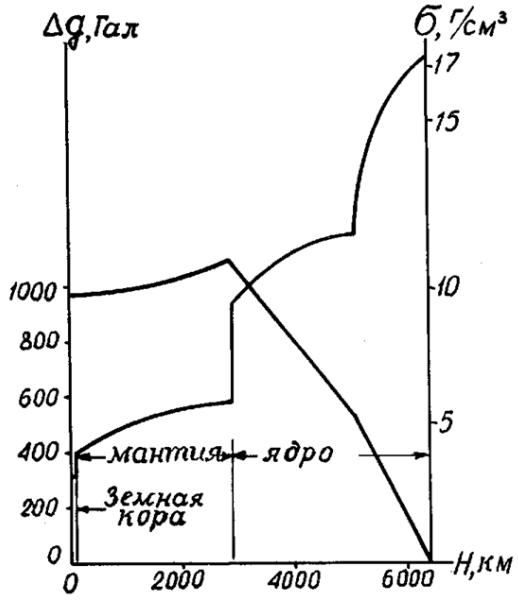


Рис. 5.6. Распределение плотности и силы тяжести по внутренним оболочкам Земли

оболочек изменяется плавно, увеличиваясь по мере приближения к центру Земли, как это показано на рис. 5.6.

Исследование структуры земной коры. Подошва земной коры – граница Мохоровичича была обнаружена по скачку скорости упругих волн от 6-6,7 до 7,5-8,3 км/с, но она характеризуется и скачком плотности от 2,8-3,0 г/см^3 в земной коре до 3,1-3,3 г/см^3 – в верхней мантии. Из-за этого скачка плотности распределение силы тяжести на поверхности отражает форму границы Мохо. А именно устанавливается следующая зависимость между мощностью земной коры и аномалиями силы тяжести (Δg): в геосинклинальных областях, где мощность коры велика, отмечаются интенсивные отрицательные аномалии Δg, платформы характеризуются близкими к 0 значениями Δg, а океаны – большими положительными аномалиями Δg, как это показано на рис. 5.7.

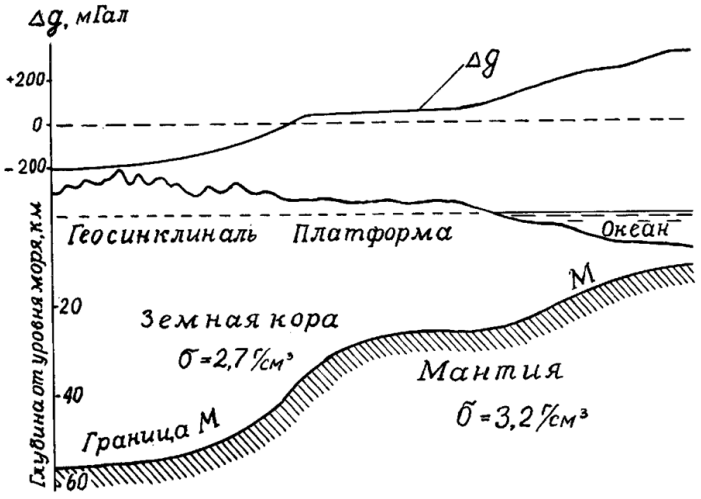


Рис. 5.7. Зависимость силы тяжести от глубины и формы поверхности Мохоровичича

Решение задач геологической разведки

Поиски месторождений нефти и газа – важнейшая практическая задача гравиразведки. Гравиразведка (в комплексе с сейсмо- и электроразведкой) позволяет обнаруживать куполообразные структуры, способные вмещать нефтяные и газовые залежи, хотя и не дает информации о степени их нефтегазонасыщенности.

Антиклинальные складки выделяются положительными аномалиями Δg в силу того, что в ядре их залегают более древние породы, чем перекрывающие их более молодые образования. Иногда эти складки облекают выступы кристаллического фундамента (рис. 5.8, *а*).

В случае, если антиклинальные складки образуются над соляными куполами, им соответствуют отрицательные аномалии Δg (рис. 5.8, *в*), потому что каменная соль имеет меньшую плотность, чем перекрывающие ее обломочные горные породы (см. табл. 5.1).

Поиски месторождений ископаемых углей, по данным гравиразведки, основаны на том, что угольные залежи обычно образуются в результате того, что растительные остатки заполняют депрессии в фундаменте кристаллических пород, плотность которых выше, чем плотность осадочных пород (рис. 5.8, *б*). К тому же и сами угли имеют пониженную плотность.

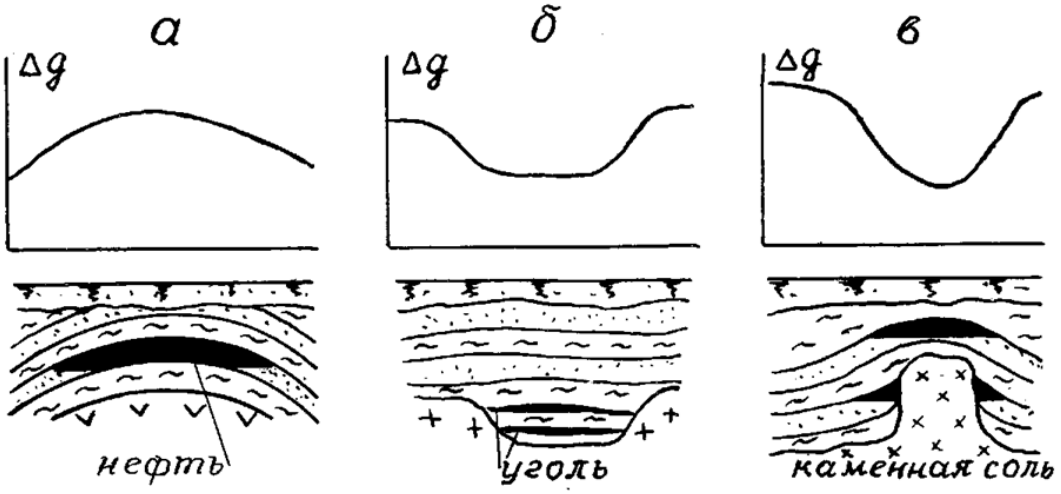


Рис. 5.8. Аномалии силы тяжести над различными геологическими структурами.
а – антиклинальная складка; *б* – депрессия в кристаллическом фундаменте; *в* – соляной купол

Поиски рудных месторождений базируются на том, что руды металлов (см. табл. 5.1) имеют значительно более высокую плотность, чем вмещающие их горные породы. Рудные тела выделяются положительными аномалиями Δg, интенсивность которых зависит от размеров рудных тел и от глубины залегания.

Гравиразведка успешно применяется для проверки и классификации аномалий электрической разведки (на рудные и нерудные).

Очень показателен пример применения гравитационной вариометрии на Сибайском медноколчеданном месторождении на Урале, описанный в книге К. П. Соколова (1966). Месторождение было открыто по данным электрической разведки. При проверке электроразведочных аномалий бурением было выявлено крупное рудное тело I (рис. 5.9). Несколько позднее на месторождении были проведены измерения с гравитационным вариометром (кривая *4*). А когда рассчитали аномалию градиента Δg от вскрытого рудного тела (кривая *5*) и сравнили ее с наблюденной кривой, то получили значительное расхождение аномалий, которое позволило сделать вывод о том, что ниже вскрытого тела находится еще одно рудное тело II, имеющее размеры, не уступающие первому телу. Дальнейшая разведка месторождения бурением подтвердила это заключение. Запасы месторождений были увеличены более чем в 2 раза.

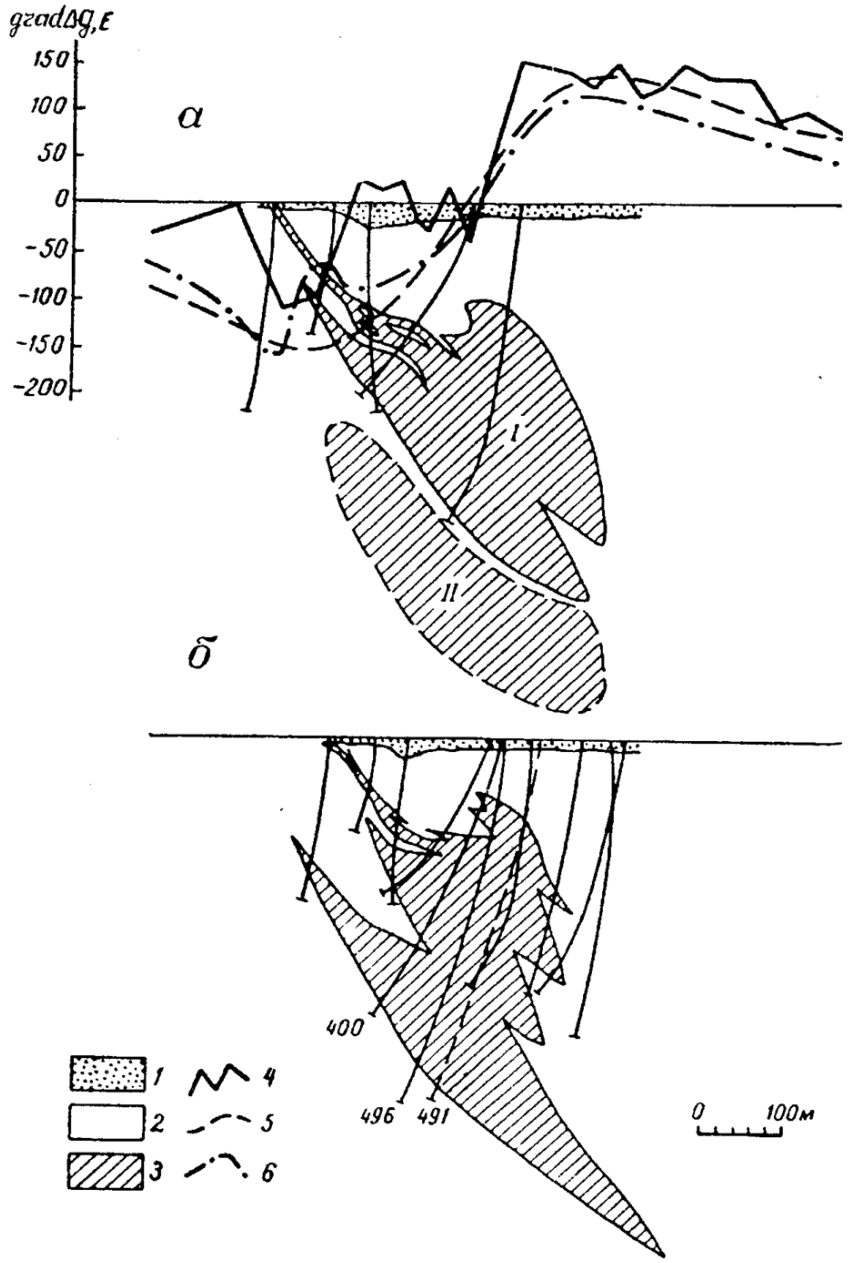


Рис. 5.9. Пример выявления глубокозалегающей линзы медноколчеданных руд по данным гравитационной вариометрии, по (Ярош и др., 1957):

1 – наносы; *2* – вмещающие породы; *3* – руда; *4* – наблюденный график градиента Δg; *5* – график, вычисленный для известной линзы I; *6* – то же для известной линзы I и предполагаемой линзы II.

а – разрез до постановки вариометрии; *б* – окончательный разрез

Исследование ледников Антарктиды и Гренландии имеет целью определение толщины ледяного покрова и рельефа коренных пород. Применение гравиразведки базируется на разности в плотности льда (0,92 г/см^3) и подстилающих его горных пород (2,6-3,0 г/см^3).

Решение этой задачи имеет не только практическое, но и научное значение, так как, по мнению некоторых ученых (Хэнкок, 1998), подо льдом Антарктиды может скрываться «затонувшая» Атлантида.

Исследование акваторий и морского дна с целью поисков нефтегазоносных структур получает все большее распространение. Здесь данные гравиразведки дополняют результаты сейсмических исследований. Кроме того, вместе с магнитными методами гравиметрия применяется для изучения срединных океанических хребтов.

И, наконец, гравиметровые измерения на акваториях проводятся в военных целях: для точного наведения межконтинентальных баллистических ракет сила тяжести на траектории полета должна быть известна с точностью до 1 мГал.

Специально для измерения силы тяжести на подводных лодках в Соединенных Штатах был сконструирован гравиметр струнного типа.

Контрольные вопросы

1. Поясните происхождение термина «гравиметрия».
2. Что называется силой тяжести?
3. Где сила тяжести больше: на полюсах или на экваторе Земли?
4. Чему равен 1 мГал?
5. Напишите формулу закона всемирного тяготения.
6. Что такое аномалия силы тяжести?
7. Какие поправки вводят в результате измерения силы тяжести?
8. Какие магматические породы обладают большей плотностью: кислые или основные?
9. Какие аномалии силы тяжести и почему создают залежи ископаемых углей? Какие – рудные залежи?
10. Какие типы приборов для измерения силы тяжести Вам известны?
11. Какие задачи «большой геофизики» решаются с помощью гравиметрии?
12. Какие задачи решает гравиразведка?

Лекция 6

МАГНИТОРАЗВЕДКА

История изучения магнитного поля Земли

Магнитные свойства железной руды – магнетита и существование земного магнитного поля известны человеку с глубокой древности.

Древний китайский историк Су-Матзян свыше 2000 лет тому назад собрал наиболее надежные отрывки из старых летописей. Он рассказал о том, что 1100 лет до н. э. послы правителя Вьетнама были направлены к китайскому императору Чеу-Куну. «Поскольку путь очень долог, горы высоки, а реки глубоки, один посол мог и не достигнуть места назначения,– говорит летописец,– поэтому из предосторожности было направлено три посла независимо друг от друга». Всем удалось добраться до китайской столицы и выполнить свою миссию. После торжественных приёмов послы отправились во Вьетнам, заблудились и были вынуждены вернуться. Император Чеу-Кун подарил им пять дорожных колесниц с указателями направления на юг. С помощью этих колесниц, которые всё время шли впереди и указывали правильное направление, послы вернулись на родину (Иванов, 1971).

Такая колесница представляла собой повозку (рис. 6.1), в передней части которой была установлена человеческая фигура с возможностью поворота вокруг вертикальной оси. В вытянутой вперед руке фигурки был вмонтирован кусок магнитной руды, и поэтому фигура вела себя, как большая магнитная стрелка, разворачиваясь вытянутой рукой на юг.

Позднее секрет изготовления таких колесниц был утрачен и открыт заново только в 226 г. н. э.

В современной литературе самые ранние упоминания о магнитизме относятся к XII веку. Английский монах Некэм писал, что магнитная стрелка всегда показывает на север, а моряки определяют по ней курс корабля, когда не видно ни солнца, ни звезд (Почтарев, 1974).

В 1269 г. французский ученый и инженер Петр Перегрин в письме к своему другу обстоятельно описал свойства магнита. Он первый ввел понятия «северный» и «южный полюс», сохранившиеся до наших дней. Он также существенно усовершенствовал морской компас, соединив его с астролябией, что позволило более точно определять курс кораблей.

Китайцы ещё в XII веке знали, что магнитная стрелка показывает не строго на север, а немного отклоняется от этого направления, но не придавали этому значения. В то время люди полагали, что магнитная стрелка испытывает притяжение Полярной звезды.

В 1492 г. Христофор Колумб во время своего первого путешествия открыл не только Америку, но ещё и **магнитное склонение**.

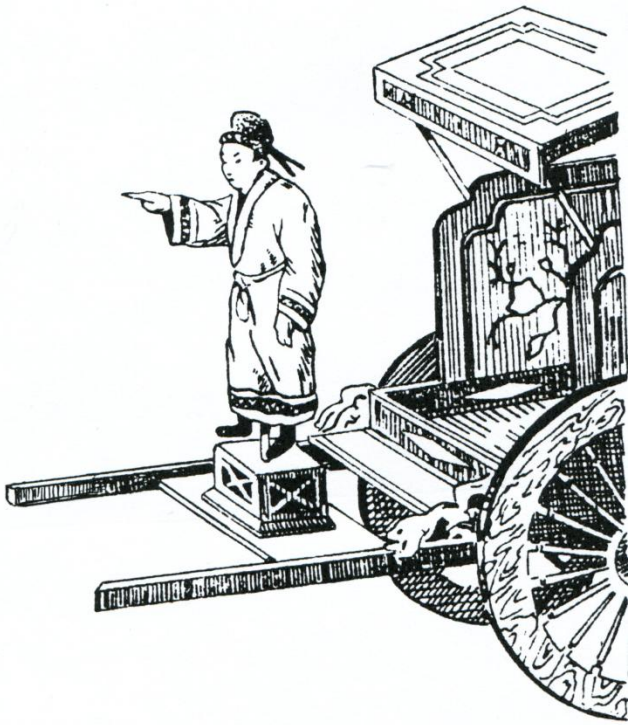


Рис. 6.1. Древнекитайская колесница с компасом – фигурой человека

3 августа 1492 года при отплытии из Палоса магнитная стрелка отклонялась к востоку от направления на Полярную звезду на 3°, т. е. на очень небольшой угол, который на компасах того времени трудно было замерить. А в сентябре того же года, когда Колумб отплыл уже далеко на запад, стрелка стала отклоняться к западу от направления по Полярной звезде на целое деление шкалы компаса (тогда эти деления наносились через 11°15'). Не обратить внимание на такое отклонение было невозможно. Этот факт вызвал большое волнение среди моряков, и Колумбу с трудом удалось их успокоить.

Изменение магнитного склонения от одного места к другому послужило толчком к более детальному изучению магнитного поля Земли.

В 1544 г. пастор Гартман из Нюрнберга, а в 1576 г. английский компасный мастер Норман независимо друг от друга обнаружили, что северный конец магнитной стрелки стремится отклониться вниз от горизонтального направления, открыв таким образом существование **магнитного наклонения**.

Было замечено, что магнитное наклонение не остается одинаковым в разных местах, что в Северном полушарии наклоняется вниз северный конец магнитной стрелки, а в Южном – южный.

В 1600 г. придворный врач английской королевы Елизаветы Уильям Гильберт (1544-1603) опубликовал книгу «О магните, магнитных телах и большом магните – Земле». В ней он показал, что любой магнит, естественный или искусственный, независимо от формы, обладает двумя полюсами, что отдельно полюса существовать не могут.

Для доказательства того, что магнитная стрелка устанавливается в определенное положение только под действием земного магнитного поля, он выточил из магнитной железной руды шар, который назвал Тереллой, т. е. маленькой Землей. Вблизи разных точек её поверхности магнитная стрелка вела себя так же, как и на поверхности Земли.

Таким образом, Гильберту удалось экспериментально доказать, что Земля представляет собой огромное намагниченное тело, с двумя полюсами, а в окружающем её пространстве с помощью магнитной стрелки обнаруживается действие магнитных сил. Гильберт ввел понятие магнитного поля – сферы, в пределах которой действуют эти силы.

Труды Гильберта не утратили своего значения и в наше время. Однако Гильберт ошибочно полагал, что магнитные полюса Земли совпадают с географическими.

В настоящее время магнитное поле Земли изучено чрезвычайно подробно и не только на её поверхности, но и на большом расстоянии от неё.

Магнитное поле Земли, её магнитосфера протягивается в сторону Солнца на расстояние порядка 60 тыс. км и в несколько раз дальше в противоположном направлении (рис. 6.2). За границу магнитосферы принимают поверхность, на которой давление солнечного ветра уравновешивается давлением магнитного поля Земли. Магнитосфера защищает Землю от потока заряженных частиц, составляющих корпускулярное излучение Солнца.

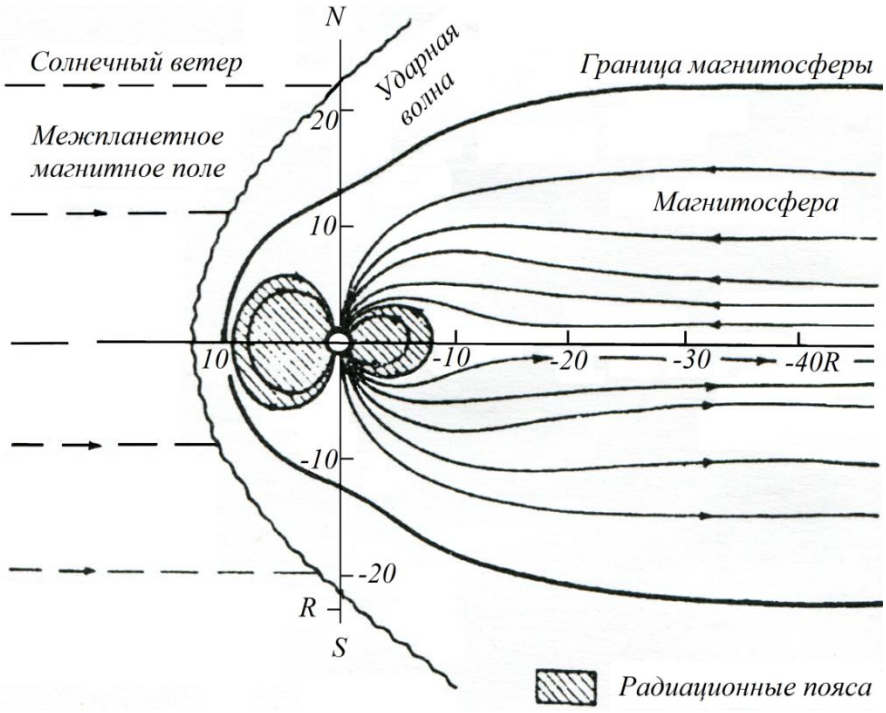


Рис. 6.2. Магнитосфера Земли (по В. И. Почтарёву). Расстояния указаны в радиусах Земли

Магнитные полюса Земли не остаются на одном месте, они медленно перемещаются, «дрейфуют» относительно географических полюсов. Время от времени полярность магнитного поля Земли меняется на противоположную. Факт смены полярности земного магнитного поля установлен при измерении намагниченности молодых ультраосновных пород в районах Срединных

океанических хребтов. Только в кайнозойскую эру полярность магнитного поля Земли менялась 13 раз за последние 5 млн лет.

Элементы магнитного поля Земли

Магнитное поле Земли характеризуется вектором напряженности *T*, который в прямоугольной системе координат имеет составляющие: вертикальную *Z* и горизонтальную *H* (рис. 6.3); горизонтальная составляющая в свою очередь, может быть разложена на компоненту *X*, направленную на географический север, и *Y*, направленную на восток. Угол между горизонтальной составляющей *H* и направлением на север – это угол магнитного склонения *D*, а угол между *H* и полным вектором – угол магнитного наклонения *J*.

Все перечисленные параметры *T*, *Z*, *H*, *X*, *Y*, *D* и *J* – это элементы земного магнитного поля.

Вектор напряженности рассматривается как вектор магнитной индукции и поэтому измеряется в теслах (Тл)*. Но тесла – это слишком крупная единица, так что в магниторазведке в ходу более мелкие единицы:

1 Тл = 10^6 мкТл = 10^9 нТл.

На фоне общего поля Земли выделяются аномалии материковые, региональные, локальные.

Для всей поверхности Земли составлены подробные карты каждого из элементов земного магнитного поля.

При этом карты отнесены к строго определенному моменту времени, поскольку магнитное поле Земли подвержено изменениям во времени – вариациям.

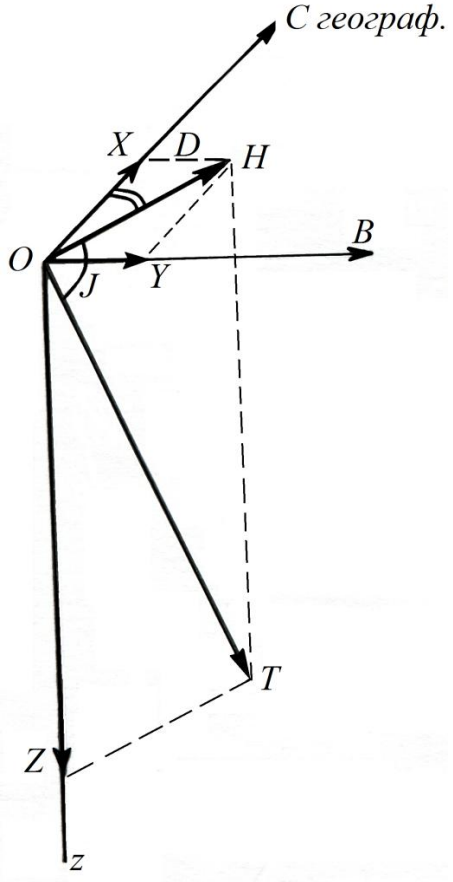


Рис. 6.3. Элементы земного магнитного поля

Периодические вариации подразделяют по их периоду на вековые, одиннадцатилетние (связанные с периодичностью солнечной активности), годовые, суточные. Чем короче период вариаций, тем меньше их амплитуда.

* Тесла – это магнитная индукция, которая действует силой 1Н на 1 м провода, по которому протекает ток в 1 А и который расположен перпендикулярно направлению магнитной индукции.

Непериодические вариации (самые сильные) имеют космические причины и называются магнитными бурями.

Изменения элементов магнитного поля Земли во времени регистрируются на специальных магнитных обсерваториях.

Такая обсерватория есть, например, в составе Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН. Она располагается на Урале в области спокойного магнитного поля в пос. Арти (Свердловская область).

Магнитные свойства горных пород и руд

Существование аномалий магнитного поля связано с изменениями магнитных свойств горных пород.

Основным магнитным свойством горных пород, руд и минералов является магнитная восприимчивость χ. Она характеризует способность веществ намагничиваться под действием магнитного поля. Если обозначить намагниченность вещества J_i, то в земном магнитном поле

$$J_i = \chi T. \qquad (6.1)$$

По величине χ все вещества делятся на диамагнитные, парамагнитные и ферромагнитные. Диамагнитные и парамагнитные практически не магнитны и не сохраняют намагниченность после прекращения действия магнитного поля на них, а вот ферромагнитные остаются намагниченными.

Таблица 6.1

Магнитная восприимчивость горных пород и минералов

Горные породы и минералы	Значения магнитной восприимчивости, ед. СИ 10^{-5}			
	< 50	50-1000	1000-10000	> 10000
	немагнитные	слабо - магнитные	магнитные	сильно-магнитные
Ферромагнитные минералы				—
Магматические породы:				
перидотиты, габбро			—	
диабазы, базальты		—		
граниты, липариты	—	—		
Метаморфические породы:				
роговики, сланцы	—	—		
кварциты, мрамор	—			
Осадочные породы:				
глина	—	—		
песчаники	—	—		
известняки	—			

К ферромагнитным относятся магнетит, титаномагнетит, гематит, пирротин.

Характерная особенность ферромагнитных веществ – это зависимость магнитной восприимчивости от температуры. С повышением температуры χ сначала увеличивается, а когда температура достигает так называемой точки Кюри, χ резко падает и вещество становится парамагнетиком.

Для магнетита, например, точка Кюри – это t = 578 °С.

Магнитная восприимчивость горных пород определяется содержанием в них ферромагнитных минералов, и в гораздо меньшей степени она зависит от структурно-текстурных особенностей пород и от внешних условий (давления, температуры).

Таким образом, осадочные породы являются наименее магнитными, а у магматических пород χ возрастает от кислых к основным.

Ещё одно важное магнитное свойство веществ – остаточная намагниченность J_n, которая проявляется вне намагничивающего поля.

Приборы для магниторазведки

Впервые магнитная стрелка для поисков магнитных руд была применена в Швеции на рубеже XVII и XVIII веков.

Тем же способом в России в середине XVIII века была открыта знаменитая гора Магнитная на Южном Урале.

В 1873 г. проводились магнитные измерения с целью поисков железных руд в США, в районе Великих Озёр.

В 1899 г. великий русский ученый Д. И. Менделеев (1831-1907) организовал магниторазведочные работы на Уральских горах – Благодать, Высокая и Магнитная, а также на Бакальском руднике, где были оконтурены залежи магнитных руд, расположение которых до этого было известно лишь приблизительно (Иванов, 1971).

В 1784 г. академик П. Б. Иноходцев (1747-1806), выполняя астрономические наблюдения в Курской губернии, одновременно измерял магнитное склонение и обнаружил, что оно сильно отличается от нормального (Почтарев, 1974).

В 1874 г. доцент Казанского университета И. Н. Смирнов также нашёл очень сильные нарушения магнитного поля в районе Белгорода и станции Касторной.

С 1896 г. профессор Московского университета Э. Е. Лейст с помощниками начал детальную магнитную съемку Курской губернии и

продолжал её в течение 14 летних сезонов. Он построил подробные карты элементов магнитного поля и первый сделал предположение, что причиной сильнейшей в мире Курской магнитной аномалии (КМА) является железная руда, залегающая на небольшой глубине.

После Великой Октябрьской социалистической революции 1917 г. Э. Е. Лейст уехал в Германию и все материалы по изучению КМА увёз с собой.

В Советской России по инициативе В. И. Ленина (1970-1924) была создана особая комиссия по изучению КМА, которую возглавили физик, академик П. П Лазарев (1878-1942) и геолог И. М. Губкин (1871-1939), также впоследствии ставший академиком.

Комиссия организовала проведение магнитной и гравиметрической съёмок на территории КМА и бурение нескольких скважин в местах максимумов и минимумов магнитной аномалии.

В результате бурения на глубине от 150 до 300 м были вскрыты залежи железистых кварцитов с содержанием магнетита от 40 % и выше.

Сейчас точно установлено, что КМА представляет собой два подземных железорудных хребта, простирающихся параллельно друг другу один на 400, другой – на 600 км при ширине 25-30 км. Напряженность магнитного поля КМА в 2-3 раза превышает напряженность нормального поля Земли (В. И. Почтарев).

Сейчас в пределах КМА действуют несколько крупнейших горно-обогатительных комбинатов: Лебедянский, Михайловский и др.

Современные приборы для наземных магнитных измерений могут быть разделены на несколько групп:

1. Приборы типа магнитных весов (или оптико-механические).
2. Феррозондовые магнитометры.
3. Протонные магнитометры.
4. Квантовые магнитометры.
5. Каппаметры.

Примером **оптико-механического** прибора может служить магнитометр М-2 (или весы Шмидта), который был широко распространен в геофизических экспедициях нашей страны в 50-70-х гг. прошлого века.

Чувствительная система магнитометра М-2 состоит их двух скрепленных между собой параллельных магнитов ромбовидной формы *1* (рис. 6.4). Через середину магнитов, перпендикулярно к ним продета кварцевая треугольная призма *2*, которая одним из ребер опирается на две кварцевые пластины *3*.

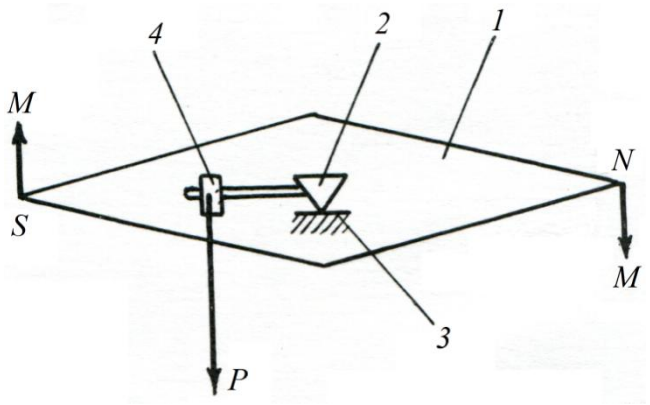


Рис. 6.4. Чувствительная система магнитометра М-2:
1 – ромбовидные магниты (ножи); *2* – кварцевая призма; *3* – кварцевые опоры призмы; *4* – грузик для уравновешивания магнитной системы

В нормальном магнитном поле вращающий момент $2M$, создаваемый вертикальной составляющей магнитного поля, уравновешивается вращательным моментом силы тяжести P, действующим на эксцентричный грузик *4*. Горизонтальному положению магнитов соответствует нулевой отсчет оптической системы. При изменении вертикальной (Z) составляющей магнитного поля равновесие нарушается, магниты отклоняются от горизонтального положения, и отсчёт оптической системы отличается от нуля тем больше, чем больше величина Z-составляющей вектора напряженности магнитного поля в точке наблюдения по сравнению с контрольным пунктом.

Феррозондовые магнитометры в качестве чувствительного элемента имеют магнитомодуляционный датчик (рис. 6.5). Датчик состоит из двух ферритовых стержней *1* и *2*, имеющих большие отношения длины l к диаметру d (l/d >100). Коэффициент размагничивания таких стержней равен нулю. На стержнях *1* и *2* в противоположных направлениях намотаны катушки возбуждения *3* и *4*, по которым пропускают переменный синусоидальный ток частоты f. Магнитное поле этого тока доводит стержни до насыщения. Оба стержня охвачены сигнальной обмоткой *5*. Вне воздействия внешнего магнитного поля напряжение в сигнальной обмотке не возникает, так как магнитные поля стержней *1* и *2* одинаковые и противоположно направлены, т. е. компенсируют друг друга. При воздействии на датчик внешнего магнитного поля, направленного вдоль от стержней, в один из полупериодов это поле складывается с магнитным полем тока возбуждения одного сердечника, а в другой

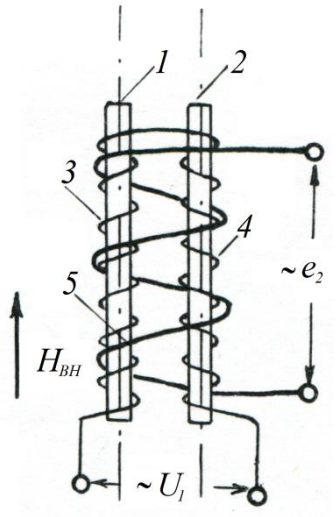


Рис. 6.5. Чувствительная система феррозондового магнитометра:
1 и *2* – ферритовые стержни; *3* и *4* – обмотки возбуждений; *5* – сигнальная обмотка

полупериод – с магнитным полем тока в другом сердечнике. Симметрия перемагничивания стержней нарушается, и в сигнальной обмотке наводится напряжение e_2 удвоенной частоты $2f$, амплитуда которого пропорциональна напряженности внешнего магнитного поля, направленного вдоль от датчика $H_{вн}$.

Кроме двухстержневых есть и одностержневые магнитомодуляционные преобразователи.

Такие преобразователи находят применение не только в полевых, но и в скважинных и в аэромагнитометрах.

Протонные магнитометры основаны на явлении свободной прецессии протонов (т. е. атомных ядер водорода) в земном магнитном поле. Но, для того чтобы возбудить свободную прецессию, магнитные моменты ядер сначала отклоняют от направления по магнитному полю Земли.

Датчик протонного магнитометра представляет собой вытянутый сосуд, заполненный водородосодержащей жидкостью (водой, спиртом или керосином). На сосуд нанесена обмотка, служащая как для создания поляризующего постоянного поля, так и для снятия сигнала свободной прецессии (ССП).

При измерениях датчик ориентируют перпендикулярно направлению земного магнитного поля (т. е. приблизительно горизонтально в направлении «восток-запад»), затем на несколько секунд (от 3 до 10 с) в обмотку подают ток, который создает поляризующее магнитное поле, во много раз превышающее земное. Магнитные моменты ядер атомов водорода в сосуде с жидкостью ориентируются по направлению поляризующего поля. Когда ток в обмотке выключают, поляризующее поле исчезает, и магнитные моменты ядер водорода переориентируются по направлению магнитного поля Земли (T). При этом магнитные моменты ядер водорода не сразу располагаются по направлению вектора T, а постепенно, совершая прецессию вокруг этого направления с так называемой **ларморовой** частотой $\omega_L = \gamma T$, где γ – это гиромагнитное отношение ядер водорода (т. е. величина постоянная).

Вращающаяся нормальная составляющая ядерных магнитных моментов индуцирует в катушке возбуждения сигнал свободной прецессии, амплитуда которого убывает по экспоненте, а частота пропорционально напряженности земного магнитного поля T.

С помощью электронных схем частоту сигнала свободной прецессии измеряют и по ней судят о напряженности земного магнитного поля.

Протонные магнитометры используют при полевых, морских, воздушных и скважинных измерениях.

Квантовые магнитометры основаны на так называемом «эффекте Зеемана». Атомы, обладающие магнитным моментом, при попадании в магнитное поле приобретают дополнительную энергию, частота излучения которой пропорциональна полному вектору магнитной индукции этого поля (Хмелевской, 2013).

Чувствительным элементом магнитометра является сосуд, заполненный парами цезия, рубидия или гелием. При облучении монохроматическим светом электроны атомов этих паров переводятся на более высокий энергетический подуровень (оптическая накачка). После прекращения облучения электроны возвращаются на прежний уровень, испуская электромагнитные излучения, частота которого пропорциональна напряженности магнитного поля Земли.

Квантовые магнитометры обладают высокой точностью (±0,1-1 нТл) и высоким быстродействием при слабой чувствительности к ориентации датчика.

Методика магнитной съемки, определение точности измерений и представление результатов аналогичны тем же процессам при гравиметровой съемке.

Области применения магниторазведки и решаемые ею задачи

Применение магнитных измерений для изучения глубинного строения Земли ограничено тем, что при нагревании до точки Кюри минералы теряют свои магнитные свойства. В разных областях Земли это происходит на различной глубине. Проводя расчёты положения нижних границ магнитовозмущающих объектов, можно таким образом определять места приближения перегретых слоёв астеносферы к земной поверхности.

Ещё одна «глобальная задача», решение которой возможно с помощью магнитометрии, – это определение возраста горных пород, направления и скорости движения крупных блоков земной коры.

Согласно современным представлениям, остаточная намагниченность J_n горных пород формируется во время образования самой горной породы. Это означает, что, определив направление остаточной намагниченности и зная абсолютный возраст горных пород, можно реконструировать миграцию и инверсию магнитных полюсов в разные геологические эпохи.

Так, например, английские геофизики F. J. Vinc и D. H. Matthews предложили оригинальное объяснение природы знакопеременных полосовидных магнитных аномалий, тянущихся вдоль срединно-океанических хребтов. По их мнению, эти аномалии связаны с раздвижением (спредингом) земной коры и её одновременным наращиванием за счёт подводных излияний базальтовых лав. Остывая после излияния, базальты сохраняют ту остаточную

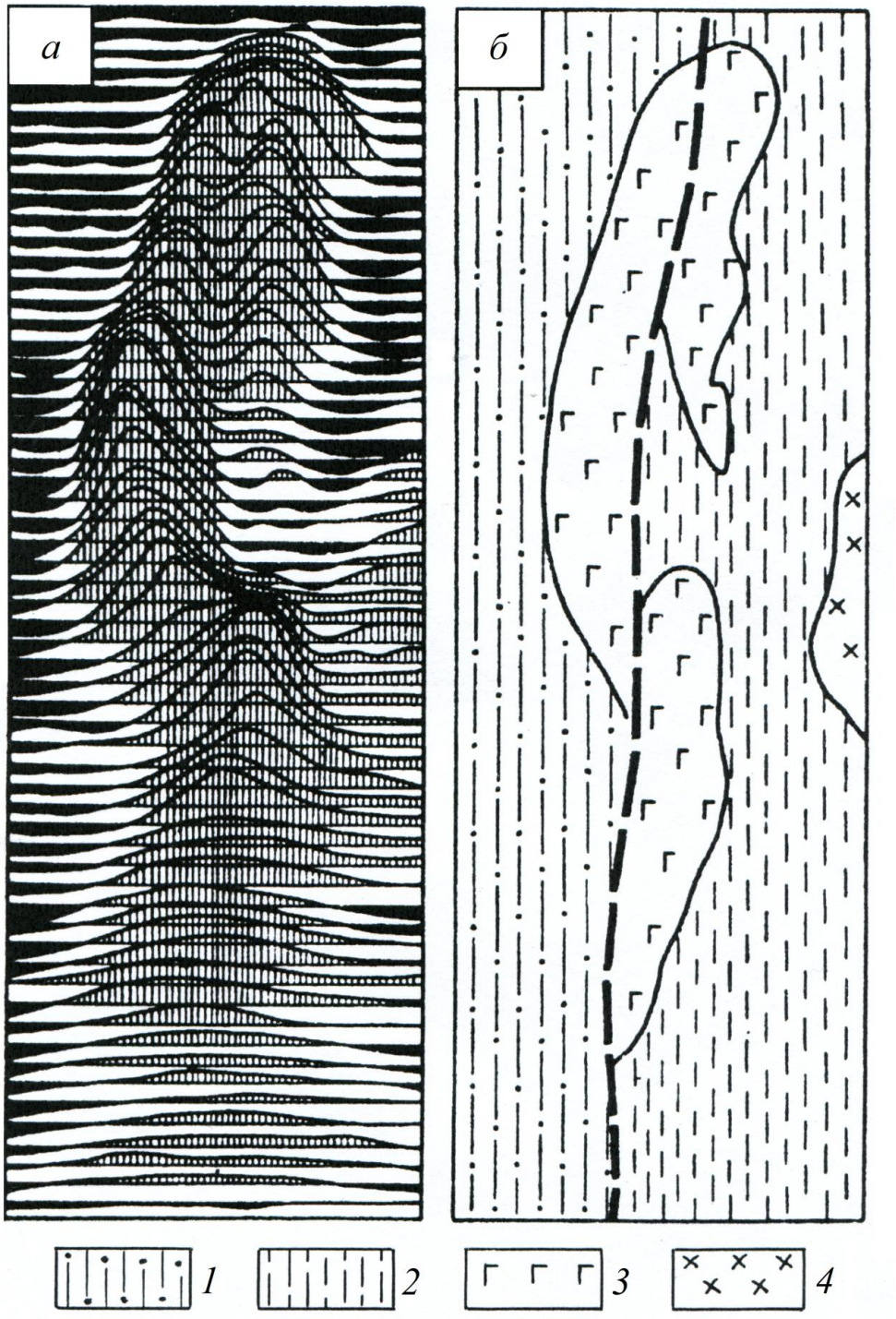


Рис. 6.6. Картирование, по данным магниторазведки, интрузий перидотитов, внедрившихся вдоль тектонического разлома (по Франтову и Глебовскому, 1987):
а – графики вертикальной составляющей магнитного поля; *б* – геологическая схема;
1 – графито-кварцевые сланцы; *2* – гнейсы; *3* – интрузии перидотитов; *4* – интрузия гранодиоритов

намагниченность, которая отражает направление магнитного поля Земли в ту эпоху, когда они кристаллизовались. Так что смена полярности полосовидных аномалий подтверждает прошлые инверсии геомагнитного поля.

Геологическое картирование – одна из основных задач, решаемых с помощью магниторазведки. Магнитная съёмка позволяет надежно картировать массивы габбро, перидотитов и др. основных и ультраосновных пород под наносами, выявлять тектонические нарушения, а при благоприятных условиях выделять перспективные на нефть и газ куполовидные структуры.

Так, на рис. 6.6 показано, как по графикам вертикальной составляющей магнитного поля (*a*) выделяются интрузии ультраосновного состава (перидотиты), внедрившиеся вдоль тектонического разлома, по одну сторону которого залегают графито-кварцевые сланцы, а по другую – гнейсы, по (Франтов и Глебовский, 1987).

Поиски месторождений магнитных железных руд, полиметаллов, бокситов, алмазов и др. полезных ископаемых – ещё одна из важнейших задач магниторазведки.

Ранее мы уже рассказывали о том, как по данным магнитных измерений исследовалась КМА.

На рис. 6.7 показано, какими аномалиями составляющих Z_a и H_a магнитного поля выделяются пласты железистых кварцитов КМА, залегающие под толщей магнитных пород мощностью около 150 м.

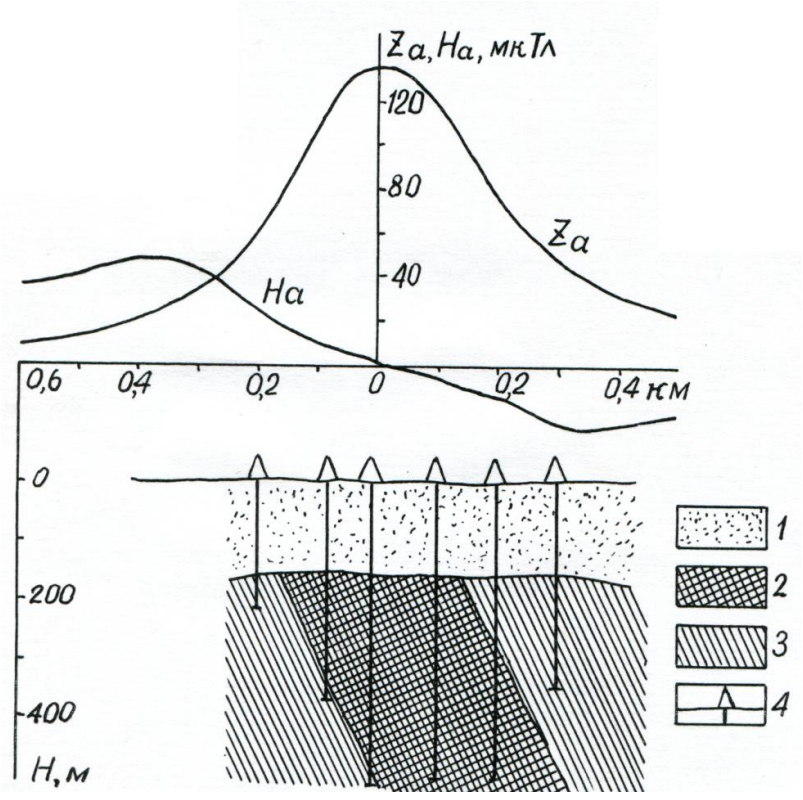


Рис. 6.7. Графики Z_a и H_a над пластом железистых кварцитов КМА, по (Соколов, 1966):
1 – рыхлые песчано-известковые породы; *2* – железистые кварциты; *3* – метаморфизованные сланцы и известняки; *4* – буровые скважины

На рис. 6.8 приведен пример применения магниторазведки при поисках бокситовых руд. Хотя магнитная восприимчивость бокситов не очень велика, крупная залежь их фиксируется отчетливой аномалией Z-составляющей до 2 тысяч нТл.

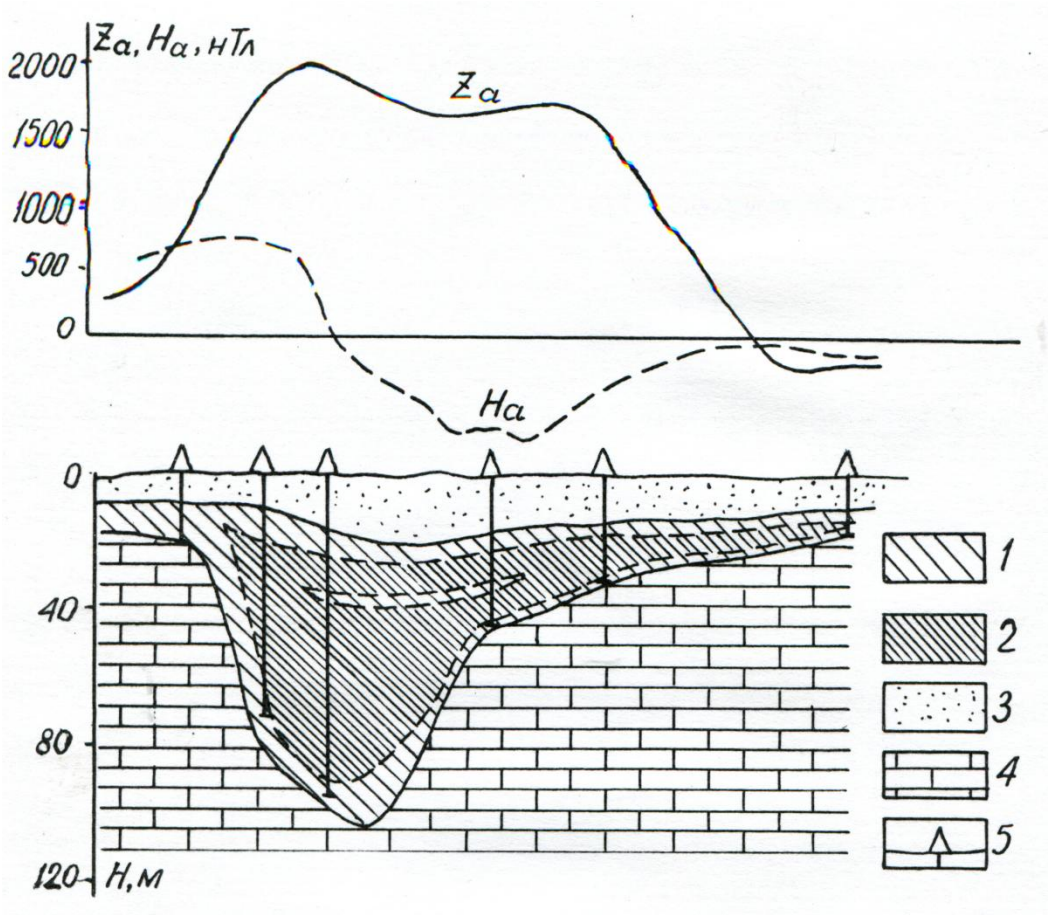


Рис. 6.8. Магнитная аномалия над карстовой гнездообразной залежью бокситов (по К. П. Соколову):
1 – бедная бокситовая руда; *2* – богатая бокситовая руда; *3* – наносы; *4* – известняки; *5* – буровые скважины

Рис. 6.9 показывает, как по данным магниторазведки выделяются кимберлитовые трубки в Якутии. Геологическая обстановка здесь осложняется тем, что кимберлитовые трубки прорывают кристаллические породы основного состава, которые так же, как и кимберлиты, имеют повышенные магнитные свойства. Они создают региональную магнитную аномалию до 800 нТл, на фоне которой выделяются локальные аномалии от кимберлитов интенсивностью до 1000-1500 нТл.

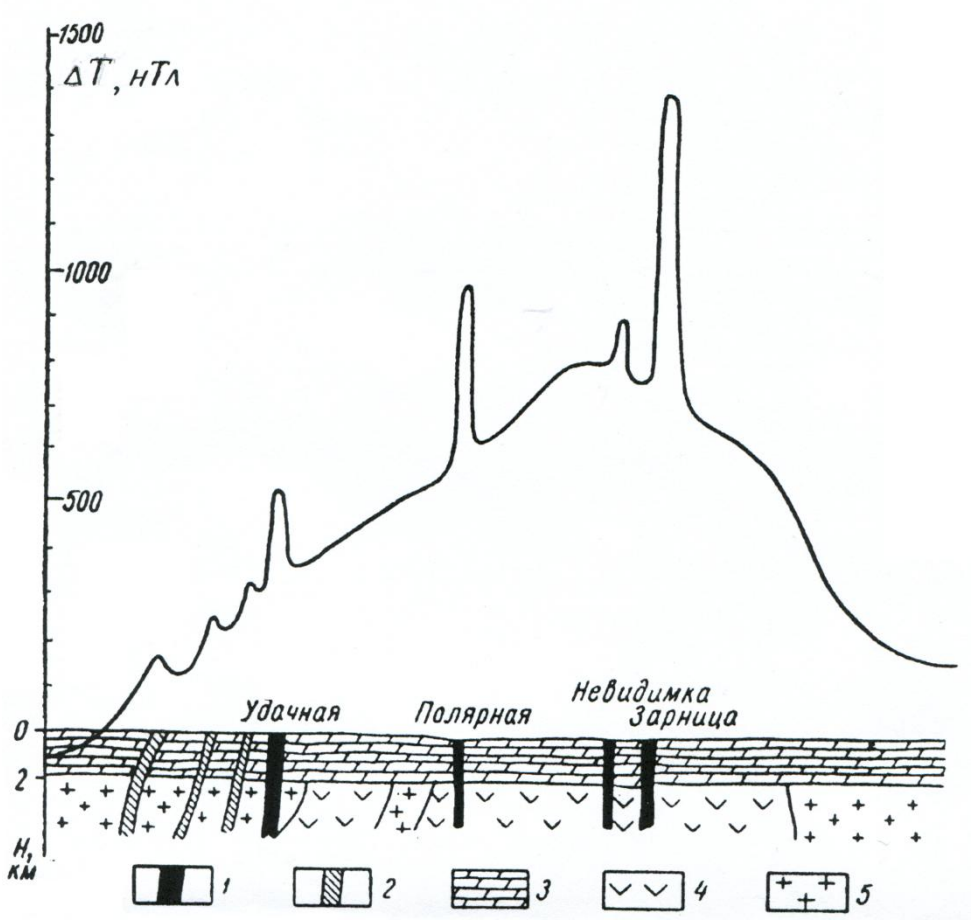


Рис. 6.9. Схематический геолого-геофизический разрез через кимберлитовые трубки, по (Соколов, 1966).

1 – кимберлитовые трубки; *2* – дайки основных пород; *3* – карбонатные породы; *4* – кристаллические породы фундамента основного состава; *5* – то же кислого состава. График ΔT на высоте 200 м

Поиски искусственных ферромагнитных объектов: трубопроводов, затонувших судов и пр.

В специальной литературе есть множество примеров успешного применения магнитных измерений для решения этих задач.

Приведем ещё несколько.

На р. Ангаре близ Иркутска затонул катер. Водолазы не смогли его найти, так как, по-видимому, катер был снесен сильным речным течением. Пришлось привлечь геофизиков. Установив феррозондовый магнитометр на деревянной лодке, геофизики не только обнаружили затонувший катер на большой глубине, но и определили, что он лежит кверху килем. Основанием послужила обнаруженная ими **отрицательная** магнитная аномалия (Вахромеев, 1988).

В 1979 г. зимой на Верх-Сысертском пруду провалился под лёд и затонул трактор. Летом представители поселкового Совета Верхней Сысерти обратились к студентам Свердловского горного института, база практики

которых находится на окраине поселка В. Сысерть, с просьбой найти то место, где лежит на дне пруда утонувший трактор.

Студенты Артур Лукас и двое его товарищей взяли протонный магнитометр и на деревянной шлюпке отправились в плавание. Пробороздив пруд на лодке в течение полутора часов, они обнаружили интенсивную магнитную аномалию и установили над ней буй.

15 февраля 2013 г. на озеро Чебаркуль упал наделавший много шума в СМИ Челябинский метеорит. Во льду осталась большая полынья. Через несколько дней геофизики из Института геофизики им. Булашевича провели высокоточные магнитные измерения по льду озера, но нашли только вытянутую аномалию небольшой интенсивности (около 20 нТл), которую объяснили дайкой пород основного состава подо дном озера. Метеорит в магнитном поле никак не проявился. Это позволило сделать вывод, что этот метеорит не железный, а каменный. Вывод подтвердился, когда в сентябре того же года метеорит извлекли со дна озера.

И, наконец, всем известная катастрофа знаменитого «Титаника». Место, где оказался на дне Атлантического океана «Титаник», почти через 100 лет после его гибели было установлено с помощью высокоточных так называемых «СКВИД-магнитометров».

Ещё одна область применения магниторазведки – **археологические исследования.** Высокоточные магнитные измерения позволяют обнаружить под толщей рыхлых отложений остатки фундаментов древних сооружений, кирпичных стен, свалки керамики, горны кузниц и другие объекты, намагниченность которых сформировалась за счёт температурных воздействий в условиях геомагнитного поля.

Так, например, в устье Нила при помощи магниторазведки был найден город эпохи Рамзеса II, погребенный под илом и другими наносами. Обнаружены остатки храмов, базаров, скотных дворов (Газета «Уральский рабочий» от 12.11.1999).

Контрольные вопросы

1. Как давно людям известны магнитные свойства железной руды и наличие у Земли магнитного поля?
2. Перечислите элементы магнитного поля Земли
3. Где магнитное поле Земли сильнее: в полярных или экваториальных областях?
4. Какие магнитные свойства горных пород Вам известны?
5. Что такое точка Кюри?

6. Чем диамагнитные материалы отличаются от парамагнитных?
7. Как далеко от поверхности Земли распространяется её магнитное поле?
8. Назовите физические принципы, на основе которых устроены приборы для магниторазведки.
9. Перечислите задачи, решаемые с помощью магниторазведки.
10. В каком случае и почему магниторазведка более эффективна: при поисках рудных или нефтяных месторождений?
11. Имеет ли свое магнитное поле Луна?
12. Какими причинами объясняется существование магнитного поля Земли?
13. Что такое «инверсия» магнитного поля Земли? Каковы причины, которые её вызывают?

Лекция 7

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Краткая история электроразведки

В отличие от гравиразведки и магниторазведки, которые занимаются исследованиями физических полей исключительно естественного происхождения, электроразведка изучает как естественные, так и искусственные электрические поля.

Первая отечественная работа «О применении электричества к исследованию рудных залежей» была опубликована физиком Е. И. Рагозиным еще в 1903 г. В 1910 г. французский геофизик Конрад Шлюмберже разработал способ определения удельных сопротивлений горных пород посредством пропускания через них электрического тока. Этот способ применяется и поныне.

В 1922 г. помощник и соратник изобретателя радио А. С. Попова (1859-1906) – профессор А. А. Петровский (1873-1942) предложил использовать радиоволны для «просвечивания» толщи горных пород между скважинами.

Большой вклад в развитие электроразведки внесли и другие отечественные ученые: В. А. Фок (1890-1974), В. Р. Бурсиан (1886-1945), В. Н. Дахнов (1905-1984), А. И. Заборовский (1894-1976), С. М. Шейнман (1903-1986), А. М. Пылаев (1907-1944) и др.

Электрические свойства горных пород и руд

Распространение электрических полей в горных породах определяется электрическими свойствами этих пород, главным из которых является удельное сопротивление. В электроразведке удельное электрическое сопротивление (УЭС) измеряется в Ом·м и по физическому смыслу представляет собой сопротивление куба горной породы с длиной ребра 1 м, измеренное вдоль одной из граней куба.

Поскольку УЭС породообразующих минералов очень велико (10^8-10^{10} Ом·м), то электрический ток в горных породах протекает в основном по порам и трещинам, заполненным минерализованной водой. По этой причине УЭС горных пород в целом определяется их пористостью и сопротивлением влаги в порах.

Несмотря на очень широкий диапазон изменений УЭС, некоторые закономерности прослеживаются достаточно четко:

- кристаллические породы, как магматические, так и метаморфические, имеют очень высокое УЭС (от 1000 до $n \cdot 10^5$ Ом·м);
- среди осадочных пород наибольшими значениями УЭС обладают известняки, доломиты, гидрохимические породы (гипс, ангидрит, каменная соль);
- у обломочных пород УЭС уменьшается с уменьшением размера зерен (от песчаников к глинам).

Таблица 7.1

Удельное электрическое сопротивление горных пород, руд и минералов, по (Хмелевской, 1967)

Минералы, горные породы	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м									
	менее 0,1	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	108 и более
Породообразующие минералы (кварц, полевой шпат, слюды)										—
Кристаллические породы					—	—	—	—		
Осадочные породы:										
известняки				—	—	—	—			
песчаники			—	—	—					
глины		—	—	—						
Сульфиды, самородные металлы, графит	—	—	—							

Слоистые породы имеют различные УЭС по слоистости и перпендикулярно к ней (рис. 7.1).

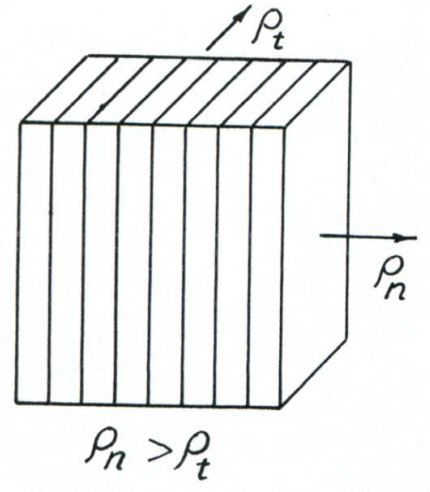


Рис. 7.1. Удельное электрическое сопротивление слоистых пород

При работах на переменном токе высокой частоты, кроме УЭС, важную роль играет ещё диэлектрическая проницаемость ε, которая определяется в основном содержанием воды в породе, так как именно вода имеет аномально большое значение этого параметра, а именно ε=81 отн. ед. при t =18 °С.

Соответственно, у кристаллических пород ε=3-5 ед, у водонасыщенных песчаников 15-35 ед., а у глин доходит до 50 ед.

Имеет значение и ещё одно свойство – способность поляризоваться под действием пропускаемого тока (рис. 7.2). Эта способность характеризуется отношением —— и измеряется в % ($\Delta U_{пр}$ – разность потенциалов пропускаемого тока; $\Delta U_{ВП}$ – разность потенциалов вызванной поляризации). Повышенный коэффициент поляризуемости имеют влажные породы: η=3-7 % и очень высокий – сульфидные минералы, графит и уголь – до η=40 %.

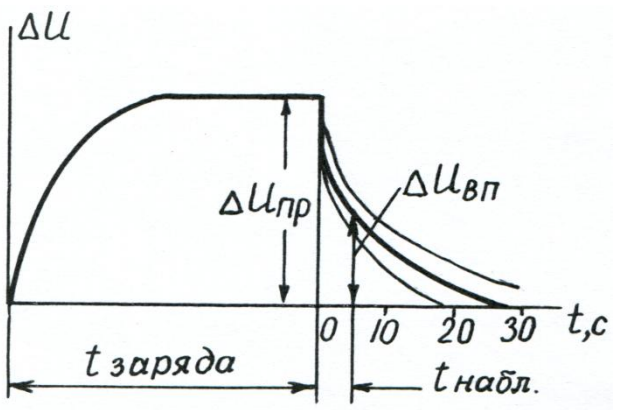


Рис. 7.2. Возникновение разности потенциала вызванной поляризации $\Delta U_{ВП}$ после выключения тока в цепи питающих электродов

Аппаратура и оборудование электроразведки

Аппаратура для электрических методов разведки весьма разнообразна. Она включает приборы, способные измерять разность потенциалов и силу тока.

Кроме измерительной аппаратуры, для выполнения электроразведочных работ необходимо ещё и специальное оборудование: источники тока (генераторы или батареи), электроды для заземления токовых и измерительных цепей, провода и катушки для сматывания этих проводов и проч.

Методы электроразведки

По числу существующих методов электроразведка является рекордсменом среди всех полевых отраслей разведочной геофизики. Методы различаются по

виду применяемого тока (постоянный или переменный, переменный низкой или высокой частоты), по способу возбуждения электрического поля в горных породах, по расположению электродов при измерениях.

Рассмотреть большое количество методов в таком коротком курсе, как «Введение в специальность», просто невозможно, поэтому мы познакомимся только с несколькими наиболее распространенными методами.

Электропрофилирование

Электропрофилирование реализует тот самый способ измерения электрического сопротивления пород, который был предложен К. Шлюмберже ещё в 1910 г.

Профилирование может выполняться на постоянном токе или переменном токе низкой частоты. При этом используется 4-электродная установка (рис. 7.3). Два электрода, *A* и *B*, используются для пропускания тока, они подключаются к выводам источника тока и называются токовыми или питающими. Последовательно с электродами *A* и *B* включаются измеритель тока *I* и ключ К.

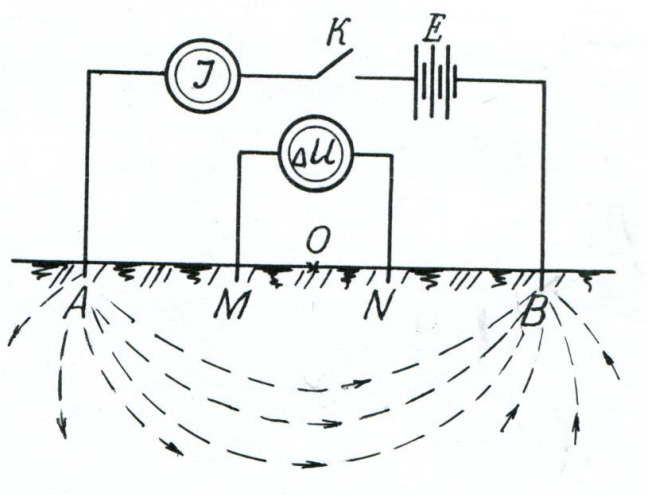


Рис. 7.3. Схема метода симметричного электропрофилирования

Ещё два электрода, *M* и *N*, заземляются между токовыми и служат для измерения разности потенциалов Δ*U*. Соответственно, между ними включают измерительный прибор и называют их измерительными или приёмными. По измеренным значениям тока *I* и разности потенциалов Δ*U* вычисляют сопротивление, Ом·м:

—, (7.1)

где *K* – это коэффициент установки, величина которого зависит от геометрии измерений, т. е. от расстояний *AB* и *MN*. Полученная величина – это не

истинное, а кажущееся сопротивление, т. е. некое осредненное сопротивление исследуемой неоднородной среды. Измеренные сопротивления $\rho_к$ относят к точке *O*, то есть к середине расстояния между электродами *M* и *N*.

Всю 4-электродную установку перемещают по профилю наблюдений с определенным шагом и строят график $\rho_к$. Глубина исследования зависит от расстояния между электродами и составляет от 1/4 до 1/10 *AB*. В среднем глубину исследования можно принять равной 1/6 *AB*.

Электропрофилирование имеет целый ряд модификаций: симметричное, комбинированное, метод срединного градиента и др. На графиках $\rho_к$ отчетливо фиксируются выходящие под наносы кварцевые жилы и дайки кристаллических пород (по повышениям $\rho_к$) и некоторые другие детали геологического строения.

На рис. 7.4 приведены результаты симметричного профилирования с двумя разносами разной длины питающей линии (*A'B'*>*AB*) на трёх упрощенных геологических примерах.

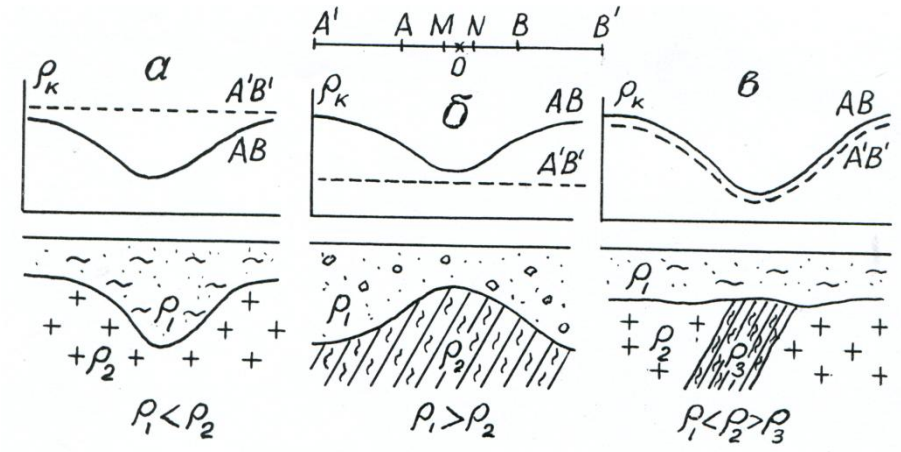


Рис. 7.4. Результаты симметричного электропрофилирования с разносами токовой линии разной длины над несколькими геологическими объектами:
а – депрессия кристаллического фундамента; *б* – выступ хорошопроводящих горных пород под наносами; *в* – обводненная тектоническая зона

Эти же результаты могут служить иллюстрацией неоднозначности интерпретации электроразведочных аномалий.

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ)

Метод ВЭЗ осуществляется также на постоянном токе или низкочастотном переменном токе.

Суть метода ВЭЗ заключается в том, что на каждой точке наблюдения выполняют измерения с 4-электродной установкой *AMNB* при последовательно

увеличивающемся расстоянии между электродами *A* и *B* (рис. 7.5). Чем больше разнос *AB*, тем глубже проникает ток, и измеренное $\rho_к$ характеризует УЭС все более глубоких горизонтов. На специальном билогарифмическом бланке строят график зависимости $\rho_к = f(AB/2)$. В результате интерпретации по таким графикам определяют количество слоёв разного УЭС и находят мощность и сопротивление каждого слоя. На рис. 7.6 приведены упрощенные геологические разрезы и соответствующие им кривые ВЭЗ.

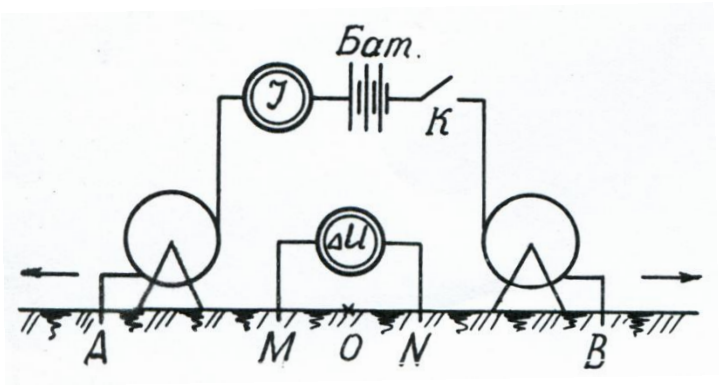


Рис. 7.5. Схема установки для вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ)

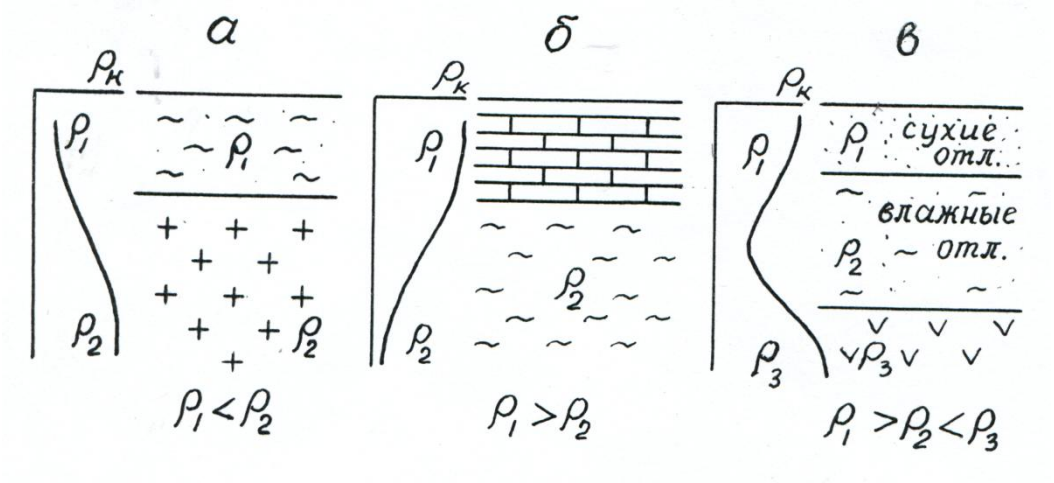


Рис. 7.6. Кривые ВЭЗ на нескольких упрощенных геологических разрезах

Метод заряженного тела (МЗТ)

Этот метод применяют при разведке хорошо проводящих рудных залежей. Используют при этом также постоянный или низкочастотной переменный ток.

Если изучаемый электропроводный объект вскрыт хотя бы в одной точке скважиной или шурфом, метод заряженного тела позволяет оценить его размеры, определить его контуры в плане и элементы залегания, выявить поблизости другие проводники. Для этого во вскрытое проводящее подсечение

помещают один токовый электрод (*A*), а другой (*B*) относят на большое расстояние, как говорят электроразведчики, в «бесконечность».

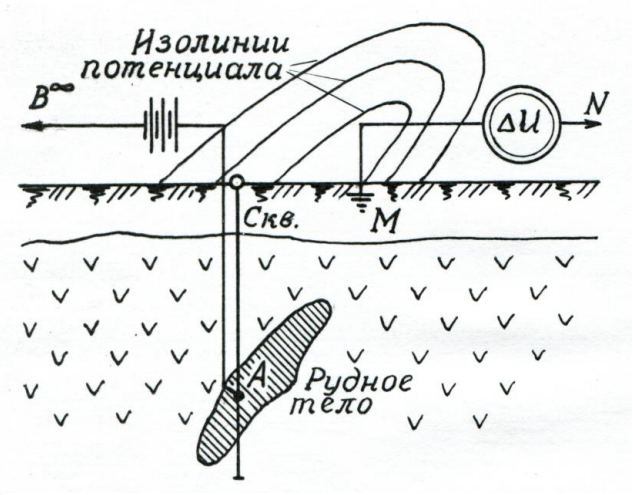


Рис. 7. 7. Схема и результаты измерений в методе «заряженного тела»

Тем или иным способом на поверхности изучают распределение потенциала заряженного тела. Строят планы изолиний, графики потенциала и градиента потенциала. Конфигурация изолиний потенциала на поверхности соответствует форме рудного тела в плане.

На рис. 7.7 показана схема измерений в МЗТ и вид изолиний потенциала над проводящим телом, вытянутым в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка.

Метод естественного электрического поля (ЕЭП)

Метод ЕЭП основан на изучении электрических полей естественного происхождения, которые возникают в горных породах в результате окислительно-восстановительных, фильтрационных или диффузно-адсорбционных процессов.

Верхние части рудных залежей, находящиеся в зоне окисления, окисляясь, отдают электроны и заряжаются положительно, а вмещающие их породы приобретают отрицательный потенциал, который и может быть зафиксирован на поверхности, как это показано на рис. 7.8.

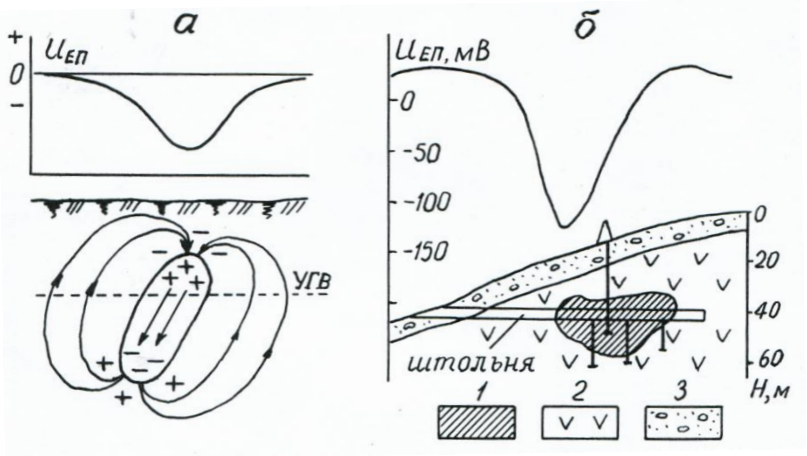


Рис. 7.8. Схема возникновения аномалии естественного поля (*а*) и аномалия естественного поля над линзообразной залежью медных сульфидных руд (*б*):
1 – руда; *2* – коренные породы; *3* – рыхлые отложения

Метод вызванной поляризации (ВП)

Метод ВП основан на изучении потенциалов, возникающих в горных породах после пропускания через них постоянного электрического тока. Эти потенциалы можно наблюдать между измерительными электродами M и N после выключения тока в цепи AB. Интенсивность и характер спада во времени потенциалов ВП зависят от поляризуемости горных пород $\eta_к$.

У разных горных пород величина и скорость спада $\Delta U_{ВП}$ различны.

Причинами возникновения вызванной поляризации являются электрохимические процессы, происходящие на поверхности рудных и глинистых частиц в присутствии подземных вод под воздействием пропускаемого через них тока (В. К. Хмелевской).

В настоящее время метод ВП – это один из самых эффективных методов поисков и разведки рудных (в частности медноколчеданных) месторождений.

Магнитотеллурические методы (методы ТТ)

Магнитотеллурические методы заключаются в измерении переменной составляющей естественного электромагнитного поля Земли. Это поле возникает в результате воздействия на ионосферу потока заряженных частиц, идущих от Солнца. Вариации геомагнитного поля вызывают синхронные изменения магнитотеллурического поля, электрическая составляющая которого проявляется так называемыми «теллурическими токами».

Методы ТТ применяются в вариантах профилирования и зондирования.

Как известно из физики, чем выше частота тока, тем большая его часть распространяется по поверхности проводника. Короткопериодные вариации ТТ распространяются неглубоко от поверхности Земли, а вариации длительных периодов проникают на большие глубины. Измеряя эти «медленные» вариации с периодом в сотни и тысячи секунд, получают информацию о глубинном геологическом строении разреза.

Электромагнитные методы

Отличительная особенность этих методов – это возбуждение электрического поля в земле не пропусканием тока через заземления (электроды), а индуктивным способом, посредством переменного магнитного поля. Это магнитное поле создают с помощью специальных рамок (или антенн), разложенных на земле, по которым пропускают переменный ток. В случае наличия в исследуемой среде проводников, в них индуцируются

вихревые токи, которые создают своё, вторичное магнитное поле. Это поле и измеряется с помощью специальных приёмных антенн. Индуктивные методы имеют множество вариантов: дипольное электромагнитное профилирование, метод наземной незаземленной петли, метод бесконечно длинного кабеля, метод зондирования становлением поля, метод переходных процессов и др.

Более близкое знакомство с этими методами ожидает студентов на третьем и четвертом курсах при изучении дисциплин «Разведочная геофизика» и «Электроразведка».

Области применения электроразведки и решаемые ею задачи

1. Изучение рельефа кристаллического фундамента

Предпосылкой для решения этой задачи является более высокое сопротивление кристаллических пород по сравнению с перекрывающими их осадочными породами.

Глубина исследований – от 2-5 до 10-15 км.

Основной метод решения этой задачи – МТТ.

2. Поиски нефтеносных и угленосных структур

В отличие от гравиразведки, электроразведка позволяет не только выявить структуры, перспективные в отношении нефтеносности или газоносности, но и решить вопрос о том, есть ли в них нефть и газ, поскольку эти полезные ископаемые отличаются высоким электрическим сопротивлением, а подземные воды, которые могут занимать их место, – низким.

Основные методы решения этой задачи: ВЭЗ и профилирование МТТ.

Этими же методами могут быть обнаружены и угленосные структуры.

3. Поиски и разведка рудных месторождений – одна из основных задач электрической разведки.

Основание для применения электроразведки – резкое отличие руд от вмещающих пород по электрическим свойствам – УЭС и поляризуемости, а также способность к окислению и образованию естественных электрических полей.

Для решения этой задачи применяются методы от ЕЭП, метода вызванной поляризации (ВП) и электропрофилирования на поисковых этапах до МЗТ, электромагнитных методов и радиоволнового просвечивания на разведочных этапах.

4. Определение мощности рыхлых отложений и картирование горных пород под наносами

Здесь применяются в основном методы ВЭЗ и электропрофилирование.

5. Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования

При инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях с помощью электроразведки решаются задачи: определение глубины скального основания (методы ВЭЗ и электропрофилирование – ЭП), обнаружение мест утечек из водохранилищ (методы ЕЭП и ЭП), определение скорости и направления фильтрации подземных вод (МЗТ).

6. Археологические исследования – обнаружение и картирование древних сооружений (методы ЭП, ВЭЗ и др.).

Основание для применения электроразведки – различие в УЭС остатков древних сооружений и перекрывающих их более молодых отложений.

Примером могут служить проведенные в 1972 г. археологические исследования древнего стадиона на окраине г. Тунис, где когда-то существовал знаменитый Карфаген, воевавший с Древним Римом. По результатам электропрофилирования с точностью до 1 м нанесены на карту остатки стен, фундаментов, конюшен и т. п.

Оказалось, что этот стадион вмещал не менее 130 тыс. зрителей, т. е. больше, чем современный стадион «Лужники» в Москве или «Маракана» в Рио-де-Жанейро.

Другой пример. В 70-х годах прошлого века заведующий кафедрой архитектурной физики Свердловской архитектурной академии В. М. Слукин провел электроразведочные работы на территории г. Свердловска между усадьбой купца Харитонова, в которой в то время располагался Дворец пионеров, и берегом городского пруда. Методом электропрофилирования В. М. Слукин обнаружил остатки подземного хода, который вел из дома к городскому пруду.

Контрольные вопросы

1. Какое происхождение имеют электрические поля, изучаемые в электроразведке: естественное или искусственное?
2. От каких причин зависит удельное электрическое сопротивление (УЭС) горных пород?
3. Какие ещё электрические свойства горных пород, кроме УЭС, Вам известны?
4. Перечислите известные Вам методы электрической разведки.
5. Почему при электроразведке измеряется не удельное, а кажущееся удельное сопротивление горных пород?
6. Напишите формулу закона Ома.
7. Напишите формулу для вычисления кажущегося сопротивления.

8. От каких факторов зависит глубина исследования электроразведочных методов?
9. Нарисуйте схему полевых измерений кажущегося сопротивления.
10. В каких единицах измеряется кажущееся сопротивление?
11. Перечислите геологические задачи, которые решаются с помощью электроразведки.
12. В каких случаях электроразведка более эффективна: при поисках рудных или нефтяных месторождений?

Лекция 8

СЕЙСМОРАЗВЕДКА

Сейсморазведка основана на изучении распространения в земной коре упругих волн от искусственных источников.

Идея сейсморазведки проста. Если на поверхности земли возбудить упругие колебания, то они, распространяясь в глубь земли, будут испытывать отражение и преломление на границах слоёв с различными упругими свойствами. При этом отраженные колебания (рис. 8.1) вернутся к поверхности и могут быть уловлены чувствительными датчиками. Измерив интервал времени Δt между началом излучения и приходом отраженных колебаний и зная скорость распространения упругих волн V, нетрудно рассчитать расстояние h до отражающей границы:

—. (8.1)

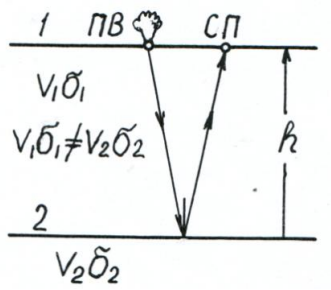


Рис. 8.1. Схема, поясняющая идею сейсморазведки:
1 – дневная поверхность; *2* – отражающая граница; ПВ – пункт возбуждения упругих колебаний; СП – сейсмоприемник, регистрирующий отражение волны

Упругие волны в горных породах

К упругим телам относят физические тела, способные изменять свой объём или форму под действием приложенных сил и возвращаться в исходное состояние после прекращения действия этих сил. В пределах небольших нагрузок все горные породы, геологические тела и Землю в целом можно считать упругими. Как известно, в упругих телах могут независимо распространяться две волны: продольная P и поперечная S (рис. 8.2). Продольная волна – это волна, проявляющаяся в деформации объема, а поперечная – в деформации формы. В жидкостях и газах могут распространяться только продольные волны; поперечные в них не возникают. В продольной волне частицы среды движутся в направлении распространения волны, а в поперечной – перпендикулярно к нему.

Скорость тех и других волн зависит от упругих свойств среды и от её плотности.

Скорость продольных волн (8.2)

скорость поперечных волн $\sqrt{\frac{\mu}{\sigma}}$, (8.3)

где E – модуль продольного растяжения (модуль Юнга); μ – модуль поперечного сжатия (он же коэффициент Пуассона); σ – плотность.

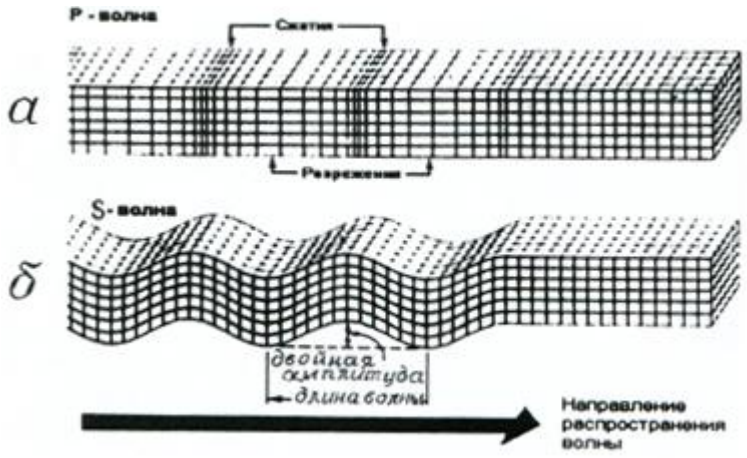


Рис. 8.2. Продольные (*а*) поперечные волны (*б*)

Продольные волны распространяются быстрее поперечных; в горных породах $V_P \approx 1{,}73 V_S$.

У горных пород и модуль Юнга, и коэффициент Пуассона зависят от их минерального состава, структурных особенностей (в первую очередь, от пористости) и от давления, под которым эти породы находятся.

Наименьшие скорости упругих волн наблюдаются в рыхлых и слабосцементированных горных породах (от 0,1 до 2 км/с), высокие скорости – в кристаллических породах как магматических, так и метаморфических (4,5-6,5 км/с), и в плотных, окремнелых известняках (до 7,1 км/с). Более подробно значения скорости продольных волн приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Скорость распространения продольных упругих волн в различных средах

Среда, горная порода	**V_P, км/с**	
	от	**до**
Воздух	0,3	0,33
Вода	1,43	1,59
Почва	0,3	0,8
Песок, гравий	0,3	1,0
Глина	2	3,3
Песчаник	3	5,7
Известняк	2,6	7,1
Каменная соль	4,2	4,8
Кристаллические породы	4,5	6,5

Важным акустическим свойством горных пород является их акустическая жесткость $\gamma=V\sigma$, которую называют также волновым сопротивлением.

Распространение упругих волн горных породах подчиняется законом **геометрической сейсмики**, в основу которых положены те же принципы, что и в основу геометрической оптики.

1. Главный принцип называется принципом Гюйгенса-Френеля. Он гласит, что всякую точку фронта волны можно рассматривать как самостоятельный элементарный источник колебаний.

Распространение упругих волн принято изображать и характеризовать с помощью **лучей** и **изохрон.**

Поверхность, отделяющую часть среды, где происходят колебания, от той части, до которой они ещё не дошли, называется **фронтом волны.**

В процессе распространения волн фронт движется. Поверхность, с которой фронт волны совпадает в определенный момент времени, называется **изохроной.**

Лучи, по которым распространяются волны, перпендикулярны изохронам.

2. В однородной среде лучи прямолинейны, в неоднородной – криволинейны. Распространение волн в неоднородной среде подчиняется принципу Ферма, согласно которому путь волны должен быть таким, чтобы время на его прохождение было минимальным.

3. Принцип наложения (суперпозиции) волн: в одной среде могут распространяться две и более волн одновременно, причём каждая двигается так, как будто других не существует. За распространением волн наблюдают на поверхности, расположив сейсмоприёмники вдоль *профиля* наблюдений и определяя время прихода упругих волн к определенным точкам профиля. По результатам строят график зависимости времени прихода упругой волны от расстояния $t= f(x)$, который называется **годографом.**

Угол наклона годографа дает скорость распространения упругой волны:

—. (8.4)

На рис. 8.3 показан годограф прямой волны.

Годографы по всем профилям, проходящим через точку возбуждения колебаний, одинаковы и вместе образуют конус с вершиной в точке возбуждения – **поверхностный годограф прямой волны.**

4. На границе раздела двух сред, обладающих разной акустической жесткостью, происходит отражение и преломление упругих волн.

При этом угол падения равен углу отражения ( ), а угол преломления определяется законом Снеллиуса:

—— —, (8.5)

где V_1 и V_2 – скорости в первой и второй средах.

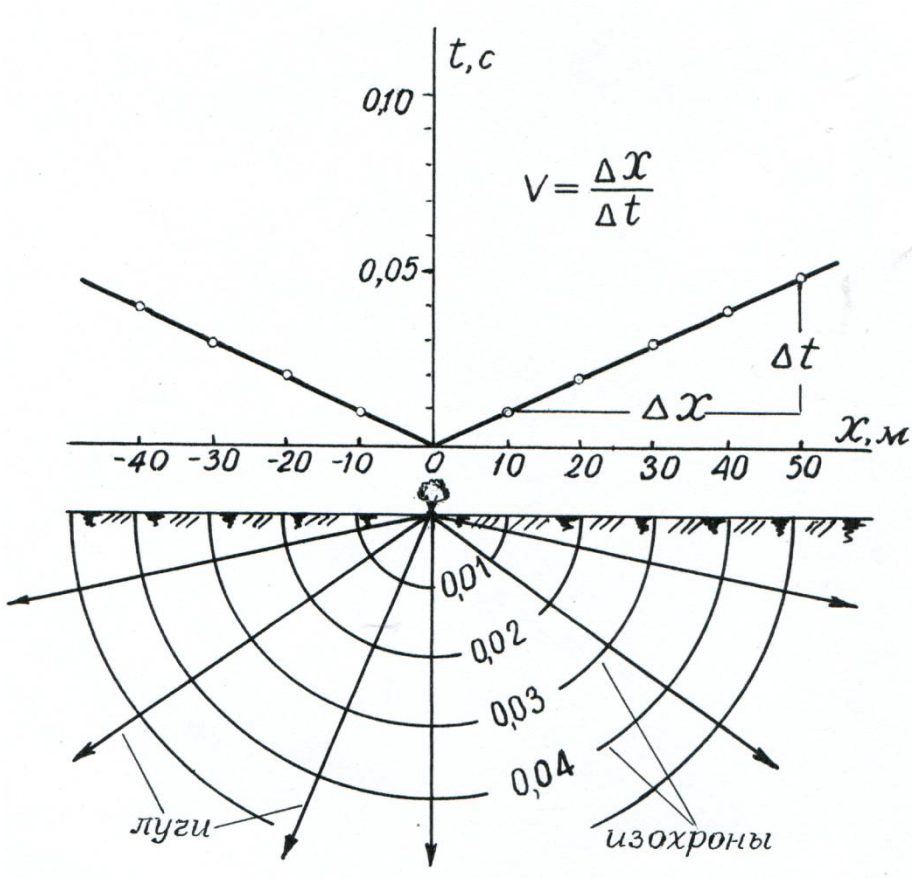


Рис. 8.3. Годограф прямой волны по профилю, проходящему через пункт возбуждения

В случае, когда $V_2 > V_1$ при некотором угле падения $\alpha_1 = i$, угол преломления становится $\alpha_2 = 90°$ и волна превращается в скользящую, распространяющуюся вдоль границы раздела со скоростью V_2 – происходит **явление полного внутреннего отражения.**

Энергия скользящей волны почти не поступает во вторую среду, большая её часть возвращается в верхнюю среду в виде **преломленных волн,** таким образом, при $\alpha_1 \geq i$, где —, упругие волны не преломляются во вторую (нижнюю) среду, а только отражаются от неё (рис. 8.4).

В результате, когда на некоторой глубине от поверхности имеется граница раздела, к точке наблюдения на поверхности будут приходить прямые, отраженные и преломленные волны продольного и поперечного типов.

В случае плоской горизонтальной границы раздела годограф отраженной волны имеет вид **гиперболы.** Асимптотами гиперболы являются линии годографа прямой волны.

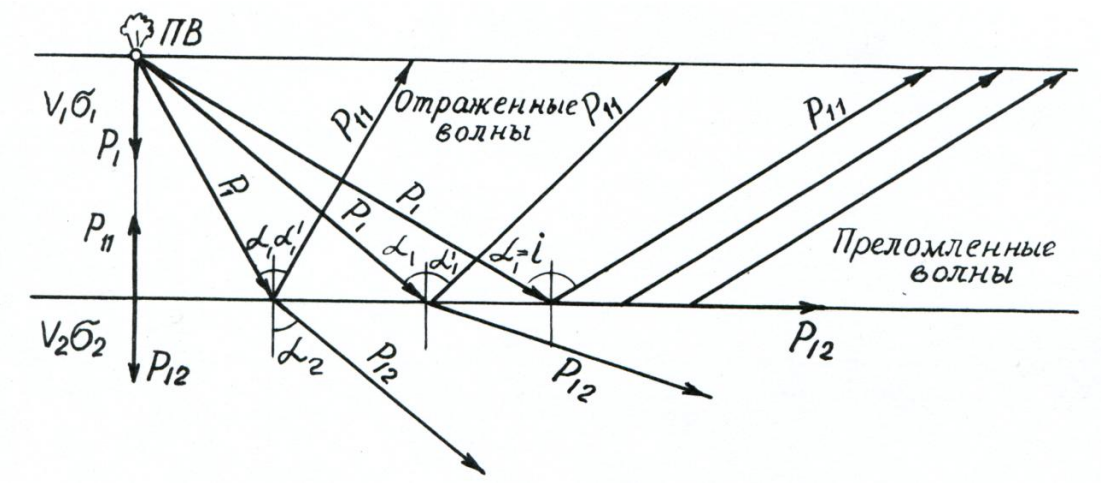


Рис. 8.4. Образование отраженных и преломленных волн (показаны только продольные волны)

В случае наклонной плоской границы раздела форма годографа отраженных волн не изменяется, но минимум гиперболы смещается в направлении восстания границы раздела на величину x_0. Величина этого смещения зависит от глубины по нормали до границы раздела h и угла наклона границы φ:

$$x_0 = 2h \sin \varphi. \qquad (8.6)$$

Годограф отраженной волны для случая плоской наклонной границы представлен на рис. 8.5.

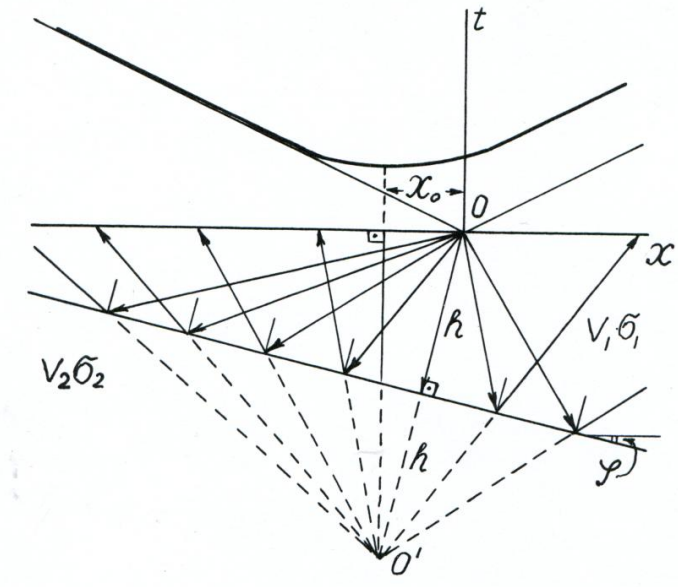


Рис. 8.5. Годографы прямой и отраженной волн в случае плоской наклонной границы

Годограф преломленных волн от плоской границы имеет вид прямой линии, так как все преломленные лучи выходят к поверхности под одинаковым углом (см. рис. 8.4).

Если в среде имеется не одна, а несколько границ раздела, от каждой из них могут быть получены свои годографы.

Характер годографов отраженных и преломленных волн подробно рассматривается в теории сейсморазведки (Бондарев, 2008).

В качестве источников упругих волн в сейсморазведке используются взрывы, мощные механизмы ударного воздействия или вибраторы.

Из истории сейсморазведки

Сейсморазведка развилась из сейсмологии – науки о землетрясениях.

О землетрясениях люди знали очень давно и давно начали их изучать. До тех пор, пока люди знали о землетрясениях, свидетелями которых были они сами, землетрясения считались довольно редким явлением природы (Иванов, 1971). Но когда были созданы приборы, реагирующие даже на слабые толчки, оказалось, что Земля вздрагивает почти непрерывно.

Самый древний сейсмоскоп – прибор для регистрации землетрясений – был создан китайским ученым-энциклопедистом, Чжан Хеном в 132 г. н. э. Общий вид прибора, восстановленный по древним рукописям, представлен на рис. 8.6, *а*. Прибор состоял из полого сферического колпака диаметром 90 см. На внешней поверхности колпака равномерно располагались 8 голов драконов, в зубах каждой из которых находился металлический шарик. Против каждой головы была укреплена лягушка с открытым ртом. Внутри колпака размещался тяжелый заостренный стержень, он опирался на 8 рычажков, идущих к головам драконов внутри колпака.

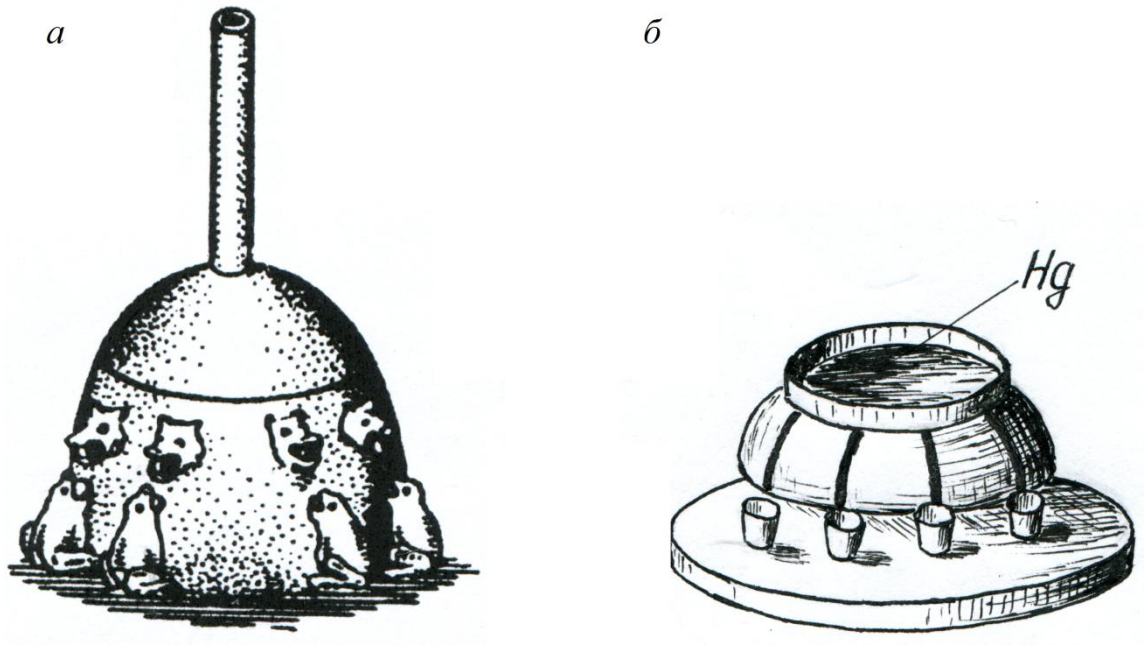


Рис. 8.6. Сейсмоскопы Чжан-Хена (*а*) и де Отфея (*б*)

При сейсмическом толчке стержень начинал падать и при этом давил на один из рычажков и изо рта соответствующего дракона вываливался шарик и падал в разинутую пасть лягушки.

Другой сейсмоскоп был разработан французом де Отфеем в 1732 г. Он представлял собой деревянную тарелку диаметром около 25 см, наполненную ртутью (рис. 8.6, *б*). По окружности тарелки на уровне поверхности ртути были нарезаны 8 желобков, ниже каждого из них установлена чашка для сбора ртути. При поступлении сейсмического толчка часть ртути из тарелки выплескивалась по желобку в одну из чашек. По тому, в какую чашку попала ртуть, можно было судить о направлении точка, а по количеству её – о его силе.

Несколько позднее были предложены сейсмографы с инертной массой. На рис. 8.7 представлен такой сейсмограф для регистрации вертикальных толчков. На кронштейне массивного корпуса подвешена инертная масса *2* на пружине *3*. При поступлении вертикального толчка корпус *1* смещается вертикально вверх, а инертная масса *2* – соответственно вниз. Перо *4* оставляет след на закопченном барабане *5*, медленно вращающемся с постоянной скоростью.

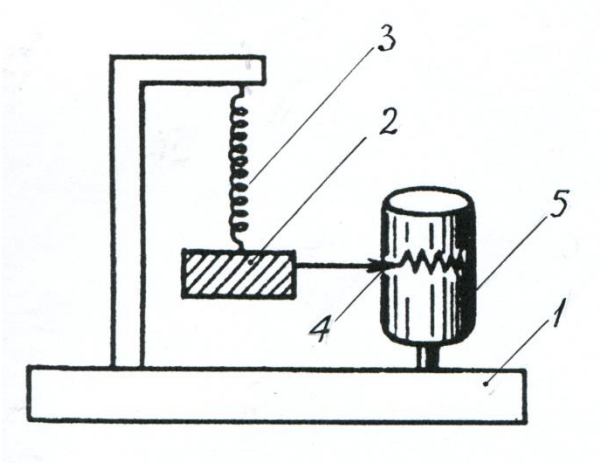


Рис. 8.7. Сейсмограф для регистрации вертикальных толчков:
1 – корпус; *2* – инертная масса; *3* – пружина; *4* – перо; *5* – закопченный барабан, медленно вращающийся с постоянной скоростью

Существуют также сейсмографы для регистрации горизонтальных толчков. Как правило, они также содержат инертную массу (груз), но подвешенную с возможностью перемещения относительно корпуса в горизонтальном направлении.

Описанные приборы неудобны для измерений в полевых условиях и по этой причине устанавливаются обычно на обсерваториях.

В 1849 г. ирландский инженер Малле провел полевые исследования по измерению скорости упругих волн, возбужденных взрывами пороховых

зарядов, в горных породах. Он первый отметил, что скорости упругих волн неодинаковы в различных горных породах.

Английский инженер Милн в 1881 г. ввел фотозапись для регистрации сейсмических сигналов.

Огромное влияние на развитие сейсмологии, теории сейсморазведки и практики построения сейсморазведочной аппаратуры оказали труды академика Б. Б. Голицына (1862-1915), который в 1911 г. был избран председателем Международной ассоциации сейсмологов.

Голицын разработал принципиально новую аппаратуру, позволяющую преобразовать механические колебания в колебания электрического тока и регистрировать эти сигналы на фотопленке с помощью зеркального гальванометра. Им была основана сеть сейсмических станций (обсерваторий) в России.

В своих «Лекциях по сейсмометрии» Голицын писал: «Можно уподобить всякое землетрясение фонарю, который зажигается на короткое время и освещает внутренность Земли, позволяя рассмотреть, что там происходит».

В 1917 г. немецкий геофизик Л. Минтроп предложил способ сейсморазведки, который теперь называется методом первых вступлений (А. Г. Иванов), а теорию этого метода в 1925-1926 гг. опубликовали независимо друг от друга академик П. П. Лазарев (1878-1942) и профессор А. И. Заборовский (1893-1968).

В 1922-1923 гг. инженер Воюцкий В. С. (1893-1968) разработал новый метод сейсморазведки – метод отраженных волн (МОВ), который применяется и поныне.

Огромный вклад в развитие сейсморазведки внёс академик Г. А. Гамбурцев (1903-1955). Он соединил достижения «большой» геофизики в области сейсмологии с прикладной разведочной геофизикой. Под его руководством был разработан и внедрен в производство корреляционный метод преломленных волн (КМПВ).

В 1960-х гг. профессор Свердловского горного института В. И. Бондарев (род. 1935) разработал и внедрил в практику сейсмический метод определения физико-механических свойств нескальных грунтов для решения инженерно-геологических задач.

Сейсморазведочная аппаратура

Основное назначение сейсморазведочной аппаратуры – измерить время прихода упругой волны к сейсмоприемнику. Для этого сейсмоприемник улавливает незначительное колебание почвы под действием упругой волны и

преобразует их в электрический сигнал. Сигнал по проводам передается в сейсмостанцию, где усиливается и регистрируется.

Совокупность сейсмоприемника, усилителя и регистратора образует **сейсмический канал**. Таких каналов в современных сейсморазведочных станциях обычно от 24 до 72.

Сейсмоприемники по принципу действия бывают электромагнитные, электродинамические, пьезоэлектрические. Устройство сейсмоприемника электродинамического типа показано на рис. 8.8. Внутри корпуса *1* сейсмоприемника находятся жестко скрепленный с ним сильный постоянный магнит *2*. На магнит свободно надета катушка *3*, с большим количеством витков тонкого медного провода. Катушка подвешена к корпусу на спиральных пружинках *4* и снабжена электрическими выводами *5*.

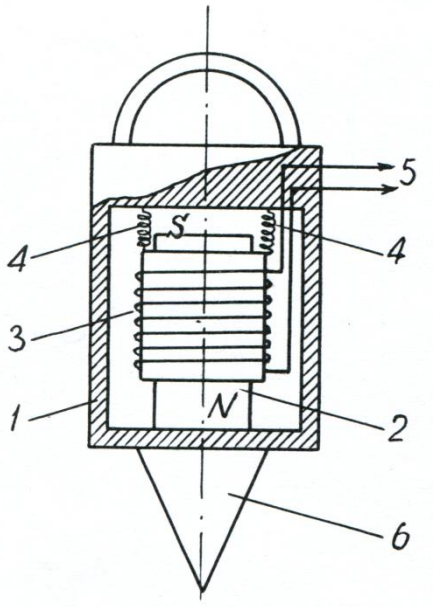


Рис. 8.8. Устройство сейсмоприемника электродинамического типа:
1 – корпус; *2* – постоянный магнит; *3* – катушка; *4* – спиральные пружинки;
5 – электрические выводы от катушки; *6* – заостренный наконечник

Перед началом измерений заостренный наконечник корпуса *6* утапливается в почву. Когда упругие колебания достигают сейсмоприемника, его корпус вместе с постоянным магнитом перемещается относительно катушки *3*, и в катушке индуцируется э. д. с. Поскольку смещения почвы невелики – микроны, то и сигнал в катушке мал – мкВ – и нуждается в усилении. **Усилитель** сейсмического канала усиливает сигнал в 10-100 тысяч раз. Кроме того, усилитель выполняет роль фильтра, усиливая нужные колебания и подавляя ненужные. Усилитель снабжен системой автоматической

регулировки усиления (АРУ), чтобы сигналы, прошедшие от разных границ, на выходе усилителя имели приблизительно одинаковые амплитуды.

Для регистрации сигналов использовался набор зеркальных гальванометров, каждый из которых записывал свой сигнал на отдельной дорожке фотобумаги, протягивающейся с постоянной скоростью 30-40 см/с. С помощью специального реле на фотобумагу наносятся метки времени через каждую 0,1 с; фиксируется также момент взрыва как начало отсчета времени.

Пример фотозаписи сейсмограмм приведен на рис. 8.9.

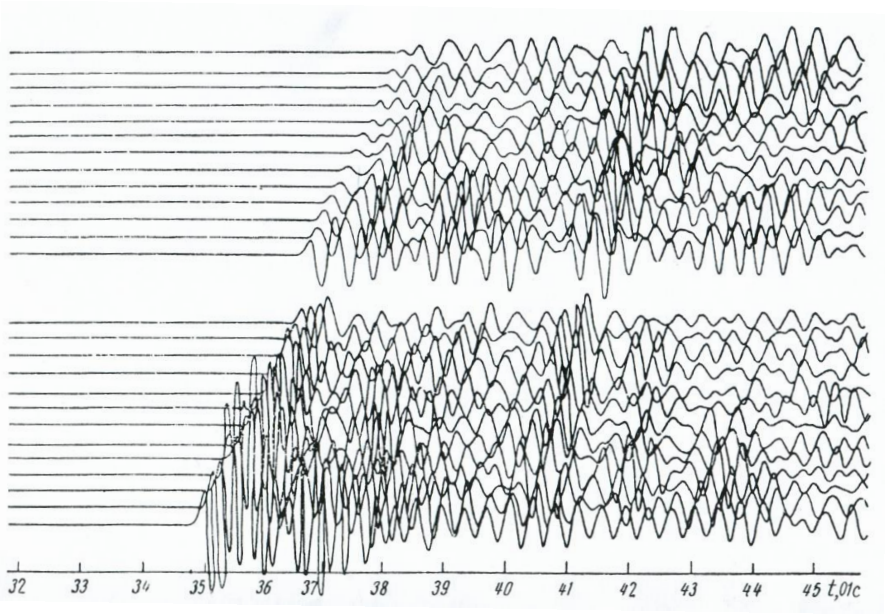


Рис. 8.9. Общий вид сейсмограммы 26-канальной сейсмостанции

В современных сейсмостанциях усиленные сигналы записываются на магнитных носителях и обрабатываются с помощью ЭВМ.

Методы сейсморазведки

К основным методам сейсморазведки относятся методы отраженных волн (МОВ), метод преломленных волн (МПВ) и глубинные сейсмические зондирования (ГСЗ).

Метод отраженных волн

Этот метод основан на регистрации упругих волн, отраженных от границ геологических сред, обладающих различной акустической жесткостью ($\gamma=V\sigma$).

Схема измерений многоканальной сейсмостанцией по методу отраженных волн представлена на рис. 8.10.

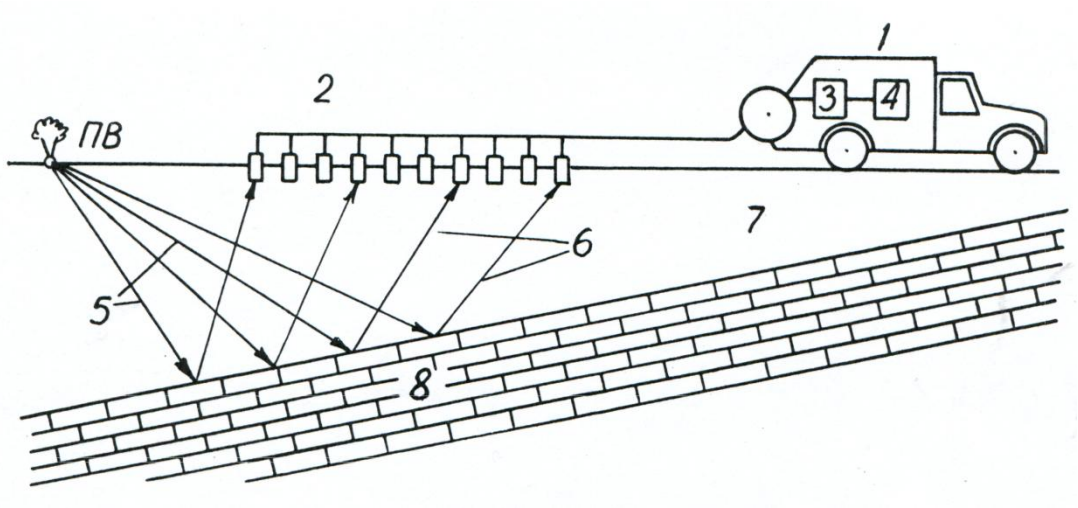


Рис. 8.10. Схемы проведения сейсморазведки МОВ (по В. К. Хмелевскому):
1 – сейсмостанция; *2* – сейсмоприемники; *3* – усилители; *4* – регистратор; *5* – лучи прямой волны; *6* – лучи отраженной волны; *7* – пески; *8* – известняки

Отраженные волны приходят к точкам наблюдений всегда после прямых и преломленных волн, поэтому их труднее выделить на сейсмограммах. По этой причине МОВ применяют для изучения глубин, начиная со 100 м и более. Волны, отраженные от более близких к поверхности границ приходят на фоне интенсивных поверхностных волн прямой волны и преломленных волн от неглубоких границ. Наиболее отчетливо проявляются отраженные волны вблизи от пункта возбуждения (ПВ), в зоне, где отсутствуют преломленные волны.

Построение лучей отраженных волн удобно проводить после того, как построено местоположение мнимого пункта возбуждения ПВ, располагающегося в точке отражения ПВ в плоскости границы раздела – в т. *O′* (см. рис. 8.5). Сейсмоприемники в МОВ обычно устанавливают по обе стороны от пункта возбуждения. Метод позволяет регистрировать одновременно до 10-15 отражающих границ на глубине до 5-7 км.

Метод преломленных волн (МПВ)

Метод МПВ появился исторически ранее в модификации первых вступлений, поскольку на сейсмограммах они видны отчетливее других и их легче выделить. На некотором расстоянии от ПВ преломления волны приходят раньше, чем прямые, поскольку распространяются с более высокой скоростью. По этой причине для регистрации преломленных волн сейсмоприемники устанавливают на некотором расстоянии *x* от пункта возбуждения.

В случае наклонной границы раздела ветвь годографа преломленных волн со стороны восстания границы раздела направлена гораздо более полого, чем стороны погружения её.

Развитие метода преломленных волн привело к созданию **корреляционного метода преломленных волн** (академик Г. А. Гамбурцев). В методе КМПВ используются не только первые, но и последующие вступления. Этим методом можно выделять до пяти и более преломляющих горизонтов на глубине от нескольких метров до 10 км и более.

По годографам преломленных волн определяют скорость волн в преломляющем горизонте, а это позволяет судить о его составе.

Глубинные сейсмические зондирования (ГСЗ) применяют для изучения строения литосферы на глубине от 10 до нескольких десятков километров. Упругие колебания при этом возбуждают источником большой мощности. Обычно это взрыв заряда массой около 1 т в глубоком естественном водоеме. Регистрируют преломленные волны на расстояниях от 50 до 300 км от пункта взрыва.

Области применения сейсморазведки и решаемые ею задачи

1. Исследование глубинного строения Земли началось на рубеже XIX и XX столетий в ходе наблюдений за распространением упругих волн естественных землетрясений. Именно по данным сейсмических наблюдений были установлены глубины разделов между всеми концентрическими оболочками Земли.

В 1906 г. Р. Д. Олдгем, изучая распространение продольных, поперечных и поверхностных волн, пришёл к выводу о том, что Земля имеет большое и четко выраженное центральное ядро.

В 1909 г. Андрей Мохоровичич, работая на сейсмологической обсерватории, обнаружил чёткую границу между земной корой и нижележащей оболочкой. Эта граница была названа по его имени – границей Мохо.

Также по сейсмическим данным были обнаружены астеносфера и граница Конрада (между гранитным и базальтовым слоями земной коры).

Исследование глубинного строения земной коры производится по данным методов отраженных и преломленных волн, а также ГСЗ. Было установлено, что граница Конрада фиксируется не везде, а «отбивается» лишь эпизодически. Хорошо отмечается граница отложений осадочного чехла и кристаллического фундамента. Хорошо выделяются зоны глубинных разломов.

По смещению отражающих площадок по разные стороны от разломов делают выводы о вертикальных перемещениях соседних блоков коры.

Поиски нефтегазоносных структур – главная задача сейсморазведки. На первых этапах региональных сейсмических работ изучают поверхность кристаллического фундамента, поскольку многие структуры в осадочном чехле бывают унаследованными.

Для решения этой задачи применяют методы МОВ и КМПВ.

Результаты структурной сейсморазведки представляют в виде временных разрезов. На горизонтальной оси откладываются расстояния или пикеты наблюдения, по вертикальной (ось глубины) – время прихода определенной упругой волны к каждому пункту. На временных разрезах четко фиксируются все отражающие границы и отрисовываются глубинные геологические структуры.

Так, например, на временном сейсмическом разрезе, представленном на рис. 8.11, четко выделяются два соляных купола и прогиб между ними. Сейсмический профиль пройден по акватории Северного моря. Аналогично ведутся поиски угленосных структур.

Решение задач инженерной геологии – определение глубины расположения скальных пород, изучение физико-механических свойств нескальных грунтов – имеет важное значение при проектировании и строительстве крупных гидротехнических сооружений, заводов и атомных электростанций. Как уже отмечалось, одним из пионеров применения сейсморазведки с целью решения инженерно-геологических задач является профессор В. И. Бондарев. Под его руководством выполнялись такие работы на площадках строительства Чернобыльской и Ереванской АЭС, АЭС в Северной Корее, КамАЗа и др. объектов.

Сейсмическое районирование территорий позволяет предусмотреть и предотвратить негативные последствия землетрясений.

На памяти ныне живущего поколения наших соотечественников разрушительные землетрясения в Ашхабаде (1946) и Ташкенте (1966), а также в Армении (1986). Работы по сейсмическому районированию на Урале проводились Институтом геофизики УрО РАН (д.г.-м.н. Халевин Н. И.) и Комитетом по природным ресурсам (д.г.-м.н. Кашубин С. Н.). Были собраны данные инструментальных наблюдений, устные и письменные свидетельства за последние 100 лет. Как удалось установить, большая часть уральских землетрясений имеет техногенный характер, некоторые связаны с ударами метеоритов, но около 40 % – это землетрясения, обусловленные подвижками крупных блоков земной коры. Наиболее сильное из этих землетрясений – Билимбаевское (1914).

И хотя в Уральском регионе не приходится ожидать землетрясения более 6 баллов, сейсмоопасность здесь очень велика из-за наличия большого количества крупных инженерных сооружений и вредных производств. Составлена карта сейсмоопасных зон от ЮУБРа до СУБРа.

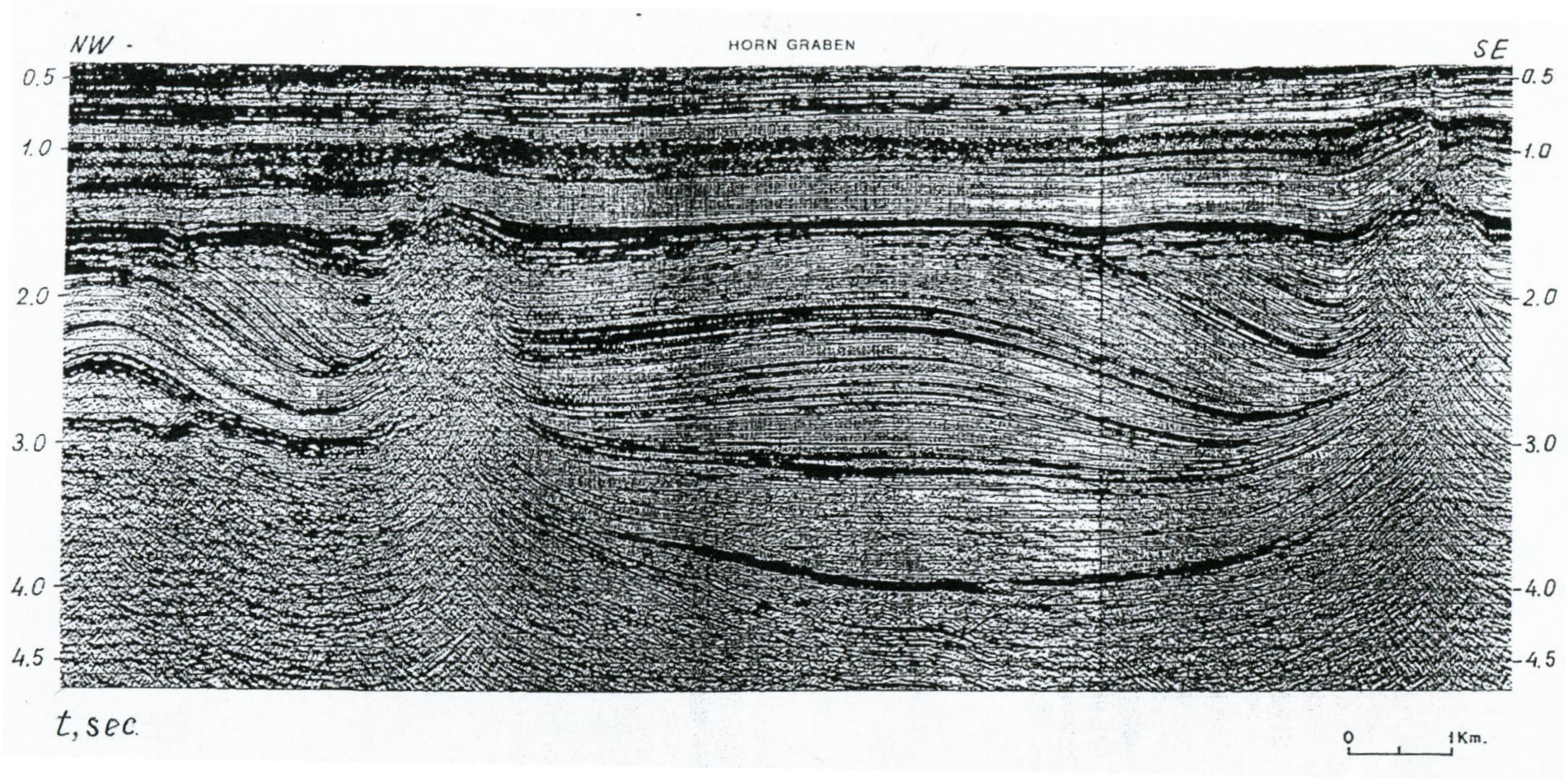


Рис. 8.11. Отображение двух солевых куполов и прогиба между ними на временном разрезе по одному из сейсмических профилей в Северном море (Бондарев, 2003)

Контрольные вопросы

1. Назовите основные типы упругих волн в горных породах.
2. От чего зависит скорость распространения упругих волн?
3. Назовите основные законы геометрической сейсмики.
4. При каких условиях происходит полное внутренне отражение упругих волн?
5. Какие волны приходят к сейсмоприемнику раньше: прямые или отраженные? Отраженные или преломленные?
6. Какую форму имеет годограф прямых волн?
7. Какую форму имеет годограф отраженных волн?
8. Что называется годографом?
9. Какие горные породы обладают наиболее высокими скоростями упругих волн? Какие наиболее низкими?
10. Какие устройства входят в состав сейсмического канала?
11. Как устроены сейсмоприемники?
12. Какие регистрирующие устройства применяются в сейсморазведке?
13. Какие способы применяются в сейсморазведке для возбуждения упругих волн?
14. Назовите известные Вам сейсморазведочные методы.
15. Перечислите геологические задачи, решаемые сейсморазведкой.
16. Что представляет собой временной сейсмический разрез?

Лекция 9

ЯДЕРНЫЕ МЕТОДЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ядерные методы основаны на измерении радиоактивных излучений, образующихся при естественных или искусственно вызванных ядерных превращениях.

Краткие сведения о радиоактивности и радиоактивных излучениях

Радиоактивность – это способность атомных ядер некоторых элементов самопроизвольно превращаться в ядра других элементов с испусканием заряженных частиц и электромагнитного излучения. При радиоактивных превращениях происходит переход ядер в более устойчивое энергетическое состояние. Избыток энергии излучается в виде α и β частиц, протонов и γ-квантов.

Радиоактивный распад ядер происходит по экспоненциальному закону:

(9.1)

где N_0 – исходное количество радиоактивного вещества;

N – количество радиоактивного вещества через время t после начала распада;

λ – постоянная распада, связанная с периодом полураспада соотношением:

$$\lambda = \frac{}{} \qquad (9.2)$$

где $T_{1/2}$ – период полураспада вещества, т. е. время, за которое распадается половина имеющегося радиоактивного вещества.

Каждое из радиоактивных веществ имеет свой период полураспада, например: U^{238} – $4{,}5 \cdot 10^9$ лет, Ra^{226} – 1590 лет, Rn – 3,825 дня.

Уран U^{238}, актиноуран U^{235} и торий Th^{232}, распадаясь, образуют длинные цепочки или ряды дочерних радиоактивных элементов, которые заканчиваются нерадиоактивным свинцом.

В результате распада калия-40 образуются стабильные элементы аргон и кальций.

88 % ядер K^{40} испытывают β-распад: $_{19}K^{40} \rightarrow e^- + {}_{20}Ca^{40} + \gamma$.

При β-распаде атомный вес элемента практически не изменяется, а атомный номер увеличивается на единицу. Соответственно, вновь образовавшийся элемент смещается в таблице Менделеева на 1 клетку вправо.

Остальные 12 % K^{40} испытывают электронный захват: ядро захватывает электрон с ближайшей к ядру К-орбиты, в результате чего один из протонов ядра превращается в нейтрон:

$$_{19}K^{40} + e^{-} \rightarrow {}_{18}Ar^{40} + \nu.$$

β-частицы – это электроны, имеющие единичный отрицательный заряд, а масса их в 1848 раз меньше массы нейтрона (или протона). Причина β-распада – это превращение нейтрона в протон. Энергия β-частиц может быть любой, а максимальная скорость их близка к скорости света ( ). Проникающая способность β-частиц в воздухе – несколько десятков сантиметров, в горных породах – несколько миллиметров.

α-частицы представляют собой ядра атомов гелия. Их масса – 4 а.е., заряд +2, скорость α-частиц в воздухе . Проникающая способность – ничтожно мала. От них можно защититься листом бумаги.

Новый элемент, образовавшийся в результате α-распада, смещается в таблице Менделеева на 2 клетки влево относительно материнского.

γ-излучение – это электромагнитное излучение, которое имеет высокую частоту и малую длину волны, $\lambda \leq 0{,}1$ нм. Скорость распространения в воздухе . Энергия γ-квантов зависит от их частоты ν:

(9.3)

где h – постоянная Планка, $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

γ-излучение сопровождает β- или α-распад и испускается не непрерывно, а отдельными «порциями» – квантами и потому проявляет и волновые и корпускулярные свойства.

γ-излучение имеет большую проникающую способность – в горных породах оно может проникать на глубину 40-60 см. По этой причине γ-излучение находит широкое применение в геофизических исследованиях.

Поглощение γ-излучения в веществе описывается формулой:

(9.4)

где I_0 – мощность источника излучения;

I – интенсивность после прохождения через слой вещества толщиной d;

μ – коэффициент поглощения, 1/м, он зависит от плотности и атомного номера вещества, а также от энергии γ-излучения.

В СИ радиоактивность измеряется в беккерелях. 1 Бк соответствует 1 распаду в с.

Внесистемная единица – кюри. 1 Ки соответствует радиоактивности, которой обладает 1 г Ra. 1 Ки = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк.

История радиоактивных методов

Явление радиоактивности было открыто французским физиком Антуаном Анри Беккерелем (1852-1908).

В 1896 г. А. Беккерель изучал люминесценцию различных веществ и при этом случайно обнаружил, что только одно из них, а именно соль урана, сильно засвечивает заэкранированную фотопленку. Он также отметил, что лучи, исходящие из урановых соединений, ионизируют воздух (А. И. Иванов).

Многие физики приступили к изучению этого явления, и в 1898 г. супруги Пьер Кюри (1859-1906) и Мария Склодовская-Кюри (1867-1934) открыли радиоактивные элементы полоний и радий и доказали независимость процесса распада от внешних условий – температуры, давления и пр.

Эти открытия дали возможность Э. Резерфорду (1871-1937) основательно заняться изучением радиоактивности и строения атома. Так, в 1899 г. Резерфордом были открыты α- и β-лучи и совместно с Ф. Содди установлен закон радиоактивного распада (9.1).

В 1902 г. Э. Резерфорд и его ученики установили существование атомного ядра и разработали планетарную модель атома.

Весьма важным для ядерной физики явилось открытие супругами И. Кюри (1897-1956) и Ф. Жолио-Кюри (1900-1958) явления искусственной радиоактивности. В 1934 г., облучая вещества потоком α-частиц, они обнаружили появление в некоторых веществах радиоактивных ядер.

В 1940 г. советские физики Г. Н. Флёров и К. А. Петржак открыли явление самопроизвольного деления ядер урана на осколки с испусканием 2-3 нейтронов.

Это явление в будущем позволило получить цепную ядерную реакцию и овладеть атомной энергией.

Первая управляемая ядерная реакция была осуществлена в 1942 г. в США итальянским физиком Э. Ферми (1901-1954), а в 1945 г. также в США было проведено испытание первой атомной бомбы.

А в 1954 г. в СССР была построена и начала работать первая в мире атомная электростанция.

По мере развития ядерной физики разрабатывались и новые методы ядерно-физических исследований.

Так, еще в 1902 г. П. Кюри, а за ним и Э. Резерфорд высказали предположение о том, что на основе постоянства скорости радиоактивного распада можно определять абсолютный возраст горных пород, а в 1907 г. эта идея была реализована английским физиком Б. Болтвудом, который смог определить абсолютный возраст урансодержащих минералов по содержанию в

них урана и конечного продукта его распада – свинца (Возженников, Белышев, 2006).

Позднее в дополнение к уран-свинцовому методу были разработаны и другие методы определения абсолютного возраста.

В Советской России в 1922 г. был организован Радиевый институт Академии наук, основателем которого и директором на протяжении 15 лет был В. И. Вернадский (1863-1945). Этим институтом были проведены первые в мире полевые работы, связанные с изучением радиоактивности на урановом месторождении Тюя-Муюн (Средняя Азия). Здесь в 1923 г. А. П. Кириковым впервые был применен эманационный радоновый метод с целью поисков рудных тел под наносами. Здесь же в 1923-1925 гг. Л. Н. Богоявленским впервые были выполнены измерения естественного γ-излучения с целью поисков полезных ископаемых.

В 1933 г. в «Журнале геофизики» была опубликована первая статья по гамма-каротажу скважин (авторы Г. В. Горшков и Л. М. Курбатов).

Дальнейшее развитие ядерно-геофизических методов связано с геофизическими исследованиями в скважинах и потому будет рассмотрено нами в следующей лекции.

Радиоактивность горных пород

Радиоактивность горных пород зависит от содержания в них естественных радиоактивных элементов (е.р.э.) – урана, тория и калия. При этом под радиоактивностью урана и тория имеют в виду и радиоактивность всех их дочерних элементов.

Таблица 9.1

Радиоактивность горных пород

Горная порода	Радиоактивность		
	пониженная	средняя	повышенная
Изверженные горные породы:			
кислые			
основные			
ультраосновные			
Осадочные горные породы:			
глины			
песчаники			
известняки			
калийные соли			
Метаморфические породы:			
гнейс			
мрамор			

Таким образом, радиоактивность изверженных пород убывает от кислых к основным, что связано с уменьшением содержания в них калия и других радиоактивных элементов (U и Th).

Радиоактивность обломочных осадочных пород убывает с увеличением крупности обломков.

Радиоактивность метаморфических пород зависит от активности исходных пород (осадочных или изверженных) и от привноса вещества.

Измерение радиоактивности

Радиоактивные излучения, проходя через вещество, взаимодействуют с ним, создавая различные эффекты, по которым и судят о мощности дозы облучения.

Основной деталью любой аппаратуры, предназначенной для регистрации радиоактивных излучений, является детектор излучения, т. е. то устройство, которое преобразует радиоактивное излучение в электрический сигнал.

В настоящее время в качестве детекторов излучения применяют газоразрядные и сцинтилляционные преобразователи.

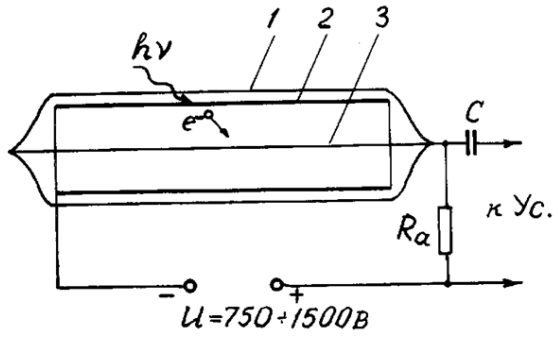


Рис. 9.1. Газоразрядный детектор γ-излучения (счетчик Гейгера)

Газоразрядный преобразователь (счетчик Гейгера) представляет собой стеклянную трубку, заполненную инертным газом. На внутреннюю поверхность трубки нанесен тонкий слой металла, а по оси трубки протянута металлическая нить (рис. 9.1). На слой металла (катод) подают отрицательное, а на нить (анод) – положительное напряжение порядка 700-1500 В. Когда в счетчик попадает γ-квант, он выбивает из слоя металла электрон, электрон притягивается к аноду и, разгоняясь под действием большой разности потенциалов, ионизирует газ в трубке, и через неё проходит импульс тока.

Сцинтилляционный преобразователь состоит из двух деталей: кристалла-сцинтиллятора *1* и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) *2* (рис. 9.2).

ФЭУ содержит фотокатод *3*, на который подают отрицательное напряжение, и набор положительных электродов (динодов) *4, 5*, напряжение на которых увеличивается по мере удаления от фотокатода. Самое высокое положительное напряжение на аноде *6*. Когда в кристалл-сцинтиллятор попадает γ-квант, он вызывает в нем вспышку света – сцинтилляцию. В

результате этой вспышки из фотокатода выбивается электрон, который притягивается ближайшим динодом и разгоняется настолько, что выбивает из него 2 электрона, эти 2 электрона притягиваются следующим, еще более положительным динодом и тоже выбивают по 2 электрона каждый. Процесс развивается лавинообразно, так что в результате через ФЭУ проходит импульс тока. Коэффициент усиления ФЭУ – от 10^5 до 10^{10} раз.

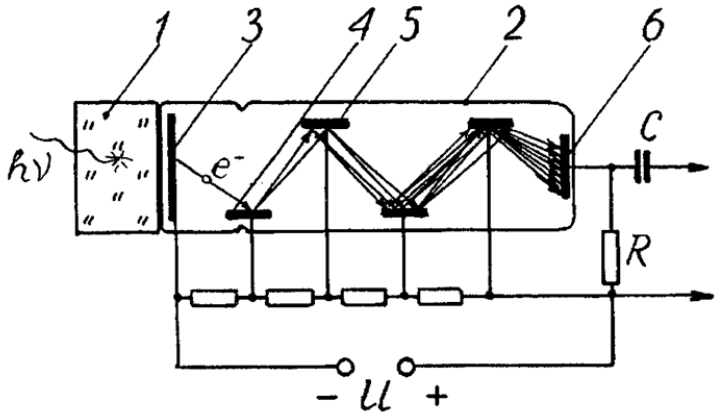


Рис. 9.2. Сцинтилляционный детектор γ-излучения:
1 – кристалл-сцинтиллятор; *2* – фотоэлектронный умножитель; *3* – фотокатод; *4* – первый динод; *5* – второй динод; *6* – анод ФЭУ

Кроме детекторов излучения приборы для измерения радиоактивности – радиометры содержат такие электронные блоки как усилители, дискриминаторы, нормализаторы, интегрирующие цепочки и регистрирующие устройства.

Радиометры используются для измерения радиоактивности на поверхности земли, в скважинах и в воздухе.

Измеряемая величина имеет смысл мощности экспозиционной дозы – МЭД и измеряется либо в пА/кг (СИ), либо в мкР/ч (внесистемная единица): 1 пА/кг ≈ 14 мкР/ч.

Радиометрические методы, область их применения и решаемые задачи

Картирование горных пород под наносами выполняется с помощью обычной γ-съемки. Поскольку для каждой литологической разности горных пород присущ свой диапазон изменения естественной радиоактивности, то есть возможность дифференцировать породы по этому показателю.

Так, например, во время учебной практики по радиометрии в пос. В. Сысерть студенты-геофизики легко обнаруживают под наносами на учебном полигоне мощную дайку гранитов, пересекающую толщу графито-

кварцевых сланцев к северу от базы практик. Естественная радиоактивность сланцев 4-6 мкР/ч, а гранитов – до 15-18 (рис. 9.3).

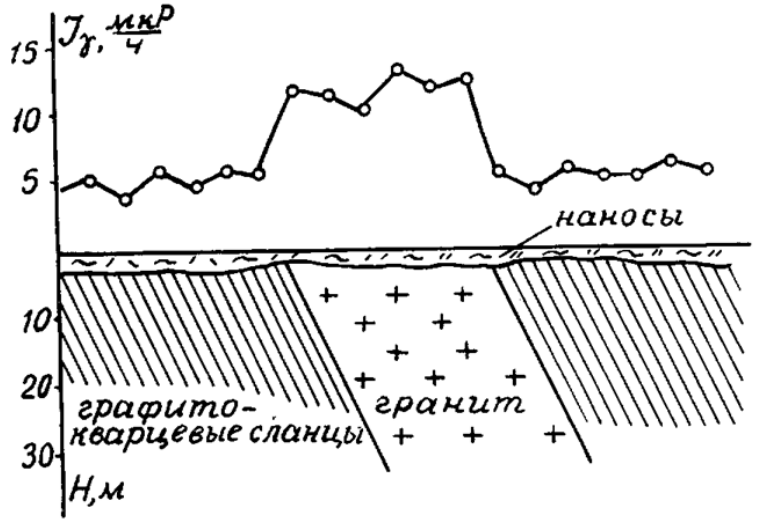


Рис. 9.3. Профиль гамма-съемки над дайкой гранитов под наносами (База геофизических практик УГГУ в пос. В. Сысерть)

Поиски месторождений радиоактивных металлов – основная, но не единственная задача радиометрии и ядерных методов.

Главное промышленное значение имеют месторождения урана, который является ценным энергетическим сырьем. Основной метод, применяемый для решения этой задачи, – γ-съемка. Гамма-съемка может применяться в пешеходном или в аэроварианте. В любом варианте она заключается в измерении γ-излучения горных пород по определенной сети с непрерывным прослушиванием сигнала и фиксированием показаний радиометра на точках наблюдения.

Для увеличения глубинности γ-съемки детектор γ-излучения помещают в мелкие скважины – шпуры глубиной до 50 см – это так называемая **«шпуровая γ-съемка».**

В 60-х и 70-х годах прошлого века отечественная промышленность выпускала самоходные установки СУГП-10 для глубинных поисков урана. Эти установки монтировались на гусеничном шасси и были в состоянии доставить детектор γ-излучения на глубину в 10 м, задавливая его в рыхлые отложения.

Повышенную глубинность (до 6-8 м) обеспечивает также **эманационная съемка**. Эта съемка заключается в том, что на местности с помощью лома и кувалды бурят шпуры глубиной около 70 см, из которых откачивают пробы почвенного воздуха и посредством эманометра определяют в них содержание эманации радия-радона. На рис. 9.4 представлена схема измерений при эманационной съемке.

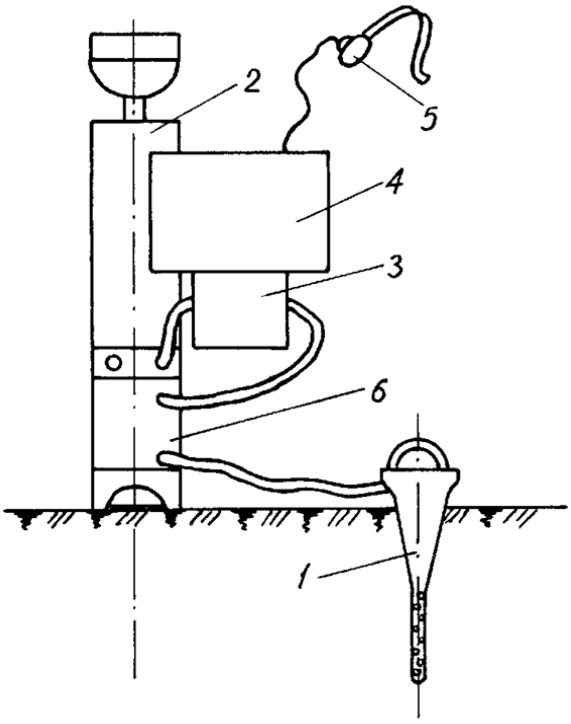


Рис. 9.4. Схема измерений при эманационной съемке:
1 – пробоотборник; *2* – ручной насос; *3* – сцинтилляционная камера; *4* – измерительный пульт эманометра; *5* – наушник; *6* – фильтр пробы почвенного воздуха

При **разведке** месторождений радиоактивных руд прибегают к измерениям γ-излучения в буровых скважинах – гамма-каротажу. По данным гамма-каротажа определяют мощность рудных подсечений и содержание в них урана, т. е. получают сведения, необходимые для подсчета запасов месторождений.

Определение содержаний нерадиоактивных элементов производится с помощью метода нейтронной активации, который применяют в основном в скважинах.

Для этого определенный участок скважины сначала облучают потоком нейтронов, а затем измеряют γ-излучение образовавшихся под действием нейтронного облучения искусственных радиоактивных изотопов. Каждый из таких изотопов характеризуется своей энергией γ-излучения и своим периодом полураспада. Так что, настроив гамма-спектрометр на энергию γ-излучения интересующего нас изотопа, по количеству γ-квантов с такой энергией можно судить о содержании нужного изотопа в исследуемой среде.

Таким методом определяют содержание меди в колчеданных рудах, алюминия в бокситах, марганца в марганцевой руде, фосфора в фосфоритах и некоторых других элементов в их рудах.

Метод нейтронной активации находит применение не только в геологии, но и в археологии, нумизматике и даже в криминалистике.

Так, например, с помощью этого метода удалось диагностировать странную болезнь И. Ньютона, от которой он страдал целый год, будучи в возрасте 50 лет. Биографы Ньютона называют период 1692-1693 гг. «черным годом» его жизни. После этой болезни Ньютон прожил еще более 30 лет, но ни врачи, ни он сам не могли объяснить, что с ним происходило в тот «черный год». Загадка прояснилась только через 300 лет. Нейтронно-активационный

анализ сохранившихся 15 волос Ньютона показал, что он перенес тяжелые последствия ртутного отравления (Вахромеев, 1988).

Определение абсолютного возраста горных пород и др. объектов основано на постоянстве скорости распада радиоактивных элементов и независимости её от внешних условий.

Таким образом, если определить количество исходного радиоактивного элемента и количество элемента, образовавшегося в результате распада, то нетрудно рассчитать время, которое потребовалось для образования «дочернего» элемента.

В настоящее время разработаны и применяются свинцово-урановый, уран-гелиевый, калий-аргоновый, рубидий-стронциевый, радиоуглеродный и некоторые другие методы определения абсолютного возраста.

Так, например, по Pb-U методу было установлено, что возраст Земли составляет 4,6±0,1 млрд лет, Луны (по образцам лунного грунта) – 4,5 млрд лет.

Интересен **радиоуглеродный метод** определения абсолютного возраста. Под действием космических лучей в атмосфере Земли из стабильных изотопов углерода $_6C^{12}$ и $_6C^{13}$ образуется радиоактивный изотоп $_6C^{14}$. Он распадается β-распадом с периодом полураспада $T_{1/2}$ = 5570 лет.

Этот радиоактивный углерод окисляется и попадает в состав углекислого газа в атмосфере. Растения поглощают углекислый газ из атмосферы, а животные питаются растениями. Поэтому и растительные, и животные организмы содержат радиоуглерод (в количестве, в 10^{10} раз меньшем, чем количество стабильного углерода).

В процессе жизнедеятельности организмов это соотношение поддерживается на постоянном уровне. Как только организм умирает, приток радиоуглерода в нем прекращается и доля этого изотопа в организме постепенно уменьшается с периодом полураспада $T_{1/2}$ = 5570 лет. Следовательно, если измерить количество нераспавшихся атомов радиоуглерода в исследуемом образце, то можно вычислить время, прошедшее с момента прекращения жизнедеятельности организма, по формуле:

— — (9.5)

где I_0 характеризует исходную радиоактивность атмосферного углерода,

I – активность исследуемого объекта;

λ_c – постоянная распада радиоуглерода.

Поскольку в последние 20-30 тыс. лет интенсивность космического излучения практически не изменялась, то концентрация радиоуглерода в атмосфере, животных и растительных организмах тоже не изменялась.

Измерения показывают, что радиоактивность 1 г углерода C^{14} характеризуется 15 распадами в 1 мин.

Радиоуглеродный метод применим для датировки образований, возраст которых не превышает 20 тыс. лет. Для него пригодны древесный уголь (обугленное вещество), древесина, торф, кости, раковины.

Метод испытывался на объектах, возраст которых был заранее известен по археологическим данным. Полученные результаты отличались от археологических данных не более чем на ± 10 % относительных (Возженников, Белышев, 2006).

Решение инженерно-геологических и гидрогеологических задач. С помощью методов ядерной геофизики определяют плотность и влажность грунтов.

Для определения плотности разработаны специальные γ-плотностемеры. Они бывают двух типов: одни (приставные) измеряют плотность грунта по интенсивности рассеянного этим грунтом γ-излучения, другие (погружные) определяют плотность по интенсивности прошедшего через грунт γ-излучения. Как те, так и другие содержат источник γ-излучения и детектор γ-квантов, но в приборах первого типа источник и детектор разделены свинцовым экраном и прикладываются к поверхности исследуемого грунта (рис. 9.5).

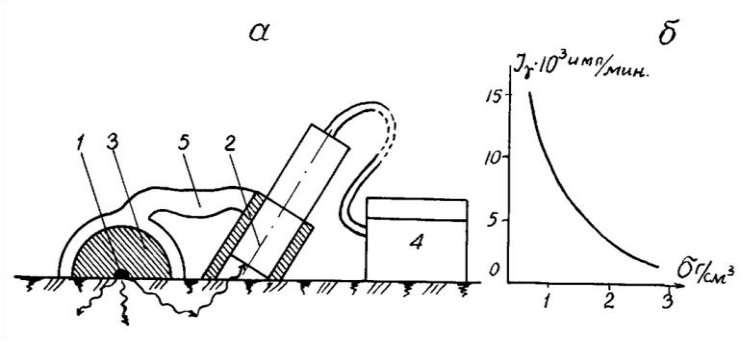


Рис. 9.5. Гамма-гамма плотностемер «приставного» типа (*а*) и его градуировочный график (*б*):
1 – источник гамма-излучения; *2* – детектор рассеянного гамма-излучения; *3* – экран; *4* – измерительный пульт; *5* – рукоятка

В приборах второго типа (рис. 9.6) источник и детектор погружаются в исследуемый грунт. Чем больше плотность грунта, тем меньше γ-квантов попадает на детектор. Для точного перехода от интенсивности измеренного γ-излучения к плотности приборы градуируют на образцах грунта с известной плотностью.

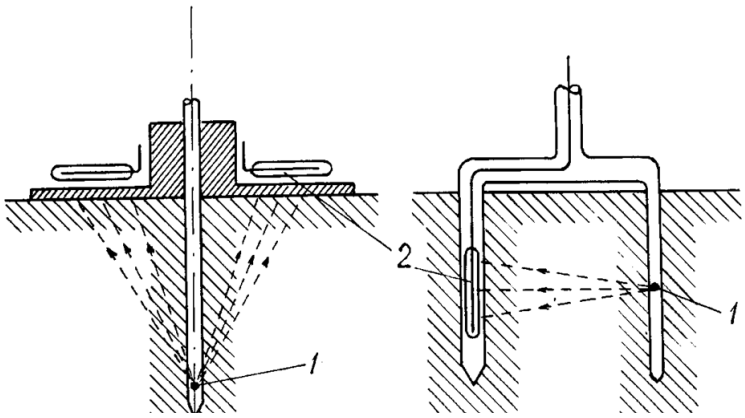


Рис. 9.6. Плотностемеры «погружного» типа:
1 – источник гамма-излучения; *2* – детекторы проходящего гамма-излучения

Влагомеры конструктивно устроены так же, как плотностемеры, только вместо источника γ-излучения в них установлены источники нейтронов, и измеряют приборы интенсивность γ-излучения, наведенного потоком нейтронов. При малом расстоянии между источником нейтронов и детектором γ-квантов интенсивность наведенного γ-излучения увеличивается с ростом водородосодержания среды и, следовательно, с ростом влажности.

Определение направления и скорости потока подземных вод производят так называемым **«методом индикаторов»**, причем в качестве индикатора используют какой-нибудь радиоактивный изотоп. Чаще всего это йод I^{131} с периодом полураспада 8,14 дня. Для осуществления метода бурят куст из 6 или 8 наблюдательных скважин, вскрывающих исследуемый горизонт. В середине куста бурят еще одну скважину – испытательную (рис. 9.7), в которую и запускают тот самый индикатор. После этого, проводя измерения естественной радиоактивности в наблюдательных скважинах, следят за появлением в них радиоактивного индикатора. По тому, в какой скважине появился индикатор, определяют направление движения подземных вод, а по времени, прошедшему от запуска индикатора до его появления, рассчитывают скорость фильтрации.



Рис. 9.7. Схема расположения скважин при определении направления и скорости подземных вод методом индикаторов

Аналогичный метод «меченых атомов» применяют при контроле разработки нефтяных месторождений (Сковородников, 2009).

Предсказание землетрясений – это проблема, которая давно волнует людей, живущих в сейсмоопасных районах. В Японии с этой целью разводят золотых рыбок – незадолго до землетрясения рыбки начинают беспокойно себя вести. Перед землетрясениями проявляют беспокойство и домашние животные (лошади, собаки, кошки).

В 1960-х гг. ученые из Узбекистана Б. З. Мавашев и В. И. Уломов обратили внимание на то, что за несколько месяцев до землетрясения начинает резко увеличиваться содержание радона в подземных водах. Это объясняется тем, что перед началом землетрясения в породах возникают упругие деформации, приводящие к разрушению минералов и к раскрытию трещин. В результате в поры горных пород начинает интенсивно поступать радон –

газообразный продукт распада радия. По капиллярам, имеющимся в горных породах, радон устремляется к поверхности земли и попадает в водоносные пласты (Филиппов, 1974). Так, перед началом Ташкентского землетрясения в 1966 г. в пробах воды, отобранных из скважины, пересекающей водоносный пласт на глубине 1,3-2,4 км, содержание радона увеличилось почти в 3 раза по сравнению со «спокойным» периодом (рис. 9.8).

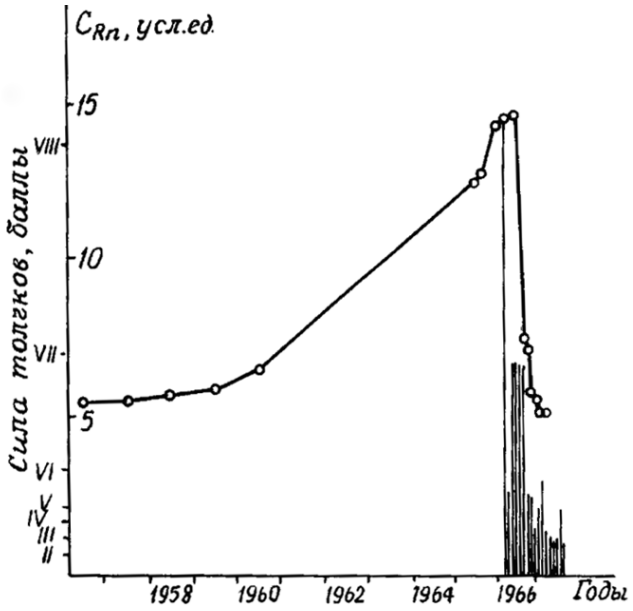


Рис. 9.8. Изменение концентрации радона в подземных водах Ташкентского бассейна до и после землетрясения 1966 г. Вертикальные линии показывают интенсивность толчков, по (Филиппов, 1974)

После землетрясения содержание радона в подземных водах резко падает, поскольку в результате подземных толчков нарушаются капилляры, по которым радон поступал в водоносный пласт.

Перед землетрясением подземные воды обогащаются не только радоном, но и гелием, аргоном и ураном.

Так что, измеряя содержание этих газов в воде, можно предсказывать землетрясение.

Контрольные вопросы

1. Что такое радиоактивность?
2. По какому математическому закону происходит радиоактивный распад?
3. Что такое период полураспада?
4. Если у Вас сегодня имеется 1 кг радия, сколько его останется через 1590 лет? А через 3180 лет? Период полураспада радия 1590 лет.
5. Дайте характеристику α-, β-, γ-излучению.
6. Какие разновидности горных пород обладают наибольшей радиоактивностью? Какие наименьшей?
7. Как устроен и как работает счетчик Гейгера?
8. Как устроен сцинтилляционный детектор?
9. Можно ли с помощью радиоактивных методов определять содержание нерадиоактивных элементов?

10. Назовите методы определения абсолютного возраста горных пород и поясните, на чем они основаны.
11. Назовите области применения ядерно-физических методов и решаемые ими задачи.
12. Где еще, кроме геологии, находят применение методы радиометрии и ядерно-физических исследований?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В нашем курсе «Введение в специальность «Технологии геологической разведки» для геофизических специализаций мы познакомились с содержанием основных отраслей разведочной геофизики.

В будущем специалисту по геофизическим методам в своей производственной деятельности придется заниматься не какой-то одной из геофизических разведок, а, по меньшей мере, несколькими из них, потому что геофизические методы применяются комплексно. Это позволяет уменьшить неоднозначность интерпретации и сэкономить средства за счет более обоснованного и целенаправленного проведения бурения и проходки горных выработок.

Работа в геофизических партиях и экспедициях имеет свою специфику, связанную с выполнением исследований в полевых условиях – в тундре, тайге, горах и пустынях. Неустроенный быт – жизнь в палатках, ночевки у костра и т. п. По этой причине специалистам-геофизикам, впрочем, так же как и геологам, нужно обладать хорошим здоровьем.

Работа геофизиков носит исследовательский характер: нужно не просто выполнить какой-то объем измерений тех или иных физических полей, но и решить какую-то геологическую задачу: обнаружить геологические структуры, благоприятные для образования в них нефтяных или газовых залежей, найти рудные тела, определить их размеры, глубину залегания и прочее.

Поэтому не удивительно, что примерно каждый десятый из геофизиков со временем становится ученым – защищает кандидатскую диссертацию, а позднее и докторскую.

Но чтобы добиться успехов в научной деятельности, нужно стремиться к этому со студенческих лет. Прежде всего, нужно хорошо учиться, овладевать знаниями. Для этого нужно регулярно заниматься, не пропускать лекции и практические занятия, участвовать в студенческой научной работе.

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1. Роль минерального сырья в жизни человеческого общества 3
Способы добычи полезных ископаемых 6
Масштабы добычи минерального сырья 8
Источники минерального сырья 9
Минерально-сырьевая база России 10
Контрольные вопросы 13

Лекция 2. Нетрадиционные источники минерального сырья ... 14
Техногенные месторождения 15
Мировой океан 15
Скопления бедных руд 22
Контрольные вопросы 22

Лекция 3. Современные методы поисков и разведки полезных ископаемых 24
Геологические методы 24
Технические методы 26
Геофизические методы 29
Геохимические методы 30
Дистанционные методы 32
Методы морской геологии и геофизики 33
Контрольные вопросы 34

Лекция 4. Общие сведения о внутреннем строении Земли 35
Новая глобальная тектоника 38
Контрольные вопросы 40
Некоторые основные геологические и геофизические термины и понятия 41

Лекция 5. Гравиразведка 46
Из истории гравиметрии 47
Плотность горных пород 50

Измерение силы тяжести ... 51
Методика гравиметрических работ ... 53
Области применения гравиразведки и решаемые ею задачи ... 53
Контрольные вопросы ... 57

Лекция 6. Магниторазведка ... 58
История изучения магнитного поля Земли ... 58
Элементы магнитного поля Земли ... 61
Магнитные свойства горных пород и руд ... 62
Приборы для магниторазведки ... 63
Области применения магниторазведки и решаемые ею задачи ... 67
Контрольные вопросы ... 72

Лекция 7. Электроразведка ... 74
Краткая история электроразведки ... 74
Электрические свойства горных пород и руд ... 74
Аппаратура и оборудование электроразведки ... 76
Методы электроразведки ... 76
Электропрофилирование ... 77
Вертикальное электрическое зондирование ... 78
Метод заряженного тела ... 79
Метод естественного электрического поля ... 80
Метод вызванной поляризации ... 81
Магнитотеллурические методы ... 81
Электромагнитные методы ... 81
Области применения электроразведки и решаемые ею задачи ... 82
Контрольные вопросы ... 83

Лекция 8. Сейсморазведка ... 85
Упругие волны в горных породах ... 85
Из истории сейсморазведки ... 90
Сейсморазведочная аппаратура ... 92
Методы сейсморазведки ... 94
Метод отраженных волн ... 94
Метод преломленных волн ... 95
Глубинные сейсмические зондирования ... 96

Области применения сейсморазведки и решаемые ею задачи 96
Контрольные вопросы 99

Лекция 9. Ядерные методы геофизических исследований 100
Краткие сведения о радиоактивности и радиоактивных излучениях 100
История радиоактивных методов 102
Радиоактивность горных пород 103
Измерение радиоактивности 104
Радиометрические методы, область их применения и решаемые задачи 105
Контрольные вопросы 111

Лекция 10. Геофизические исследования скважин (ГИС) 113
Основные разделы ГИС 113
Аппаратура геофизических исследований скважин 115
Краткий исторический очерк развития методов геофизических исследований скважин и аппаратуры для их осуществления 117
Методы геофизических исследований скважин, область их применения и решаемые ими задачи 124
Метод кажущегося сопротивления (КС) 124
Метод ПС – поляризации самопроизвольной 125
Метод боковых каротажных зондирований (БКЗ) 127
Метод радиоволнового просвечивания (РВП) 128
Гамма-каротаж (ГК) 128
Нейтронный гамма-каротаж (НГК) 129
Термометрия скважин 130
Контрольные вопросы 130

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 132

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 133

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Геофизика: учебник / под ред. В. К. Хмелевского. – 3-е изд. – М.: КДУ, 2012. – 320 с.

Дополнительная

2. Агрикола Г. О горном деле и металлургии: в 12 кн.: пер. с нем.. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 600 с.

3. Агрикола Г. О месторождениях и рудниках в старое и новое время. – М.: Недра, 1972.

4. Аллисон А., Палмер Д. Геология: пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 568 с.

5. Аренс В. Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975. – 264 с.

6. Бондарев В. И. Основы сейсморазведки: учебное пособие. – 2-е изд., исправл. и доп. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2008. – 332 с.

7. Бондарев В. И. Сейсмический метод определения физико-механических свойств нескальных грунтов. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1997. – 220 с.

8. Вахромеев Г. С. Введение в разведочную геофизику: учебник для вузов. – М.: Недра, 1988. – 135 с.

9. Возженников Г. С., Белышев Ю. В. Радиометрия и ядерная геофизика: учебное пособие, 3-е изд., исправл. – Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2006. – 418 с.

10. Геохимические методы поисков рудных месторождений. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1954. – 582 с.

11. Горбачев А. М. Общая геология: учебник для техникумов. – М.: Высшая школа, 1973. – 320 с.

12. Грушинский Н. П., Грушинский А. Н. В мире сил тяготения. – М.: Недра, 1985. – 151 с.

13. Дахнов В. Н. К познанию недр Земли. (Геофизические исследования скважин). – М.: Недра, 1968. – 144 с.

14. Иванов А. Г. Физика в разведке земных недр. – М.: Недра, 1971. – 200 с.

15. Ковалевский А. Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. – М.: Недра, 1974. – 144 с.

16. Козловский Е. А. Геологи открывают богатства недр. – М.: Недра, 1980. – 128 с.

17. Краткий геологический словарь для школьников / под ред. Г. И. Немкова. – М.: Недра, 1989. – 176 с.

18. Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1969. – 384 с.

19. Максаковский В. П. Экономическая и социальная география мира: учебник. – 16-е изд., исправл. – М.: Просвещение, 2008. – 398 с.

20. Меркс Ф. Черная кровь: пер. с нем. – М.: Наука, 1978. – 200 с.

21. Милашев В. А. Алмаз. Легенды и действительность. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1989. – 159 с.

22. Несветайлова Н. Г. Поиски руд по растениям. – М.: Недра, 1970. – 97 с.

23. Остальский А. Нефть: чудовище и сокровище. – СПб.: ТИД Амфора, 2009. – 255 с.

24. Патури Ф. Р. Зодчие XXI века: пер. с нем. – М.: Прогресс, 1979. – 349 с.

25. Почтарев В. И. Земля – большой магнит. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 160 с.

26. Прикладная геофизика / В. М. Телфорд, Л. П. Гелдарт, Р. Е. Шерифф, Д. А. Кейс. – М.: Недра, 1980. – 502 с.

27. Ребрик Б. М. У колыбели геологии и горного дела. – М.: Недра, 1984. – 128 с.

28.Свиридов Г. И. В краю голубых алмазов. – М.: Недра, 1978. – 351 с.

29. Семячков А. И., Руднов В. С. Рациональное использование пирофиллитсодержащих техногенных минеральных отходов // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 5. – С. 52-55.

30. Сковородников И. Г. Геофизические исследования скважин: учебное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: Изд-во Института испытаний, 2009. – 471 с.

31. Соколов К. П. Геофизические методы разведки: учебник для вузов. – М.: Недра, 1966. – 464 с.

32. Такуечи Х., Уеда С., Канамори Х. Движутся ли материки? Пер. с англ. – М.: Мир, 1970. – 248 с.

33. Тихомиров В. В., Хаин В. Е. Краткий очерк истории геологии. – М.: Госгеолтехиздат, 1956. – 260 с.

34. Успенский Д. Г. Гравиразведка: учебник для вузов. – Л.: Недра, 1968. – 332 с.

35. Франтов Г. С., Глебовский Ю. С. Занимательная геофизика.- М.: Недра, 1987. – 128 с.

36. Филиппов Е. М. Ядерные разведчики земных и космических объектов. – Новосибирск: Наука, 1974. – 115 с.

37. Фишман В. П., Урсов А. А. Приборы смотрят сквозь Землю. – М.: Недра, 1987. – 173 с.

38. Хмелевской В. К. Краткий курс разведочной геофизики: учебное пособие для вузов. – М.: Изд. МГУ, 1967. – 223 с.

39. Хэнкок Г. Следы богов. – М.: Изд-во «Вече», 1998. – 493 с.

40. Шолпо В. Н. Земля раскрывает свои тайны. – М.: Недра, 1988. – 144 с.

41. Ярош А. Я., Анисимов К. Н., Поляков А. Б. Опыт применения гравиразведки для изучения глубоких горизонтов колчеданного месторождения. Тр. СГИ, вып. XXX. Сб. ст. по геофиз. методам разведки. – М.: Госгеолтехиздат, 1957.

42. А. с. 221911. Способ геохимических поисков колчеданных месторождений / Г. П. Саковцев, А. А. Редозубов, А. И. Соколова // Бюл. изобр. № 22, 1968.

43. А. с. 1356553. Установка для бурения скважин из подземных горных выработок / А. В. Давыдов, И. Г. Сковородников // Бюл. изобр. № 38, 1986.

44. А. с. 1369387. Способ глубоководной транспортировки твердых полезных ископаемых со дна морей и океанов / А. А. Матвеев, В. В. Рыжков, Ю. М. Фарафонов // Бюл. изобр. № 45, 1987.

Учебное издание

Игорь Григорьевич Сковородников

Введение в специальность «Технология геологической разведки»

Курс лекций для студентов всех форм обучения
Специальность:
21.05.03 – «Технология геологической разведки»
Специализация № 1:
«Геофизические методы поиска и разведки
месторождений полезных ископаемых»
Специализация № 2:
"Геофизические методы исследования скважин"
форма обучения: очная, заочная

Редактор Л. В. Устьянцева
Рисунки и корректура автора
Компьютерная верстка Косаревой Г. А., Шинкарюк И. Е.

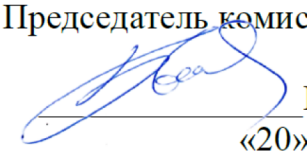
Подписано в печать …….. г. Бумага писчая. Формат 60×84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печ. л. 8,625. Уч.-изд. л. 9,0.
Печать на ризографе. Тираж 150. Заказ

Издательство Уральского государственного горного университета
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Минобрнауки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии

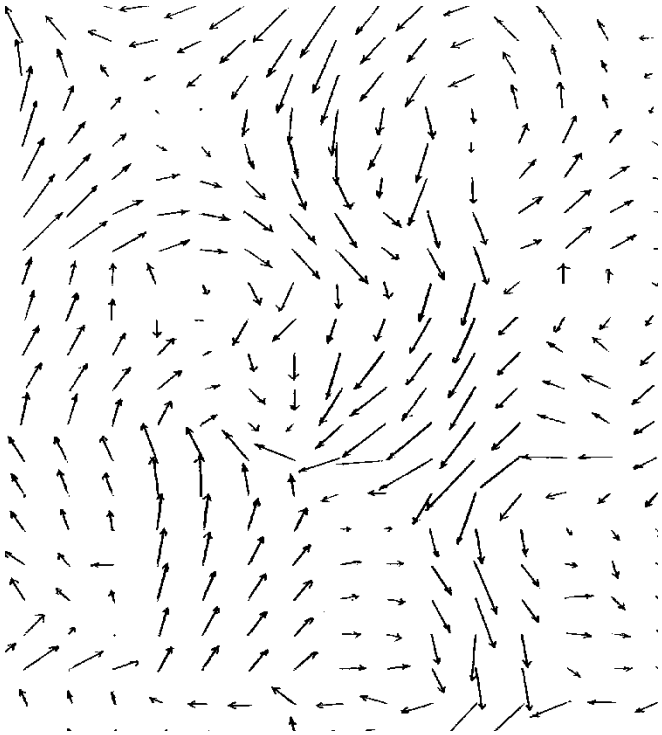


В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

В. Б. ВИНОГРАДОВ, К. В. ВАНДЫШЕВА

ТЕОРИЯ ПОЛЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



Екатеринбург – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие……..……..4
Векторное поле…….…….....5
Дифференциальные операторы…….……10
Напряженность векторного поля…….……...17
Потенциал поля…….……26
Вихревое поле…….…….32
Поле поляризующихся сред…….…….……...32
Уравнение Лапласа…….……..41
Потенциал двумерных тел…….……..49
Намагничивание тел с высокой магнитной восприимчивостью……50
Учет взаимного влияния тел с высокой намагниченностью…….……53
Электрическое поле постоянного тока…….……56
Проводящий шар в поле точечного источника тока……60
Магнитное поле постоянного тока……62
Переменное электромагнитное поле……71
Волновые уравнения……78
Элементы теории упругости……85
Упругие волны……91
Тепловое поле……98
Литература……109

ПРЕДИСЛОВИЕ

Существующие учебники и учебные пособия по рассматриваемой дисциплине опубликованы более 15 лет назад и не соответствуют новым учебным программам. Они написаны электроразведчиками, в этих учебных изданиях преобладает описание электрических полей. Как правило, в них не рассматривается тепловое поле, количество измерений и приложений в геологии и геофизике которого очень быстро растет. Обучение студентов специальности «Геофизические методы исследования скважин» требует равного освещения теории всех полей, применяемых в геофизике.

Данное пособие в значительной степени отражает содержание курса Овчинникова И. К, у которого учился автор. С благодарностью автор вспоминает встречи с Е. Г. Булахом, автором одного из учебников по теории поля. Однако за отбор материала учебного пособия полностью отвечает автор. Формулы в учебном пособии приводятся в единицах СГСЭ и СГСМ, иногда в единицах, используемых в практической деятельности.

Быстрое развитие компьютерных технологий оказывает влияние на все стороны нашей жизни, в том числе на освоение теоретических дисциплин. Поэтому в пособии приводятся примеры решения задач с помощью математических пакетов.

Выражаю свою благодарность И. В. Гордеевой за помощь в работе. Благодарю также студентов групп ГИС-09 и РФ-09.

Замечания прошу направлять по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30, УГГУ, факультет геологии и геофизики, кафедра геофизики.

ВЕКТОРНОЕ ПОЛЕ

При внесении материального объекта в некоторое пространство он начинает оказывать влияние на окружающие его объекты, которое проявляется в действии механических (пондеромоторных) или иных сил. При рассмотрении физических явлений удобно считать, что силы, воздействующие на объект, существуют независимо от того, вносим мы его в поле или нет. Мы говорим, что объекты создают поле и являются источниками физического поля. Задача определения силового поля состоит в определении векторной величины, характеризующей силу в каждой точке.

Для качественного и количественного описания полей вводят систему координат и используют скаляры, векторы, тензоры и иные математические объекты и структуры. Наиболее часто используют декартовую (X,Y,Z), цилиндрическую (R,Ф,Z) и сферическую (R,Ф, Θ) системы координат.

Вектором в алгебре называют упорядоченную тройку чисел: $\{X,Y,Z\}$. Иное определение вектора – направленный отрезок. Для характеристики вектора необходимо указывать его длину и направление либо три проекции на оси координат. Вектор в декартовой системе координат определяют проекциями на соответствующие оси $\{a_x, a_y, a_z\}$. В дальнейшем векторы будем обозначать A, $\vec{a}$, $\vec{A}$, $\{a_x, a_y, a_z\}$.

Радиус-вектором $\vec{R}$ назовем вектор, начало находится в точке O с источником поля, координаты (x_0, y_0, z_0), а конец в точке наблюдения с координатами (x, y, z), т. е. $\vec{R}\{x-x_0, y-y_0, z-z_0\}$ (рис. 1). Для векторов определены операции сложения, вычитания, скалярного произведения, векторного произведения и другие.

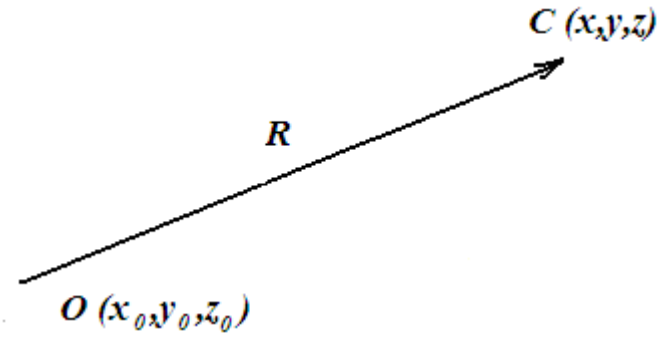


Рис. 1. К определению понятия радиуса-вектора

Операция сложения векторов:

$$\vec{a}+\vec{b}=\vec{i}(a_x+b_x)+\vec{j}(a_j+b_j)+\vec{k}(a_z+b_z),\ \left|\vec{a}+\vec{b}\right|=\sqrt{a^2+2ab\cos\varphi+b^2}\ ,$$

где φ – угол между векторами.

Вычитание векторов

$$\vec{a}-\vec{b}=\vec{i}(a_x-b_x)+\vec{j}(a_y-b_y)+\vec{k}(a_z-b_z),\ \left|\vec{a}-\vec{b}\right|=\sqrt{a^2-2ab\cos\varphi+b^2}$$

Умножение вектора на число:

$$\alpha\vec{b}=\{\alpha b_x,\alpha b_y,\alpha b_z\}.$$

Скалярное произведение двух векторов:

$$(\vec{a}\vec{b})=a_xb_x+a_yb_y+a_zb_z.$$

Векторное произведение двух векторов определяют выражением:

$$\vec{a}\times\vec{b}=\begin{vmatrix}\vec{i} & \vec{j} & \vec{k}\\ a_x & a_y & a_z\\ b_x & b_y & b_z\end{vmatrix}=\vec{i}(a_yb_z-a_zb_y)-\vec{j}(a_xb_z-a_zb_x)+\vec{k}(a_xb_y-a_yb_x).$$

Угол между векторами:

$$\varphi=\arccos\frac{a_xb_x+a_yb_y+a_zb_z}{\sqrt{a_x^2+a_y^2+a_z^2}\sqrt{b_x^2+b_y^2+b_z^2}}.$$

Вычислим скалярное и векторное произведения векторов $\vec{g}(1,3,4)$, $\vec{d}(2,6,5)$, $\vec{f}(y^2,\ln z,\sin x)$, $\vec{h}(e^x,\frac{1}{y},z)$:

$$(\vec{g}\vec{d})=2+18+20=40,\ \vec{g}\times\vec{d}=-9\vec{i}+3\vec{j},\ (\vec{f}\vec{h})=y^2e^x+\frac{\ln z}{y}+z\sin x,$$

$$\vec{f} \times \vec{h} = \vec{i}(z \ln z - \frac{\sin x}{y}) - \vec{j}(y^2 z - e^x \sin x) + \vec{k}(y - e^x \ln z).$$

При теоретических рассуждений и вычислениях часто векторные уравнения записывают в проекциях на оси координат. Проекции векторного уравнения $\vec{E} = \int_V \frac{\rho \vec{R} dV}{R^3}$ на оси координат имеют вид:

$$E_x = \int_V \frac{\rho(x - x_0)dV}{R^3},\ E_y = \int_V \frac{(y - y_0)dV}{R^3},\ E_z = \int_V \frac{(z - z_0)dV}{R^3}.$$

В настоящее время математические операции с векторами удобно проводить с помощью математических пакетов Matlab и других.

При изучении физических полей устанавливают соотношения между двумя векторными величинами. Как правило, коэффициент пропорциональности является физическим параметром среды (плотность, скорость распространения волн, электропроводность). Такие физические параметры горных пород часто зависят от направления. Взаимосвязь в матричном виде принимает вид:

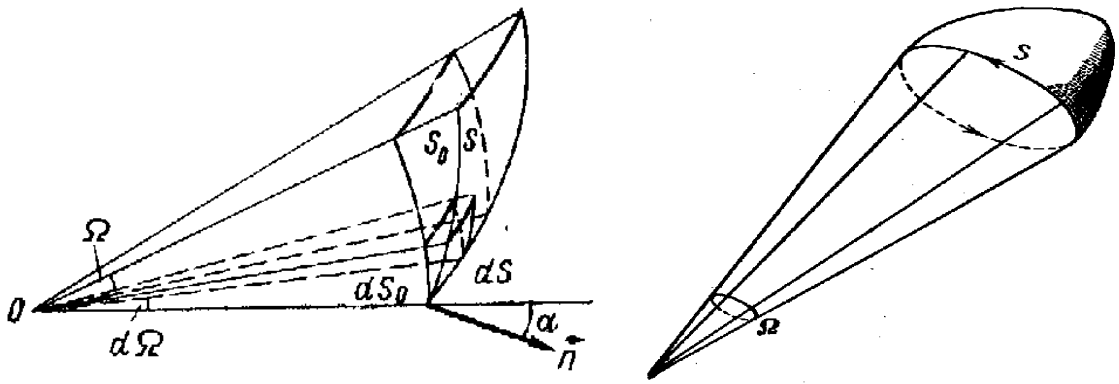
$$\vec{Q} = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{vmatrix} \vec{D},\ \vec{Q} = K\vec{D}.$$

Девять коэффициентов, записанные в виде матрицы в математике, называют тензором второго порядка. Направления векторов в левой и правой частях в вышеприведенных уравнениях не совпадают. Скалярные величины называют тензором нулевого порядка. Например, плотность является коэффициентом пропорциональности между объемом и массой. Компоненты тензора зависят от выбора системы координат. Тензорами второго порядка являются электропроводность и магнитная восприимчивость.

При решении задач теории полей часто встречается интеграл одного типа, который имеет геометрическую интерпретацию – **телесный угол**. Телесный угол Ω, под которым видна из точки наблюдения *0* поверхность *S*, определяют формулой (рис. 2):

$$\Omega = \int_S \frac{\cos\alpha}{R^2} dS,$$

где α – угол между радиусом-вектором и внешней нормалью $\vec{n}$ к поверхности S, для которой вычисляется телесный угол.



а) б)

Рис. 2. К определению понятия телесного угла: ….(а), ….(б)

Телесный угол, под которым видно все пространство, равен 4π. Телесный угол, под которым видна некоторая поверхность, определяют по аналогии с плоским углом. В некоторых случаях телесный угол определяется легко. Телесный угол, под которым видна грань куба из его центра, равен $\Omega = 4\pi/6 = 2\pi/3$. Телесный угол, под которым видна из центра грань пентагондодекаэдра или ромбододекаэдра, равен $\Omega = 4\pi/12 = \pi/3$. Из сферической тригонометрии известно, что трехгранный угол равен сумме образующих его двугранных углов минус π. Следовательно, телесный угол, под которым видно основание пирамиды в виде выпуклого многоугольника равен $\Omega = \sum_{i=1}^{n} A_i - \pi(n-2) = 2\pi - \sum_{i=1}^{n}(\pi - A_i)$, где A_i – двугранные углы пирамиды, n – число сторон многоугольника. Каждое слагаемое в последнем выражении вычисляют:

$$\pi - A_i = \arccos\frac{\vec{r}_i \times \vec{r}_{i+1}}{|\vec{r}_i||\vec{r}_{i+1}|} = \arccos\frac{r_{ix}r_{i+1x} + r_{iy}r_{i+1y} + r_{iz}r_{i+1z}}{\sqrt{(r_{ix}^2 + r_{iy}^2 + r_{iz}^2)(r_{i+1x}^2 + r_{i+1y}^2 + r_{i+1z}^2)}},$$

$$r_i = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x - x_i & y - y_i & z - z_i \\ x_i - x_{i-1} & y_i - y_{i-1} & 0 \end{vmatrix}, \quad r_{i+1} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x - x_{i+1} & y - y_{i+1} & z - z_{i+1} \\ x_{i+1} - x_i & y_{i+1} - y_i & 0 \end{vmatrix}.$$

Для любой поверхности можно выполнить триангуляцию (разбиение на треугольники) и вычислить телесный угол как сумму углов видимости всех

треугольников. Полученная формула позволяет вычислить физические поля, например гравитационное поле горизонтальной пластинки в виде многоугольника $g = k\sigma\Omega$, где k – гравитационная постоянная.

Телесный угол при вершине сферического треугольника ΔABC определяют по формуле Люилье:

$$\operatorname{tg}\frac{\Omega}{4} = \left(\operatorname{tg}\frac{l}{2}\operatorname{tg}\frac{l-a}{2}\operatorname{tg}\frac{l-b}{2}\operatorname{tg}\frac{l-c}{2}\right),$$

где a,b,c – длины сторон сферического треугольника, $2l = a+b+c$. Если радиус сферы равен 1:

$$a = \arccos\frac{\vec{B}\times\vec{C}}{|\vec{B}|\times|\vec{C}|},\ b = \arccos\frac{\vec{A}\times\vec{C}}{|\vec{A}|\times|\vec{C}|},\ c = \arccos\frac{\vec{B}\times\vec{A}}{|\vec{B}|\times|\vec{A}|}.$$

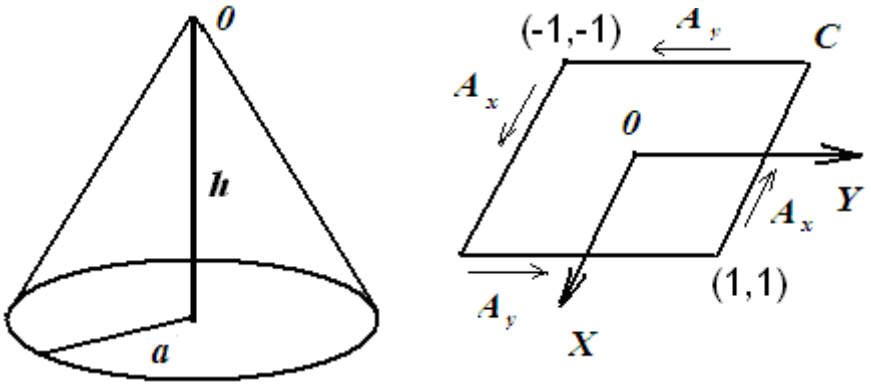
Вычислим телесный угол, под которым из вершины видно основание прямого конуса (рис. 3, *а*):

$$\Omega = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^a \frac{hrdr}{(r^2+h^2)^{3/2}} = 2\pi h\left(\frac{1}{h} - \frac{1}{\sqrt{a^2+h^2}}\right).$$

Этот интеграл можно вычислить с помощью математических пакетов, для этого достаточно вычислить внутренний интеграл:

$$\int \frac{r}{(r^2+h^2)^{3/2}}dr = -\frac{1}{\sqrt{h^2+r^2}}.$$

Осталось лишь подставить пределы и умножить на величину первого интеграла 2π и h.



а б

Рис. 3.К вычислению телесного угла при вершине прямого конуса (а), циркуляции вектора по контуру (б)

Циркуляцией вектора по контуру L называют интеграл по замкнутому контуру от проекции вектора на касательную к L:

$$\oint_L A_L dL .$$

Вычислим циркуляцию вектора $\vec{A}\left\{\frac{-2y}{x^2+1}, \frac{2x}{y^2+1}\right\}$. В качестве контура интегрирования C (рис. 3, б) выберем прямоугольник с вершинами (-1,-1),

(1,-1), (1,1), (-1,1):

$$\oint_c A_l dl = \int_{-1}^{1} \frac{2dx}{x^2+1} + \int_{-1}^{1} \frac{2dy}{y^2+1} + \int_{-1}^{1} \frac{2dx}{x^2+1} + \int_{-1}^{1} \frac{2dy}{y^2+1} = 8\operatorname{arctg} x \Big|_{-1}^{1} = 4\pi .$$

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ОПЕРАТОРЫ

Градиентом скалярного поля f называют вектор $\operatorname{grad} f$:

в декартовой системе координат $\operatorname{grad} f = \vec{i}\frac{\partial f}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial f}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial f}{\partial z}$;

в цилиндрической системе координат $\operatorname{grad} f = \frac{\partial f}{\partial r}\vec{i}_r + \frac{1}{r^2}\frac{\partial f}{\partial \varphi}\vec{i}_\varphi + \frac{\partial f}{\partial z}\vec{i}_z$;

в сферической системе координат $\operatorname{grad} f = \frac{\partial f}{\partial r}\vec{i}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta}\vec{i}_\theta + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial f}{\partial \varphi}\vec{i}_\varphi$.

Градиент характеризует изменчивость поля в малой окрестности точки, его можно назвать вектором пространственной скорости поля. Он характеризует поведение поля вблизи выбранной точки. Направление градиента есть направление наиболее быстрого возрастания поля (рис. 4), а его величина равна максимальному значению производной из всех возможных значений в данной точке. Градиент не зависит от выбранной системы координат (инвариант), производная функции по любому направлению равна проекции градиента на это направление:

$$\frac{\partial U}{\partial l} = grad_l U$$

Вычислим градиент функции, обратной радиусу-вектору $\frac{1}{R}$:

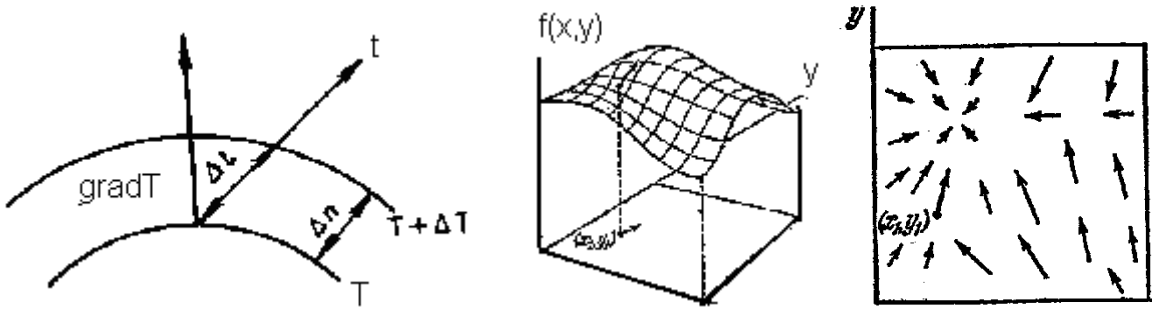
$$\text{grad}\,\frac{1}{R}=\vec{i}\,\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{R}\right)+\vec{j}\,\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{R}\right)+\vec{k}\left(\frac{1}{R}\right)=-\left(\vec{i}\,\frac{x-x_0}{R^3}+\vec{j}\,\frac{y-y_0}{R^3}+\vec{k}\,\frac{z-z_0}{R^3}\right).$$

Те же вычисления можно осуществить с помощью пакета Mathematica:

$$D\left[\frac{1}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{1/2}},x\right]=-\frac{x-x0}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{3/2}};$$

$$D\left[\frac{1}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{1/2}},y\right]=-\frac{y-y0}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{3/2}};$$

$$D\left[\frac{1}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{1/2}},z\right]=-\frac{z-z0}{((x-x0)^2+(y-y0)^2+(z-z0)^2)^{3/2}}.$$



а б в

Рис. 4. К определению понятия градиента (а). График скалярной функции (б) и план ее градиента (в)

Вычислим вертикальный градиент гравитационного поля Земли, считая ее шаром. Поле шара $g=\frac{kM}{r^2}$. Вертикальный градиент направлен радиально:

$$\frac{\partial g}{\partial r}=-\frac{2kM}{r^3}=-\frac{6.67\times10^{-11}\times5.976\times10^{24}}{(6.367\times10^6)^3}=3.089\cdot10^{-6}\ \text{с}^{-2}.$$

Предел отношения поверхностного интеграла нормальной по отношению к поверхности S составляющей вектора к объему этой поверхности, при стремлении последнего к нулю $\lim_{\Delta V\to0}\frac{\oiint_S a_n dS}{\Delta V}$ называют **расходимостью,** или **дивергенцией**. Расходимость характеризует плотность источников поля.

Расходимость вектора в декартовых координатах может быть вычислена по формуле:

$$\text{div}\,\vec{E}=\frac{\partial E_x}{\partial x}+\frac{\partial E_y}{\partial y}+\frac{\partial E_z}{\partial z}.$$

В цилиндрической системе координат дивергенция

$$\operatorname{div}\vec{D}=\frac{1}{r}\left(\frac{\partial(rD_r)}{\partial r}+\frac{\partial D_\varphi}{\partial\varphi}+r\frac{\partial D_z}{\partial z}\right).$$

В сферической системе координат расходимость определена выражением:

$$\operatorname{div}\vec{D}=\frac{1}{r^2\sin\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial(r^2D_r)}{\partial r}+r\frac{\partial}{\partial\theta}(\sin\theta D_\theta)+r\frac{\partial D_\varphi}{\partial\varphi}\right).$$

Вычислим дивергенцию градиента скалярной функции *f*:

$$\operatorname{div}\operatorname{grad} f=\operatorname{div}(\vec{i}\frac{\partial f}{\partial x}+\vec{j}\frac{\partial f}{\partial y}+\vec{k}\frac{\partial f}{\partial z})=\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}=\Delta f\ ,$$

где $\Delta=\operatorname{div}\operatorname{grad}=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа (лапласиан).

Уравнение $\Delta U=0$ называют уравнением Лапласа.

Предел отношения интеграла по замкнутому контуру от проекции вектора поля на касательную к контуру к площади, охватываемой контуром, при стремлении последней к нулю:

$$\lim_{\Delta S\to 0}\frac{\oint a_l dl}{\Delta S}=\operatorname{rot}\vec{a}$$

называют **вихрем** или **ротором** вектора.

Этот предел называют также плотностью циркуляции вектора. На рис. 5 приведены 6 планов векторов полей со значением их расходимости и вихря. В каждом случае приведен контур, который позволяет оценить расходимость и вихрь.

Ротор не зависит от выбора системы координат. Вихрь и дивергенция-инварианты поля относительно системы координат. Вихрь и ротор векторного поля однозначно определяют поле с точностью до постоянного слагаемого. Это свойство двух дифференциальных операторов позволило Максвеллу всего четырьмя уравнениями описать электромагнитное поле.

Вихрь вектора в декартовых координатах имеет вид:

$$\operatorname{rot}\vec{E}=\begin{vmatrix}\vec{i} & \vec{j} & \vec{k}\\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\\ E_x & E_y & E_z\end{vmatrix}=\vec{i}\left(\frac{\partial E_z}{\partial y}-\frac{\partial E_y}{\partial z}\right)-\vec{j}\left(\frac{\partial E_z}{\partial x}-\frac{\partial E_y}{\partial z}\right)+\vec{k}\left(\frac{\partial E_y}{\partial x}-\frac{\partial E_x}{\partial y}\right),$$

в сферических координатах:

$$\mathrm{rot}\,\vec{E}=\left(\frac{1}{r\sin\Theta}\frac{\partial E_r}{\partial\varphi}-\frac{1}{r}\frac{\partial(rE_\varphi)}{\partial r}\right)\vec{e}_\Theta+\left(\frac{1}{r}\frac{\partial rE_\Theta}{\partial r}-\frac{1}{r}\frac{\partial E_r}{\partial\Theta}\right)\vec{e}_\varphi+\frac{1}{r\sin\Theta}\left(\frac{\partial(\sin\Theta E_\varphi)}{\partial\Theta}-\frac{\partial E_\Theta}{\partial\phi}\right)\vec{e}_r,$$

в цилиндрических координатах:

$$\mathrm{rot}\,\vec{E}=\left(\frac{1}{r}\frac{\partial E_z}{\partial\varphi}-\frac{\partial E_\varphi}{\partial z}\right)\vec{e}_r+\left(\frac{\partial E_r}{\partial z}-\frac{\partial E_z}{\partial r}\right)\vec{e}_\varphi+\frac{1}{r}\left(\frac{\partial(E_\varphi r)}{\partial r}-\frac{\partial E_r}{\partial\varphi}\right)\vec{e}_z.$$

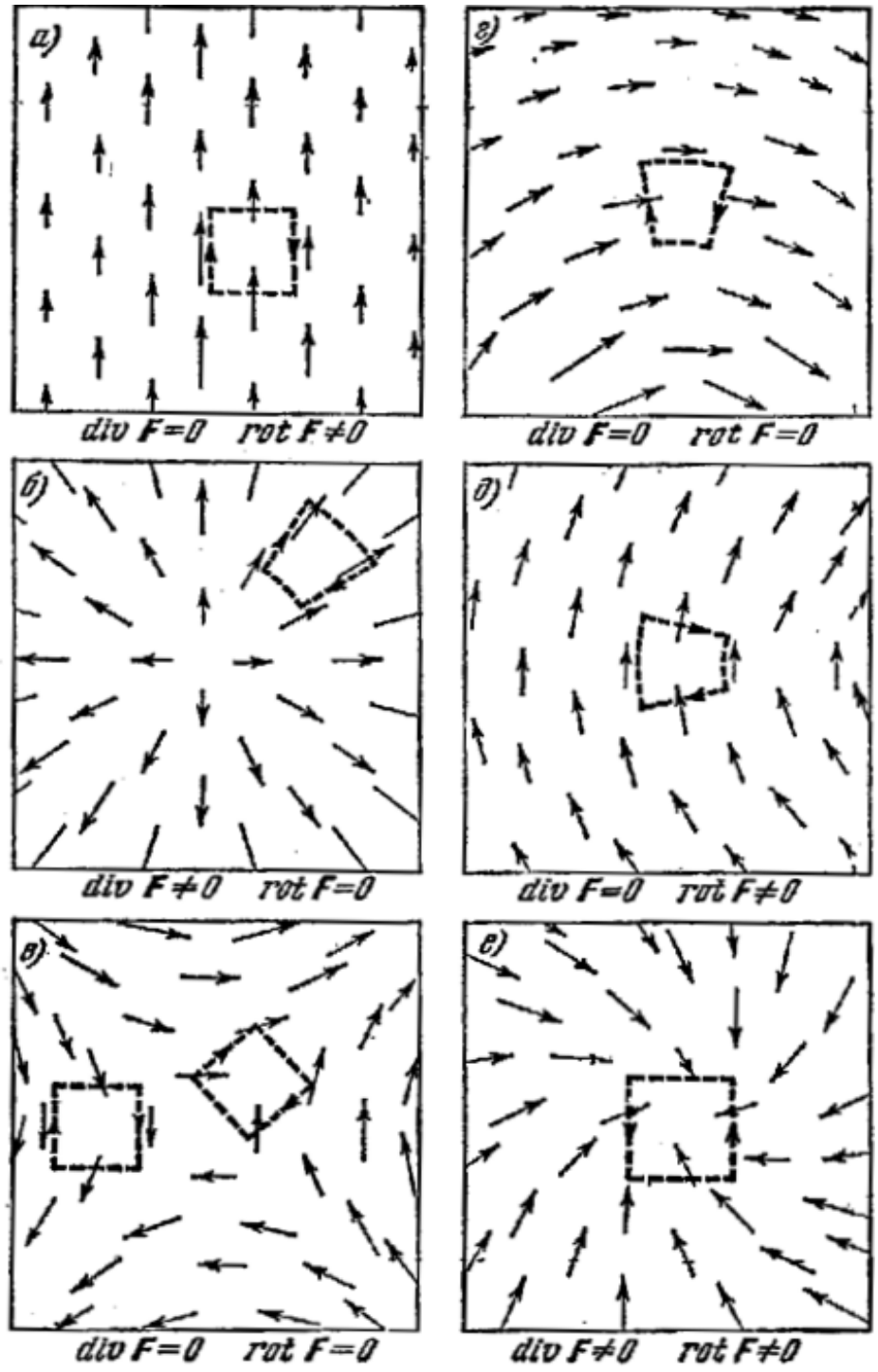


Рис. 5. Дивергенция и вихрь различных векторных полей

Вычислим величину $\operatorname{rot}\operatorname{rot}\vec{A}$:

$$\operatorname{rot}\operatorname{rot}\vec{A} = \operatorname{grad}\operatorname{div}\vec{A} - \Delta\vec{A}.$$

Градиент, расходимость и вихрь часто называют пространственными производными.

Оператором Гамильтона называют дифференциальный оператор (оператор набла):

$$\nabla = \vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y} + \vec{k}\frac{\partial}{\partial z}.$$

Дифференциальные операторы позволяют компактно записывать уравнения, описывающие физические поля:

$Q - \lambda C + D\Delta C - \operatorname{div}(C\vec{v}) = \dfrac{\partial C}{\partial t}$ – уравнение переноса радиоактивного газа;

$\Delta T + F = c\rho\dfrac{\partial T}{\partial t}$ – уравнение распределения температуры;

$\Delta U - \dfrac{1}{a^2}\dfrac{\partial^2 U}{\partial t^2} + b\dfrac{\partial U}{\partial t} + CU = -F$ – телеграфные уравнения;

$\Delta\vec{U}_1 - \dfrac{1}{v_p^2}\dfrac{\partial^2\vec{U}_1}{\partial t^2} = -\dfrac{1}{\rho v_p^2}\vec{F}_1$ – уравнение распространения продольных волн и другие.

Определенную в области задания уравнения действительную функцию, непрерывную вместе со своими частными производными, входящими в уравнение, и обращающую его в тождество, называют регулярным решением. Решения, перестающие быть регулярными в изолированных точках или множествах особого вида, называют фундаментальными.

При проведении преобразований для решения задачи дифференциальные операторы надо воспринимать так же, как таблицу умножения или таблицу сложения, т.е. как формальное правило соответствия одного выражения другому.

ЗАДАЧИ

1. Найдите градиент функций $1/R^3$ и $1/R$.

2. Докажите тождество $\operatorname{div}\vec{A}\times\vec{B} = (\vec{B}, \operatorname{rot}\vec{A}) - (\vec{A}, \operatorname{rot}\vec{B})$.

3. Вычислите телесный угол, под которым из вершины пирамиды высотой $2a$ видно ее основание, если основание пирамиды – квадрат со стороной a. Решение проведите двумя способами.

4. Вычислите телесный угол при вершине прямого конуса высотой $3a$ и диаметром основания a.

5. Вычислите расходимость градиента функции $U = x^3 y^2 z$.

6. Вычислите дивергенцию векторов $\vec{R}$ и $\vec{A} = xy\vec{i} + yz\vec{j} + xz\vec{k}$.

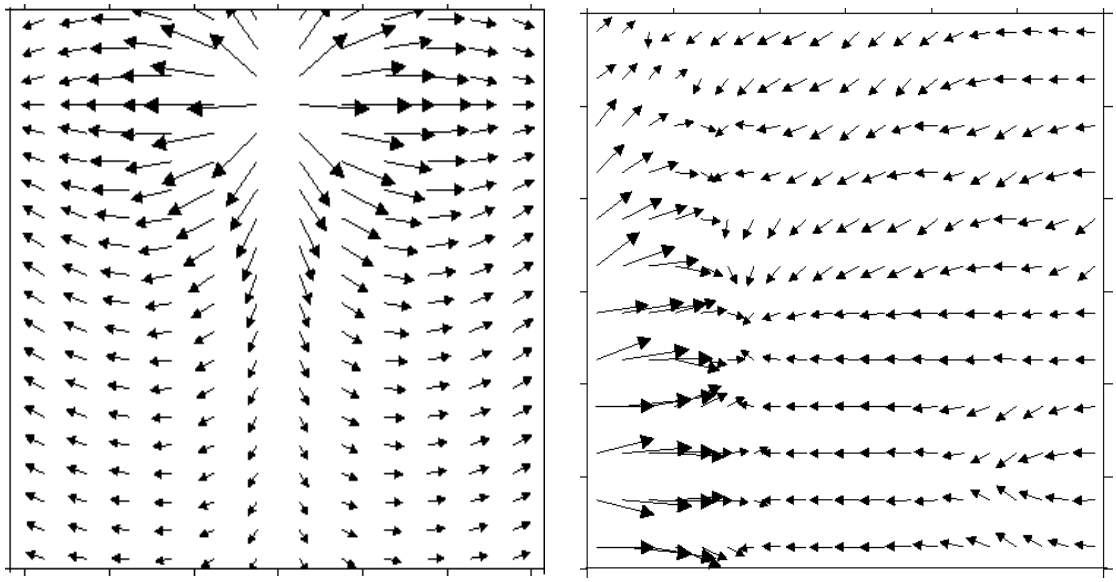
7. Найдите циркуляцию вектора $\vec{A} = y\vec{i}$ по окружности $x = a\cos t$, $y = a + a\sin t$, лежащего в плоскости XOY, z=0.

8. Найдите $\operatorname{rot}\operatorname{rot}\vec{A}$.

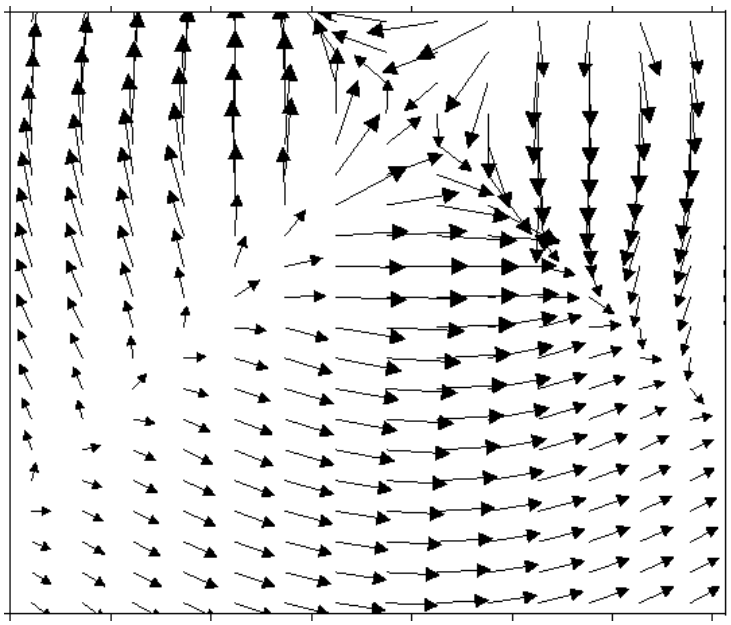
9. Найдите вихрь вектора $\vec{R}$.

10. Докажите, что $\operatorname{rot}\vec{A} + \operatorname{rot}\vec{B} = \operatorname{rot}(\vec{A} + \vec{B})$.

11. Вычислите вихрь векторного произведения радиус-вектора $\vec{R}$ и постоянного вектора $\vec{A}$.



а б



в

Рис. 6. Векторные поля: ….

12. Оцените вихрь и расходимость векторных полей представленных на рис. 6.

НАПРЯЖЕННОСТЬ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ

В теоретических рассуждениях рассматривают идеализированные источники поля (рис. 7):

1. **Точечный источник –** заряд в точке, объем которой равен нолю. Такое приближение удобно при рассмотрении поля на расстояниях во много раз превосходящих собственные размеры источника (см. рис. 7, а, б).

2. **Линейный источник –** заряд, распределенный вдоль некоторой линии. Площадь поперечного сечения источника равна нолю. Источник принято характеризовать линейной плотностью заряда χ, которая равна заряду, линии длиной 1.

3. **Поверхностный источник** – заряд, распределенный по некоторой поверхности. Толщина поверхности равна нолю. Источник характеризуют поверхностной плотностью зарядов, т.е. зарядом участка поверхности площадь которого равна 1.

4. **Объемный источник** – заряд, распределенный в некоторой части пространства, ограниченной некоторой замкнутой поверхностью. Источнику приписывают объемную плотность заряда.

В геофизике измеряются различные характеристики физических полей: в магниторазведке модуль вектора индукции геомагнитного поля T, в гравиразведке – напряженность гравитационного поля g, в электроразведке (при измерении естественного поля) – потенциал U. Поэтому необходимо знать свойства и особенности каждой из измеряемых характеристик поля для различных источников.

Напряженностью гравитационного и электрического полей называют силу, с которой поле действует на единичную массу или единичный положительный заряд. Законы изменения напряженности гравитационного и электростатического полей точечных источников установлены опытным путем Кавендишем и Кулоном. Их математическая запись одинакова с точностью до обозначений:

$$E = \frac{\varepsilon Q}{R^2},\ g = \frac{kM}{R^2} \text{ или в векторной форме } \vec{E} = \frac{\varepsilon Q\vec{R}}{R^3},\ \vec{g} = \frac{kM\vec{R}}{R^3}.$$

Направление вектора напряженности точечного источника радиальное. Принято считать, что если $E>0$, то вектор направлен от источника, если $E<0$, то векторы направлены к источнику поля. Однако между источниками гравитационного и электрического полей существенное различие: не существует тел с отрицательной массой. Вектор напряженности гравитационного поля всегда направлен к источнику. На основе этих результатов можно получить законы изменения напряженности поля линейного, поверхностного и объемного источника. Для этого достаточно разбить изучаемый объект на элементарные источники и проинтегрировать выражение для точечного источника.

Теоретические рассуждения проводят в векторной форме, вычисления осуществляют в скалярной форме, т.е. используют запись уравнений в проекциях на оси координат. В декартовой системе проекции вектора напряженности на оси координат

$$E_x = \frac{Q(x - x_0)}{R^3},\ E_y = \frac{Q(y - y_0)}{R^3},\ E_z = \frac{Q(z - z_0)}{R^3}.$$

Экспериментальным путем установлен **принцип суперпозиции**: вектор напряженности совокупности точечных источников равен векторной сумме векторов напряженности отдельных источников (рис. 7, в, г):

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{N} \frac{Q_i \vec{R}_i}{R_i^3}.$$

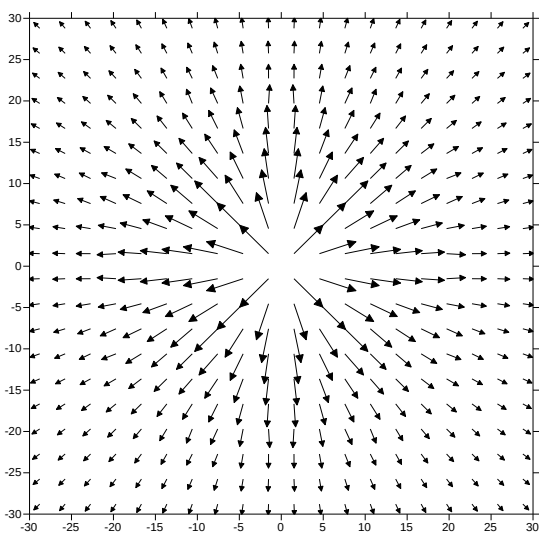
Свойства напряженности векторного поля точечного источника:

1. Напряженность поля точечного источника непрерывна вне источника.

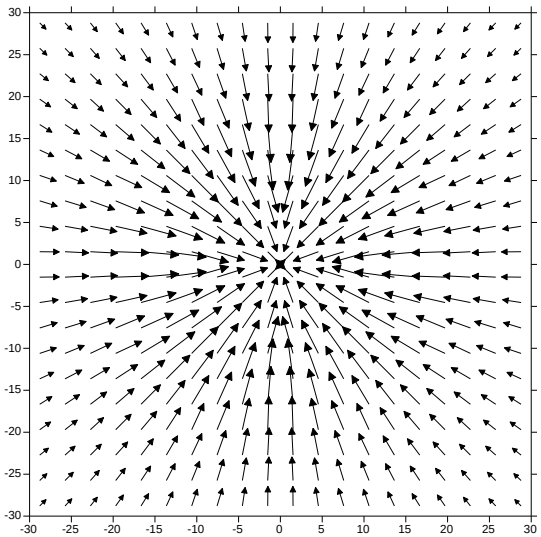
2. При стремлении точки вычисления к бесконечности напряженность поля стремиться к нулю:

$$\lim_{R \to \infty} E = 0.$$

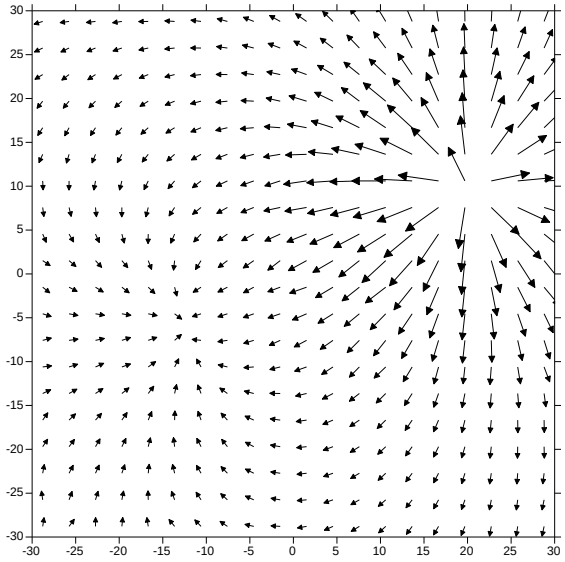
3. При неограниченном приближении к источнику напряженность поля неограниченно возрастает.

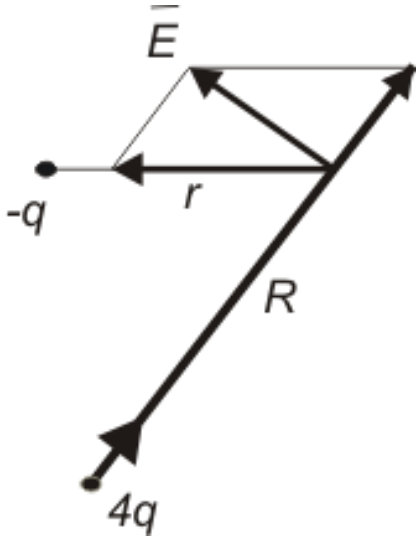


а



б





в г

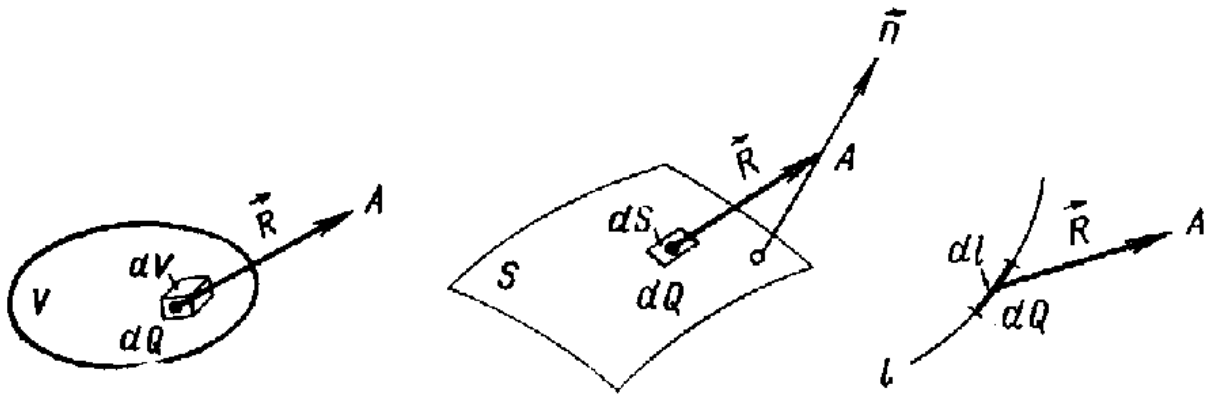
Рис. 7. Векторы напряженности поля точечных источников: положительного точечного заряда (а); отрицательного заряда (б); двух разноименных зарядов (в, г)

Напряженность поля линейных, поверхностных и объемных источников. Для определения полей этих объектов их разбивают на элементарные источники и на основе принципа суперпозиции интегрированием получают формулы вычисления векторов напряженности полей (рис. 8).

Напряженность поля линейного источника описывается выражениями:

$$\vec{E} = \int_l \chi \frac{\vec{R}}{R^3} dl\,,\ E_x = \int_l \chi \frac{x - x_0}{R^3} dl\,,\ E_y = \int_l \chi \frac{y - y_0}{R^3} dl\,,\ E_z = \int_l \chi \frac{z - z_0}{R^3} dl\,,$$

где χ – линейная плотность зарядов (диполей, масс). Эта величина численно равна заряду линии единичной длины (массе линии длиной 1).



а б в

Рис. 8. К определению объемного (а), поверхностного (б) и линейного (в) источников

Свойства напряженности поля линейного источника рассмотрим на примере кольца (рис. 9). Поле вычислим на оси кольца. Из симметрии задачи следует, что вектор напряженности в точках оси диска направлен вдоль этой оси, т.е. $E=E_z$:

$$E_z = \chi \int_0^{2\pi} \frac{r d\varphi}{(r^2 + z^2)^{3/2}} = 4\pi\chi \frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}}.$$

Напряженность поля линейного источника стремится к нолю при удалении от источника. Она всюду конечна и непрерывна вне источника, а при приближении к источнику стремиться к бесконечности.

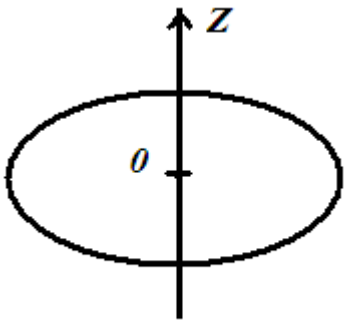


Рис. 9. Линейный источник кольцевой формы

Напряженность поверхностного источника с плотностью поверхностных зарядов (масс, диполей) σ имеет вид:

$$\vec{E} = \int_S \sigma \frac{\vec{R}}{R^3} ds.$$

Свойства напряженности поля поверхностного источника поля рассмотрим на примере диска радиуса a с плотностью поверхностных зарядов σ. Поле вычислим на оси диска (рис. 10). Начало полярной системы координат поместим в центре диска. Исходя из симметрии задачи вектор напряженности в точках, принадлежащих оси диска, направлен вдоль оси z, т.е. $E=E_z$:

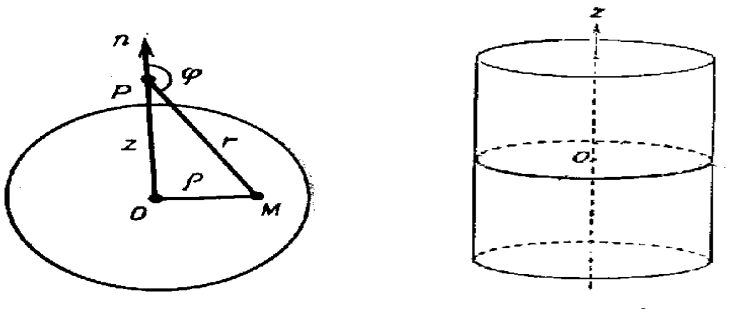
$$E = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^a \frac{(z - z_0) r dr}{\left[(z - z_0)^2 + r^2\right]^{3/2}} = -2\pi \sqrt{z^2 + r^2} \Big|_0^a .$$

Напряженность поверхностного поля вне источника всюду конечна, а при пересечении поверхности источника ее нормальная составляющая терпит разрыв $4\pi\sigma$. В остальной части пространства напряженность поля непрерывна, а при удалении от источника стремится к нолю (см. рис. 10, а).

Свойства напряженности поля объемных источников поля рассмотрим на примере вертикального кругового цилиндра (см. рис. 10, б) высотой $2h$ и радиусом основания a. Вычислим напряженность поля на оси цилиндра. Решение проведем в цилиндрической системе координат, которая отвечает симметрии задачи. Начало координат поместим в центр цилиндра, ось Z направим вдоль оси цилиндра. Из симметрии задачи следует, что вектор напряженности на оси цилиндра направлен вдоль этой оси:

$$E = E_z = \rho \int_{-h}^{h} dz_0 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^a \frac{r dr}{\left[\left(r^2 + (z - z_0)\right)^2\right]^{3/2}} = 2\pi\rho \int_{-h}^{h} \frac{r dr}{\sqrt{r^2 + (z - z_0)^2}} = 2\pi\rho \sqrt{r^2 + (z - z_0)^2} ,$$

Далее необходимо рассмотреть два случая: для точки расчета, находящейся внутри цилиндра ($z<h$), и для точки расчета, расположенной вне цилиндра ($z>h$).



а б

Рис. 10. К вычислению напряженности поля диска (а), вертикального кругового цилиндра (б)

В первом случае:

$$E = 2\pi\rho\left(\sqrt{a^2 + (z - h)^2} + z + h - \sqrt{a^2 + (z + h)^2} - (z - h)\right) =$$

$$2\pi\left(2h + \sqrt{a^2 + (z - h)^2} - \sqrt{a^2 + (z + h)^2}\right).$$

Во втором случае:

$$E = 2\pi\rho\left[\sqrt{a^2 + (z - z_0)^2} - |z - z_0|\right] + 2\pi\rho\left[\sqrt{a^2 + (z - z_0)^2} - |z - z_0|\right] =$$

$$= 2\pi\rho\left(a - \sqrt{a^2 + (z - h)^2} + z + h - \sqrt{a^2 + (z + h)^2} - h + z - a\right) =$$

$$= 2\pi\rho\left(2z + \sqrt{a^2 + (z - h)^2} - \sqrt{a^2 + (z + h)^2}\right).$$

Полученный результат показывает, что напряженность поля объемного источника всюду конечна, непрерывна и при удалении от источника стремится к нулю.

Обращение в бесконечность и нарушение непрерывности носят формальный характер и получаются только вследствие сделанных допущений, что существуют необъемные источники с бесконечно большой плотностью.

На практике очень часто строят модели среды, состоящие из параллелепипедов. В декартовой системе координат вычислим поле прямоугольного параллелепипеда. Вертикальная составляющая вектора напряженности поля:

$$E = \rho \int_{-a}^{a} dx_0 \int_{-b}^{b} dy_0 \int_{-c}^{c} \frac{(z - z_0)dz_0}{((x - x)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2)^{3/2}} =$$

$$= -\rho \int_{-a}^{a} dx_0 \int_{-b}^{b} \frac{dy_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}} =$$

$$= \rho \int_{-a}^{a} \ln\left(y - y_0 + \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}\right) dx_0 =$$

$$= -\rho\left((x - x_0)\ln\left(y - y_0 + \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}\right) + \right.$$

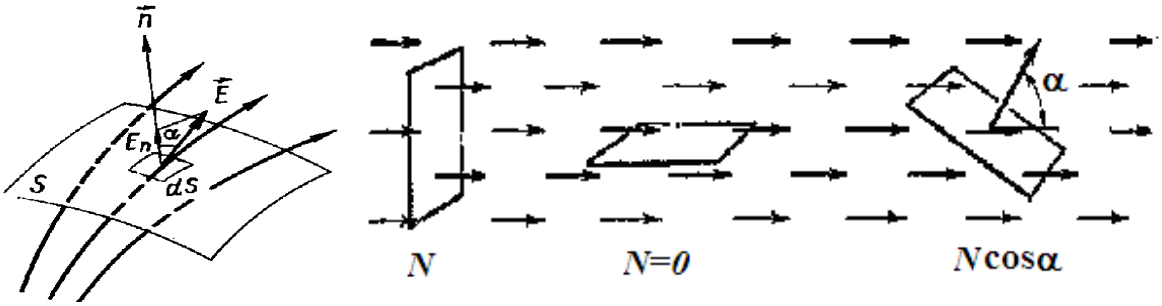
$$+ (y - y_0)\ln\left(x - x_0 + \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}\right) -$$

$$\left. - (z - z_0)\text{arctg}\frac{(x - x_0)(y - y_0)}{(z - z_0)\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}}\right) \Big|\Big|\Big|.$$

Потоком вектора напряженности через поверхность S (рис. 11 и 12) назовем величину

$$N = \int_S E_n dS,$$

где E_n – нормальная составляющая вектора напряженности поля к поверхности. Название «поток» заимствовано из гидродинамики, где эта величина имеет ясный физический смысл (рис. 11, б).



а б

Рис. 11. К определению понятия потока

Поток вектора напряженности точечного источника через поверхность S можно записать в виде:

$$N = \int_S \frac{Q\cos\alpha dS}{R^2} = Q\Omega,$$

где Ω – телесный угол, под которым видна поверхность из точки, где располагается источник.

Таким образом, поток напряженности точечного источника через охватывающую его поверхность равен произведению заряда (массы) на телесный угол, под которым видна поверхность из точки, где располагается источник. Когда поле возбуждается не одним источником, поток вектора через произвольную замкнутую поверхность равен произведению 4π на величину заряда, расположенного внутри поверхности.

Если $N>0$, то внутри замкнутой поверхности S имеются источники поля.

Если $N<0$, то внутри замкнутой поверхности есть поглотители потока (например, поглотители тепла).

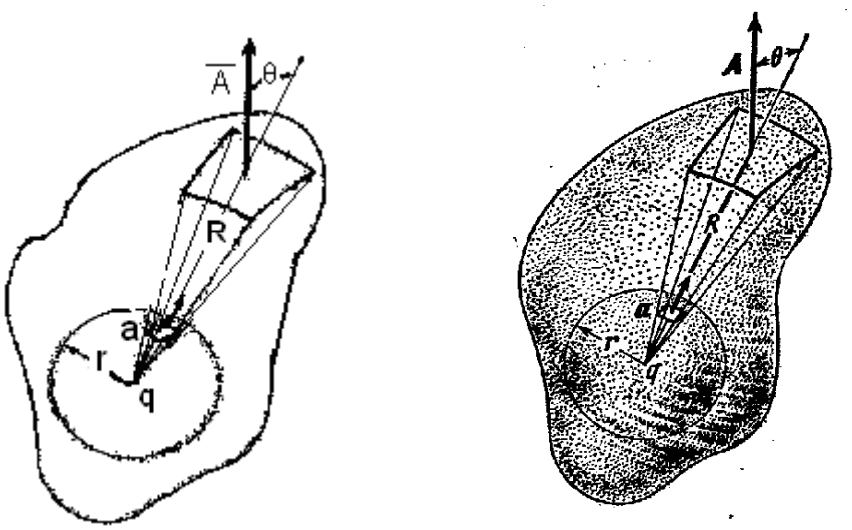
Если $N=0$, то внутри замкнутой поверхности нет источников, либо мощность имеющихся источников равна мощности поглощения потока вектора.

Теорема Гаусса – Остроградского: поток вектора напряженности поля через замкнутую поверхность, охватывающую источник, равен $4\pi Q$, а через

поверхность, не охватывающую источник равен нолю. Теорема справедлива для любых источников поля. Теорема Гаусса – Остроградского может быть записана в дифференциальной форме:

$$\text{Div } E = \begin{cases} 4\pi\rho \text{ (в точках с источниками)} \\ 0 \text{ (в точках без источников).} \end{cases}$$

Поток вектора через замкнутую поверхность, охватывающую источник, равен потоку того же вектора через сферу, охватывающую тот же источник (см. рис. 12).



а б

Рис. 12. Поток вектора через замкнутую поверхность равен потоку того же вектора через сферу: ….

При теоретических рассуждениях используются **формула Гаусса – Остроградского**:

$$\int_S E_n dS = \int_V \text{div}\, \vec{E} dV ,$$

формула Грина:

$$\int_C E_n dl = \int_S \text{div}\, \vec{E} dS .$$

Данные формулы позволяют преобразовать поверхностный интеграл в объемный и наоборот, а поверхностный интеграл преобразовать в контурный интеграл.

Вычислим поток напряженности точечного источника, находящегося на оси цилиндра через боковую поверхность цилиндра. Начало координат расположим в центре цилиндра, высоту цилиндра обозначим $2h$, радиус основания – r, точечный источник находится на расстоянии a от центра цилиндра. Поток через боковую поверхность целиндра равен произведению заряда на разность полного телесного угла 4π и суммы углов, под которыми из источника видны оба основания конуса. Выше телесный угол, под которым видно основание конуса из его вершины был вычислен (глава «Векторное поле»). Поэтому можем записать:

$$N = Q\left(4\pi - \pi + \frac{\pi(a-h)}{\sqrt{r^2+(a+h)^2}} - \pi + \frac{\pi(a+h)}{\sqrt{r^2+(a+h)^2}}\right) = Q\pi\left(\frac{a-h}{\sqrt{r^2+(a-h)^2}} + \frac{a+h}{\sqrt{r^2+(a+h)^2}}\right).$$

ЗАДАЧИ

1. Вычислите поток векторов $\vec{A} = x\vec{i} + 2y\vec{k}$ и $\vec{B} = x^2\vec{j} - y\vec{k}$ через сферу с центром в начале координат и радиусом r=1.

2. Вычислите поток вектора напряженности через боковую поверхность цилиндра, если поле обусловлено точечным зарядом Q=5, находящимся на середине оси цилиндра.

3. Вычислите поток вектора $\vec{A} = (x^2+y^2)\vec{i} + (y^2+z^2)\vec{j} + (z^2+x^2)\vec{k}$ через поверхность куба, ограниченного плоскостями x=0, x=1, y=0, y=1, z=0, z=1.

4. Определите напряженность поля, создаваемого половиной шара радиусом a с плотностью ρ в точках, расположенных на ребре и в центре сферической поверхности.

5. Определите напряженность поля пластинки с поверхностной плотностью 5 в виде ромба на перпендикуляре, проходящем через его центр.

ПОТЕНЦИАЛ ПОЛЯ

Пусть в каждой точке пространства существует векторное поле E. Потенциалом поля назовем скалярную однозначную функцию $U(x,y,z)$, частная производная которой по любому направлению, взятая с обратным знаком, равна составляющей вектора напряженности поля по этому направлению:

$$E_l = \frac{\partial U}{\partial l}.$$

Если такая функция существует, поле называется потенциальным. Вектор

$$\vec{i}\,\frac{\partial U}{\partial x} + \vec{j}\,\frac{\partial U}{\partial y} + \vec{k}\,\frac{\partial U}{\partial z} = -\operatorname{grad} U$$

назовем градиентом потенциала. В символической форме:

$$\vec{E} = -\operatorname{grad} U,\ E_x = -\frac{\partial U}{\partial x},\ E_y = -\frac{\partial U}{\partial y},\ E_z = -\frac{\partial U}{\partial z}.$$

Для потенциальности поля необходимо и достаточно, чтобы циркуляция вектора поля по любому контуру равнялась нулю:

$$\oint A_l dl = 0.$$

В силовых полях численное значение интеграла $\int_a^b A_l dl$ равно работе по перемещению единичного источника из точки *A* в точку *B*.

Дифференциальный критерий потенциальности поля

$$\operatorname{rot} \vec{E} = 0.$$

Чтобы поле было потенциальным необходимо и достаточно, чтобы во всех точках плотность вихревых источников поля равнялась нолю, то есть поле должно быть безвихревым.

Формула Стокса. Циркуляция вектора по контуру равна потоку вихря вектора через произвольную поверхность, ограниченную этим контуром:

$$\oint A_l dl = \int_S \operatorname{rot}_n \vec{A} dS.$$

Формула применяется для преобразования контурного интеграла к поверхностному интегралу и наоборот.

Потенциал точечного источника, как легко проверить:

$$U = \frac{Q}{R}.$$

Потенциал точечного источника в точках, свободных от источников, конечен и непрерывен, а при удалении от него стремится к нолю обратно пропорционально квадрату расстояния.

Потенциал линейного источника

$$U = \int_l \frac{\chi}{R} dl .$$

Рассмотрим свойства линейного источника на примере стержня (рис. 13). Поскольку задача обладает осевой симметрией, совместим начало координат с центром стержня, ось *z* направим вдоль стержня. Его потенциал примет вид:

$$U(r, z_0) = \int_{-l}^{l} \frac{\chi dz_0}{\sqrt{r^2 + (z - z_0)^2}} = \chi \ln \frac{\sqrt{r^2 + (z+l)^2} + z + l}{\sqrt{r^2 + (z-l)^2} + z - l} .$$

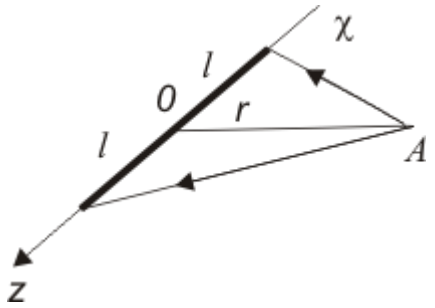


Рис. 13. К вычислению потенциала стержня r

Потенциал стержня на оси *z* вне стержня имеет вид:

$$U = \chi \ln \frac{z+l}{z-l} .$$

Из этого выражения следует, что при приближении к стержню потенциал стремится к бесконечности. В остальных точках пространства потенциал конечен, непрерывен, а при удалении от источника стремится к нолю.

Потенциал поверхностного источника рассмотрим на примере диска. Потенциал на оси диска определится выражением:

$$U = \int_0^a \frac{\sigma r dr d\varphi}{\sqrt{r^2 + z^2}} = 2\pi\sigma(\sqrt{a^2 + z^2} - \lfloor z \rfloor) .$$

Потенциал в центре диска равен $2\pi\sigma a$. При пересечении поверхности диска потенциал остается непрерывным и конечным. Однако производная потенциала по нормали к диску терпит разрыв при пересечении диска. При удалении от диска потенциал стремится к нолю (рис. 14). Эти утверждения справедливы для всех поверхностных источников.

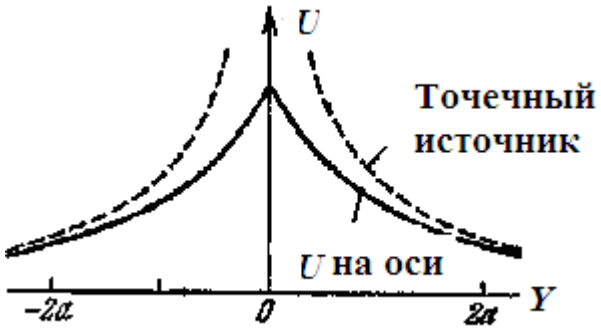


Рис. 14. Графики изменения потенциала диска и точечного источника

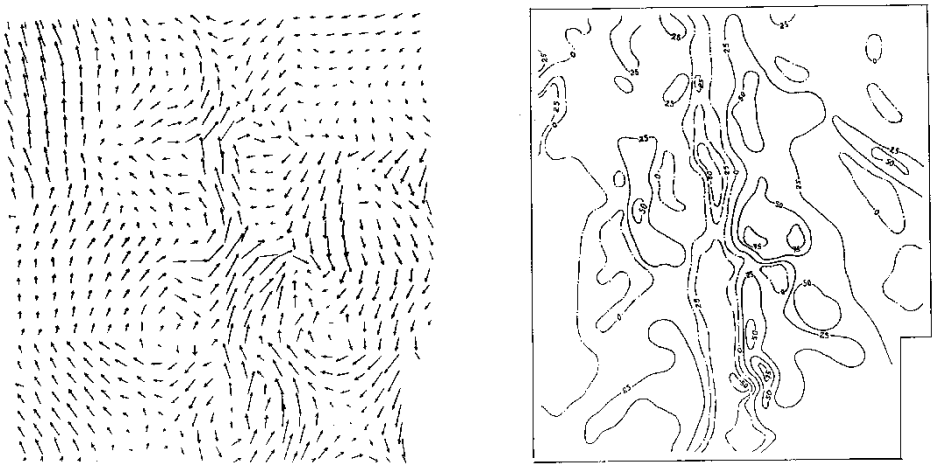
Векторные поля принято изображать графически в виде проекций вектора напряженности на горизонтальную плоскость (рис. 15, а) или в виде планов изолиний величин проекций (рис. 15, б).

Потенциал объемного источника рассмотрим на примере шара (рис. 16). Во внешней по отношению к шару точке потенциал шара радиусом r с объемной плотностью ρ на расстоянии от центра шара L:

$$U = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} \sin\theta d\theta \int_0^{a} \frac{\rho r^2 dr}{\sqrt{L^2 + r^2 - 2rL\cos\theta}} = \frac{\pi\rho}{L} \int_0^{a} r dr \int_0^{\pi} \frac{d(-2Lr\cos\Theta)d\theta}{\sqrt{L^2 + r^2 - 2rL\cos\theta}} =$$

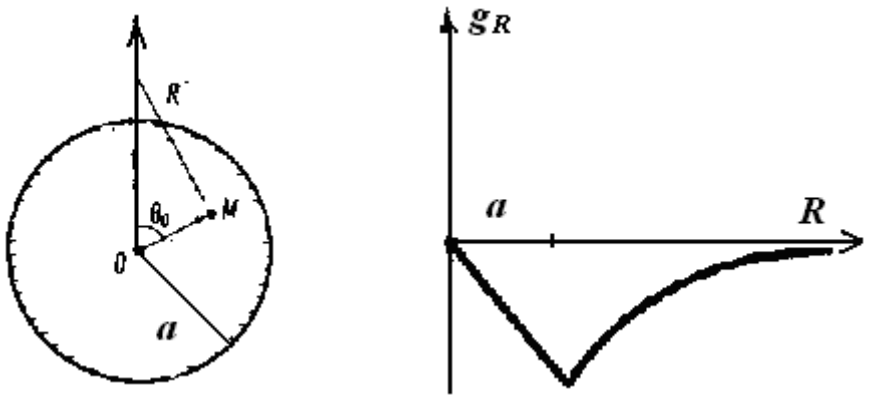
$$= \frac{2\pi\rho}{L} \int_0^{a} \left(\sqrt{L^2 + r^2 + 2rL} - \sqrt{L^2 + r^2 - 2rL} \right) r dr = \frac{2\pi\rho}{L} \int_0^{a} \left(|L + r| - |L - r| \right) r dr = \frac{4\pi\rho}{L} \frac{r^3}{3} \Bigg| =$$

$$= \frac{4\pi\rho a^3}{L} = \frac{Q}{L}.$$



а б

Рис. 15. Способы графического изображения векторного поля:
в виде векторов (а); изолиниями проекции вектора на вертикаль (б)



а б

Рис. 16. К вычислению потенциала и напряженности поля шара (а). График зависимости напряженности гравитационного поля шара от расстояния до его центра (б)

Полученное решение совпадает с потенциалом точечного источника с тем же зарядом Q. При вычислении потенциала внутри шара последний интеграл необходимо разбить на два:

$$U = \frac{2\pi\rho}{z}\int_0^a \Big(|z+r| - |z-r|\Big) r dr = \frac{2\pi\rho}{z}\left(\int_0^a (z+r) r dr - \int_0^z (z-r) r dr - \int_z^a (r-z) r dr\right) = 2\pi\rho\left(a^2 - \frac{z^2}{3}\right).$$

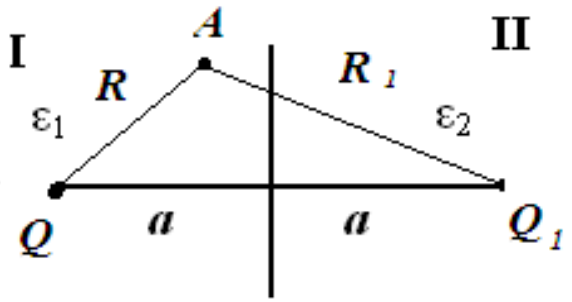
На поверхности шара и вне шара оба выражения принимают одинаковые значения. Потенциал шара всюду конечен, непрерывен, при удалении от источника стремится к нолю. Такими же свойствами обладает потенциал любого объемного источника.

Найдем потенциал поля, создаваемого точечным зарядом Q, расположенным в среде с диэлектрической проницаемостью ε_1 на расстоянии a от плоской границы раздела со средой с диэлектрической проницаемостью ε_2 (рис. 17). Задачу решим методом зеркальных изображений. Симметрично относительно границы раздела введем во второй среде фиктивный источник Q_1. Потенциал в точке A

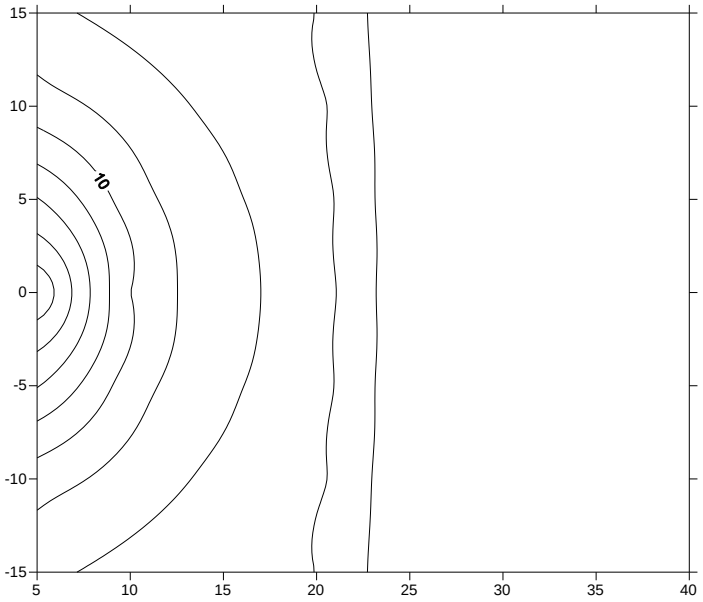
$$U_1 = \frac{Q}{\varepsilon_1 R} + \frac{Q_1}{\varepsilon_2 R_1}.$$

Потенциал во второй среде будем искать как поле фиктивного заряда Q_2 находящегося на месте заряда Q_1:

$$U_2 = \frac{Q_2}{R}.$$



а



б

Рис. 17. Точечный заряд вблизи плоской границы раздела двух сред (а). План изолиний потенциала в среде с плоской границей раздела (б)

На плоской границе раздела ($R = a$) выполняются условия непрерывности потенциала $U_1 = U_2$ и скачок нормальной составляющей напряженности поля ($\varepsilon_1 \frac{\partial U_1}{\partial n} = \varepsilon_2 \frac{\partial U_2}{\partial n}$):

$$\frac{Q + Q_1}{\varepsilon_1} = \frac{Q_2}{\varepsilon_2},\ Q - Q_1 = Q_2.$$

Находим два неизвестных из двух уравнений:

$$Q_1 = Q\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2},\ Q_2 = Q\frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}.$$

Потенциал поля определится после подстановки найденных величин фиктивных зарядов в вышеприведенные уравнения:

$$U_2 = \frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}\frac{Q}{R}.$$

Величину $k = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}$ называют коэффициентом отражения поля от плоской границы, а величину $1 - k = \frac{2\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}$ называют коэффициентом прохождения.

ВИХРЕВОЕ ПОЛЕ

Векторное поле $\vec{E}$ называют соленоидальным (вихревым), если поток поля через замкнутую поверхность, ограничивающую любую область, равен нолю:

$$\int_S E_n dS = 0.$$

Силовые линии соленоидального поля замкнуты. В области S не должно быть источников потенциальных полей. Соленоидальное поле порождается вихревыми источниками с плотностью $\vec{q} = \operatorname{rot}\vec{E}$. Дифференциальные уравнения соленоидального поля:

$$\operatorname{div}\vec{E} = 0,\ \operatorname{rot}\vec{E} = \vec{q},\ \operatorname{div}\vec{q} = 0.$$

Произвольное векторное поле может иметь потенциальную и вихревую части:

$$\vec{E} = -\operatorname{grad}\left(\int_V \frac{\rho dV}{R}\right) + \operatorname{rot}\left(\int_V \frac{\vec{q}dV}{R}\right).$$

Дифференциальные характеристики произвольного вектора определяют его структуру:

$$\vec{E} = \operatorname{grad}\left(\int_V \frac{div\vec{E}}{R}dV\right) + \operatorname{rot}\left(\int_V \frac{\operatorname{rot}\vec{E}}{R}dV\right).$$

УРАВНЕНИЕ ЛАПЛАСА

Оператором Лапласа называют дифференциальный оператор, который в декартовых координатах представляет собой сумму вторых частных производных по *x*, *y*, *z*:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Дифференциальное уравнение в частных производных вида

$$\Delta U = \operatorname{div}(\operatorname{grad} U) = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0$$

называют уравнением Лапласа. Уравнение Лапласа описывает стационарное тепловое поле, потенциальное течение жидкости, электрическое поле постоянного тока, электростатическое поле, магнитостатическое поле, процесс диффузии.

В сферических координатах уравнение Лапласа:

$$\Delta U = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 \frac{\partial U}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2 \sin\theta}\frac{\partial}{\partial}\left(\sin\theta \frac{\partial U}{\partial \theta}\right) + \frac{1}{r^2 \sin^2\theta}\frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} = 0.$$

Непрерывную функцию вместе со своими производными в некоторой области, удовлетворяющую уравнению Лапласа, называют гармонической в этой области. Основные свойства гармонических функций:

- если функция *U* гармоническая в области *T*, ограниченной некоторой поверхностью, то справедливо равенство:

$$\sum_S \frac{\partial U}{\partial n} dS = 0,$$

где *S* – любая замкнутая поверхность, целиком лежащая в области *T*;

- если функция *U* гармоническая в области *T*, а *M* – точка, лежащая внутри *T*, то справедливо:

$$U(M) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_D U dS,$$

где *D* – сфера с центром в точке *M*, целиком лежащая в области *T*;

- если функция *U*, определенная и непрерывная в замкнутой области *T*, удовлетворяет уравнению Лапласа внутри *T*, то максимальное и минимальное значения эта функция принимает на поверхности, ограничивающей область *T*;

- если известны значения гармонической функции *U* в области *T*, во всех точках ограничивающей эту область поверхности *S*, то функция *U* может быть определена в любой точке *T*;

- если гармоническая функция *U*, определенная в области *T* , принимает на поверхности, ограничивающей область, постоянное значение, то всюду в этой области она принимает это постоянное значение.

Одним из способов решения уравнения Лапласа является способ разделения переменных (метод Фурье). Искомую функцию представляют в виде произведения функций, каждая из которых зависит только от одной переменной:

$$U(x,y,z)=X(x)Y(y)Z(z),\ U(r,\theta,\varphi)=R(r)\Theta(\theta)\Phi(\varphi),\ U(r,\varphi,z)=R(r)\Phi(\varphi)Z(z).$$

В цилиндрических координатах уравнение Лапласа имеет вид:

$$\frac{1}{R}\frac{\partial^2 R}{\partial r^2}+\frac{1}{R}\frac{\partial R}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \varphi^2}+\frac{\partial^2 Z}{\partial z^2}=0.$$

После подстановки функции, предложенной Фурье:

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial z^2}=\gamma^2 Z,\ \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \varphi^2}+n\Phi=0,\ \frac{\partial^2 R}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial R}{\partial r}+\left(\gamma^2-\frac{n^2}{r^2}\right)R=0.$$

Решение первых двух уравнений:

$$Z=e^{-\gamma z},\ \Phi=e^{n\varphi i}.$$

Третье уравнение с помощью подстановки приводится к уравнению Бесселя:

$$\frac{d^2 y}{dx^2}+\frac{1}{x}\frac{dy}{dx}+\left(1-\frac{h^2}{x^2}\right)y=0.$$

Его решением является цилиндрическая функция Бесселя первого рода:

$$R=J_n(\gamma r),\ J_n(\gamma r)=\left(\frac{\gamma r}{2}\right)^n\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-(\gamma r)^2/4)^k}{k!(\Gamma(k+n+1)},$$

где Г – гамма-функция, Г(1)=Г(2)=1, Г(*n*+1)=*n*!.

Бессель Ф. В. при обработке астрономических наблюдений исследовал цилиндрические функции для вычисления коэффициентов разложения в тригонометрический ряд радиус-векторов планет. Функция Бесселя с ростом аргумента колеблется относительно оси абсцисс с экспоненциально убывающей амплитудой. Представление функции, обратной расстоянию с помощью функций Бесселя имеет вид:

$$\frac{1}{\sqrt{r^2+z^2}} = \int_0^\infty \exp(-tz) J_0(tz) dt,\ z \geq 0,$$

$$\frac{1}{\sqrt{r^2+z^2}} = \int_0^\infty \exp(tz) J_0(tz) dt,\ z \leq 0.$$

Частное решение и общее решение третьего уравнения:

$$Z = e^{-\gamma z + \varphi n i} J(nr), \quad U(r,\varphi,z) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{n\varphi i} \int_0^\infty C_n(\gamma) e^{-\gamma z} J(\gamma r) \gamma d\gamma,$$

где $C_n(\gamma) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{-n\varphi i} d\varphi \int_0^\infty U(r,\varphi) J_n(\gamma r) r dr$.

При некоторых специально подобранных законах изменения γ уравнение Лапласа имеет аналитическое решение. Например, И. К. Овчинников предложил для описания зависимости электропроводности от глубины использовать законы:

$$\gamma = \gamma_0 \left(\frac{ch\alpha(k+z)}{ch\alpha z} \right)^{\pm 2},\ \gamma = \gamma_0 \left(\frac{sh\alpha(k+z)}{sh\alpha z} \right)^{\pm 2},\ \gamma = \gamma_0 e^{\pm 2\alpha z},$$

которые позволяют получить аналитические решения уравнения Лапласа.

Поле вертикально поляризованной сферы. Пусть в однородной изотропной бесконечной среде находится равномерно поляризованная сфера, т. е. такая, что скачок потенциала на границе сферы с вмещающей средой линейно меняется в зависимости от глубины. Обозначим U_1 потенциал поля во вмещающей среде с проводимостью γ_1, U_2 – потенциал поля внутри шара с проводимостью γ_2, a – радиус шара, θ – угол между направлением поляризации и направлением из центра сферы на точку наблюдения. Равномерность поляризации обеспечивается распределением скачка потенциала на границе сферы и вмещающей среды по закону:

$$\Delta U = \Delta U_0 \cos\theta,$$

где ΔU_0 – наибольший скачок потенциала $U_1 - U_2$ на границе сферы.

Уравнение Лапласа в данном случае имеет вид:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 U}{\partial \theta} + \frac{\operatorname{ctg}\theta}{r^2}\frac{\partial U}{\partial \theta} = 0.$$

Решение должно удовлетворять условиям:

$$U_1 - U_2 = \Delta U_0 \cos\theta,\ \gamma_1 \frac{\partial U_1}{\partial r} = \gamma_2 \frac{\partial U_2}{\partial r},\ \text{при } r=a;$$

$$U_1 \to 0 \text{ при } r \to \infty,\ U_2 = 0 \text{ при } r = 0.$$

Решение будем искать методом разделения переменных, полагая $U = f(r)\cos\theta$.

Подставим избранную функцию в уравнение Лапласа, получим:

$$\cos\theta\left(\frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial f}{\partial r} - 2\frac{f}{r}\right) = 0,$$

откуда

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial f}{\partial r} - 2\frac{f}{r}\right) = 0.$$

Представим функцию f в виде произведения $f = r^2\varphi$. Наше уравнение преобразуется:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} - \frac{2}{r}\frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0.$$

Его решение, как легко убедиться подстановкой, $\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} = 2C^2 r$, $\frac{\partial \varphi}{\partial r} = C^2 r^2$,

где C – произвольная постоянная. Далее получим $\varphi = Ar^3 + B$, $f = ar + \frac{B}{r^2}$,

где A и B – произвольные постоянные. Решение исходного уравнения:

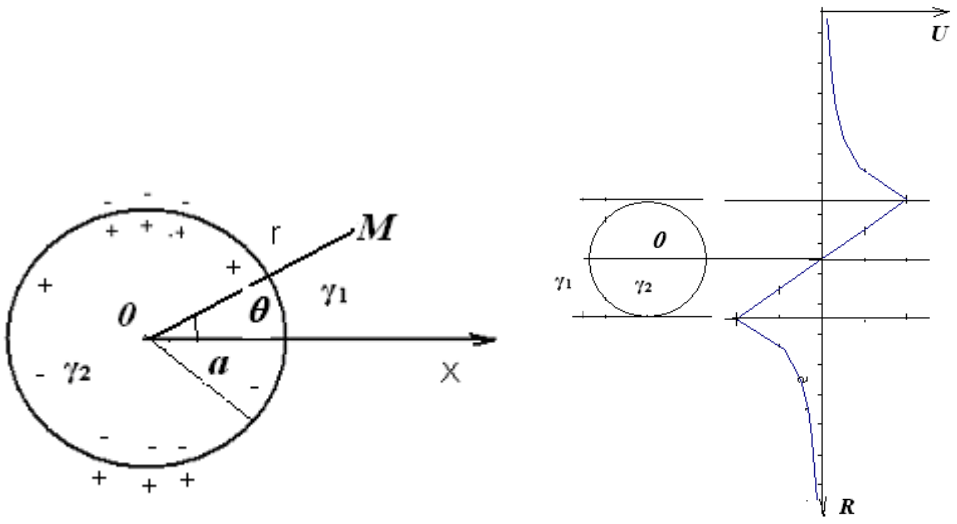
$$U = (Ar + \frac{B}{r^2})\cos\theta,$$

После рассмотрения граничных условий:

$$U_1 = \frac{B}{r^2}\cos\theta,\ U_2 = Ar\cos\theta,$$

$$U_1 = \frac{\gamma_2}{2\gamma_1+\gamma_2}\Delta U_0 \frac{a^2}{r^2\cos\theta},\ U_2 = -\frac{2\gamma_1}{2\gamma_1+\gamma_2}\Delta U_0 \frac{r}{a}\cos\theta.$$

На рис. 24, б представлен график изменения потенциала, вдоль вертикальной линии, проходящей через центр шара.



а б

Рис. 24. Однородно вертикально поляризованная сфера (а) и график ее потенциала (б)

Намагничивание однородного шара однородным полем. Пусть в среде с постоянной магнитной проницаемостью μ_1 находится шар с радиусом равным a и постоянной магнитной проницаемостью μ_2. Намагничивающее поле будем считать однородным, его напряженность обозначим H_0 (рис. 24). Потенциал первичного поля представим в виде $U_0 = -H_0 z = -H_0 R\cos\theta$.

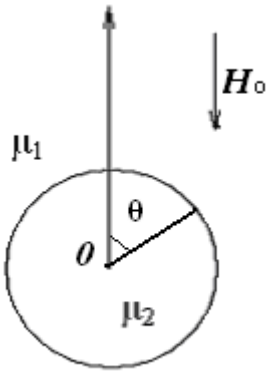


Рис. 25. К определению магнитного поля шара

Введем сферическую систему координат с началом в центре шара, полярную ось направим по намагничивающему полю. Решение будем искать в виде суммы первичного поля и аномального поля, обусловленного присутствием шара: $U(R,\theta)=U_0(R,\theta)+U_a(R,\theta)$. Второе слагаемое (аномальная компонента поля) вне шара и внутри шара имеет разное аналитическое представление. Аномальное поле вне шара обозначим $U_1(R,\theta)$, а потенциал внутри шара – $U_2(R,\theta)$. На поверхности шара (R=a) должны выполняться граничные условия:

$$U_1 = U_2 \cdot\ \mu_1 \frac{\partial U_1}{\partial R} = \mu_2 \frac{\partial U_2}{\partial R}.$$

Потенциалы U_1 и U_2 будем искать в виде:

$$U_1 = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{B_n P_n(\cos\theta)}{R^{n+1}}\ ,\ U_2 = \sum_{n=0}^{\infty} A_n R^n P_n(\cos\theta).$$

Коэффициенты A_n и B_n найдем, используя граничные условия (для краткости аргумент полиномов Лежандра приводить не будем):

$$-H_0 a\cos\theta + \sum_{n=0}^{\infty} A_n R^n P_n = -H_0 a\cos\theta + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{B_n P}{R^{n+1}},$$

$$\mu_1\left(-H_0\cos\theta - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(n+1)B_n P_n}{a^{n+2}}\right) = \mu_2\left(-H_0\cos\theta + \sum_{n=0}^{\infty} nA_n a^{n-1} P_n\right).$$

Эти равенства выполняются только в том случае, если коэффициенты при полиномах Лежандра с одинаковыми номерами в левой и правой частях будут равны. Удовлетворить этим условиям можно только в том случае, если:

1) A_n=B_n=0 при $n \neq 1$;

2) $A_1 a^3 = B_1$,

откуда получим:

$$\mu_1\left(H_0 + \frac{2B_1}{a^3}\right) = \mu_2(H_0 - A_1),\ A_1 = \frac{\mu_2-\mu_1}{\mu_2+2\mu_1}H_0,\ \ B_1 = \frac{\mu_2-\mu_1}{\mu_2+2\mu_1}a^3 H_0.$$

Таким образом, потенциал намагниченного шара определен внутри шара формулой

$$U_2 = -H_0 \cos\theta + \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + 2\mu_1} H_0 \cos\theta .$$

Векторы напряженности и индукции магнитного поля внутри шара постоянны и направлены параллельно намагничивающему полю. Это отражает общее положение о том, что тела, ограниченные поверхностями второго порядка, намагничиваются (поляризуются) однородно, все остальные тела намагничиваются неоднородно, то есть их намагниченность зависит от координат.

Вне шара потенциал:

$$U_1 = -H_0 \cos\theta + \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + 2\mu_1} \frac{a^3 H_0 \cos\theta}{R^2}$$

и совпадает с полем магнитного диполя, расположенного в центре шара, магнитный момент M которого равен магнитному моменту шара:

$$\vec{M} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + 2\mu_1} a^3 H_0 ,$$

а намагниченность

$$\vec{J} = \frac{3}{4\pi} \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + 2\mu_1} H_0 .$$

Компоненты напряженности поля:

$$X = 3M \frac{(x - x_0)(z - z_0)}{R^5}, \; Y = 3M \frac{(y - y_0)(z - z_0)}{R^5},$$

$$Z = M \frac{2(z - z_0)^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2}{R^5} .$$

Полученное для шара решение позволяет рассмотреть задачу о сферическом магнитном экране. Потенциал представляют в виде суммы трех потенциалов: во внешней области, во внутренней области и в самой сферической оболочке. Решение во всех областях должно удовлетворять уравнению Лапласа и граничным условиям. Магнитное поле внутри сферического экрана

$$H = \frac{9\mu_1\mu_2 H_0}{2(\mu_2^2 + 1)(r_2^3 - r_1^3)/r_2^3 + \mu_2(4r_1^3 + 5r_2^3)/r_2^3} .$$

Убывание интенсивности магнитного поля во внутренней области сферической оболочки оценивают коэффициентом экранирования, который равен отношению интенсивности поля внутри экрана к интенсивности поля во внешнем пространстве:

$$k = \frac{1}{1 + \frac{2(\mu_2 - 1)^2}{9\mu_2} \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^3}}.$$

Экранирующий эффект тем больше, чем выше магнитная проницаемость экрана и его толщина. Это выражение используется при расчете экранов устройств, нуждающихся в защите от магнитных помех, например в скважинных приборах.

ПОТЕНЦИАЛ ДВУМЕРНЫХ ТЕЛ

В геологической практике часто встречаются объекты, размеры которых по одному направлению намного больше, чем в двух других (например, дайки). Поле таких объектов в направлении простирания почти не меняется. Такие объекты считают бесконечными по простиранию, а их сечение представляют идеализированными правильными геометрическими фигурами и их называют двумерными телами.

Потенциал однородной бесконечной нити с линейной плотностью χ:

$$U = 2\chi \ln \frac{1}{r},$$

его называют логарифмическим потенциалом.

В двумерном случае под линейным диполем понимают линию, состоящую из одинаковых элементарных диполей, либо две бесконечные линии с плотностью зарядов разного знака, расположенных на бесконечно малом расстоянии (рис. 26). Потенциал линейного диполя, дипольный момент которого M:

$$U = M \frac{\cos\theta}{r}.$$

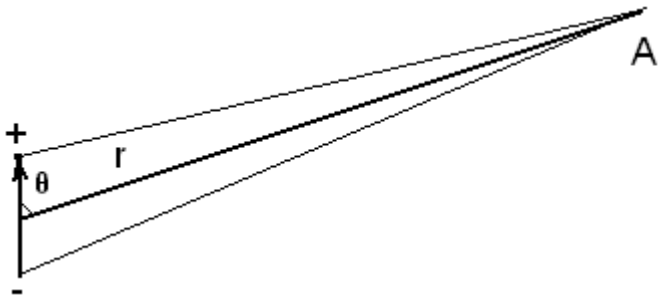


Рис. 25. К выводу формулы потенциала линейного диполя

Векторы магнитной индукции *B* и электрической поляризации P. Магнитная индукция является основной силовой характеристикой магнитного поля. Напряженность магнитостатического поля *H* вводится уравнением

$$\vec{B} = 1 + 4\pi\chi\vec{H} = \mu\vec{H}\,.$$

Основное уравнение, описывающее магнитное поле:

$$\operatorname{div}\vec{B} = 0\,.$$

Линии вектора магнитной индукции всегда замкнуты, магнитное поле соленоидальное. В случае пространственной изменчивости магнитной проницаемости это уравнение имеет вид:

$$\operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} U) = 0\,.$$

Уравнения непрерывности потенциала и нормальной составляющей вектора магнитной индукции на поверхности раздела:

$$\mu_1 \frac{\partial U_1}{\partial n} = \mu_2 \frac{\partial U_2}{\partial n},\ \ U_1 = U_2\,.$$

Величина напряженности магнитного поля внутри магнетика *H* вводится соотношением:

$$\vec{H} = \vec{B} - 4\pi\vec{J}\,.$$

Таким образом, *H* – это не поле и не характеристика поля, это разность величин разной природы – поля и величины, характеризующей упорядоченность магнитных моментов. Вектор напряженности магнитного поля – удобная конструкция для теоретических рассуждений. Аналогично вводится вектор электрической индукции:

$$\vec{D} = \vec{E} + 4\pi\vec{P}\,,$$

где P – вектор электрической поляризации, реальная физическая величина.

НАМАГНИЧИВАНИЕ ТЕЛ С ВЫСОКОЙ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТЬЮ

Распределение намагниченности в телах с высокими магнитными свойствами существенно зависит от формы тела. Расчет магнитных полей в таких случаях нельзя проводить исходя из принципа суперпозиции. Вычисления полей проводят, решая численными методами интегральные уравнения.

Уравнения вида

$$y(x) - \lambda \int_a^b K(x, x_0) y(x_0) dx_0 = \varphi(x).$$

где $y(x)$ – искомая функция, λ – параметр, называют линейными интегральными уравнениями Фредгольма второго рода. Интегральное уравнение

$$y_0(x) - \lambda \int_a^b K(x, x_0) y_0(x) dx_0 = 0$$

называют соответствующим однородным интегральным уравнением.

Общее решение интегрального уравнения Фредгольма второго рода есть сумма:

К интегральным уравнениям Фредгольма сводятся некоторые задачи теории упругости, например:

$$F(x) = y_0(x) + \varphi(x).$$

Если для $M > 0$ справедливо неравенство $|\lambda| < 1/M$ и $\int_a^b |K(x, x_0 dx_0| \le M$ при $a \le x \le b$, интегральное уравнение имеет решение $F(x)$. Решение может быть найдено методом последовательных приближений. Искомое решение является пределом последовательности

$$y_0(x) = \varphi(x),\ \varphi_n(x) = \varphi(x) + \lambda \int_a^b K(x, x_0) y_{n-1}(x_0) dx_0 .$$

Эффект неоднородного намагничивания железорудных тел при современных средствах измерения магнитных полей необходимо учитывать, если их магнитная восприимчивость превышает 0,01 СИ.

Магнитный потенциал намагниченного тела

$$U = \int_V \vec{J}\,\mathrm{grad}\frac{1}{r}dV_0 .$$

Намагниченность неоднородно намагниченного тела ранее определена выражением

$$\vec{H} = \vec{B} - 4\pi\vec{J} .$$

Напряженность магнитного поля вне тела выразится интегральным уравнением:

$$\vec{H} = \vec{H}_0 - \frac{1}{4\pi}\mathrm{grad}\int_V \left((\mu - 1)\vec{H} + \vec{J}_n\right)\frac{\vec{r}}{r^3}dV_0 .$$

Внешнее поле входит в данное уравнение дважды: как определяемая величина и в подынтегральное выражение величина, определяющая индуцированную намагниченность. Выражение в круглых скобках в подынтегральном выражении представляет собой сумму остаточной и индуцированной намагниченности. Ее называют вектором суммарной намагниченности. Проекцию этого вектора на внешнюю нормаль к поверхности намагниченного тела по аналогии с электрическими зарядами называют плотностью магнитных зарядов простого слоя.

Определим из последнего уравнения аномальное поле $\vec{H}_a = \vec{H} - \vec{H}_0$. Если известна плотность магнитных зарядов на поверхности, можно вычислить магнитное поле геологических объектов сложной формы, ограниченных поверхностью *S*. Вертикальную составляющую вектора аномалии магнитной индукции можно вычислить:

$$Z(A) = 100\int_S J_n(M)\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{R}\right)dS ,$$

где $J_n(M)$ – плотность простого слоя в точке *M* поверхности *S*, *n* – нормаль к поверхности. Плотность зарядов определяется выражением

$$J_n(M) = \frac{\Delta\chi}{2\pi(2+\chi_1+\chi_2)} \int_S J_n(N) \frac{\partial}{\partial n_M}\left(\frac{1}{r}\right) dS - \frac{\Delta\chi}{2\pi(2+\chi_1+\chi_2)} T_{0n}(M),$$

где χ_1 и χ_2 – магнитная восприимчивость среды и объекта, $\Delta\chi$ – избыточная магнитная восприимчивость, T_0 – намагничивающее поле.

Часто интегральные уравнения решают численными методами. При этом изучаемый объем разбивается на конечное число элементарных ячеек, чаще всего прямоугольников или прямоугольных параллелепипедов, а интегральное уравнение аппроксимируют системой линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Для решения СЛАУ существует много методов, адаптированных к типу системы.

УЧЕТ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ТЕЛ С ВЫСОКОЙ НАМАГНИЧЕННОСТЬЮ

Если несколько тел с высокой намагниченностью близко расположены относительно друг друга, то их суммарное поле не равно сумме полей изолированных тел $Z_{01} + Z_{02}$. Принцип суперпозиции не выполняется. Алгоритм учета взаимного влияния разработан Ю. И. Блохом. Рассмотрим его на примере горизонтальных круговых цилиндров, которые, как ранее упоминалось, намагничиваются однородно.

Источником поля будем считать линейный магнитный диполь с магнитным моментом *M*, удаленный на расстояние *L* от цилиндра в горизонтальном направлении. Поместим начало координат на оси цилиндра. Потенциал кругового цилиндра радиусом *a* и магнитной проницаемостью μ в поле магнитного диполя вне цилиндра (рис. 27):

$$U_1 = \frac{M\cos\varphi}{r} = \frac{MR\cos\theta}{R^2 + L^2 + 2RL\sin\theta}$$

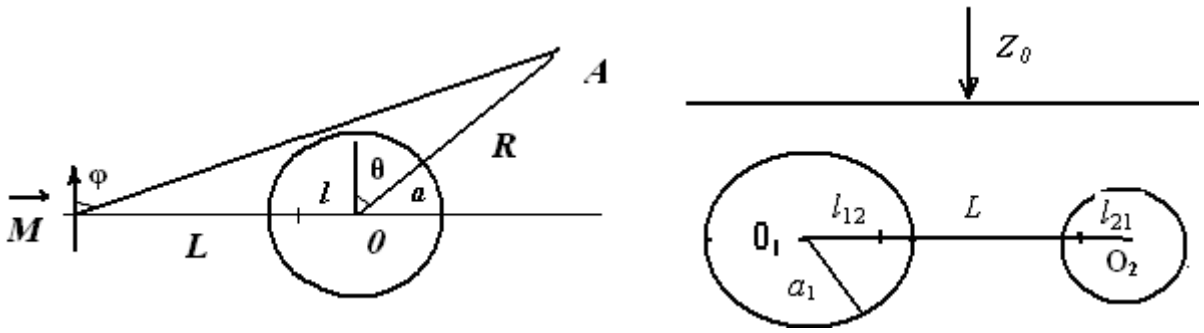
Потенциал поля внутри цилиндра будем искать в виде поля линейного диполя с моментом M_0, расположенного в точке (0,-*l*), где $l = a^2 / L$:

$$U_2 = M_0 \frac{R\cos\theta}{R^2 + l^2 + 2Rl\sin\theta}$$

После удовлетворения граничных условий внешний потенциал

$$U_1 = -\frac{M(\mu-1)a^2 r\cos\theta}{(\mu+1)(r^2L^2 + a^4 + 2a^2Lr\sin\theta)}.$$

Это аномальное поле совпадает с полем магнитного линейного диполя, смещенным в сторону внешнего источника (диполя) от оси цилиндра на расстояние $l = a^2 / L$ и магнитным моментом $M_0 = -\frac{M(\mu-1)}{\mu+1}$ (рис. 27, а).



а б

Рис. 27. Горизонтальный цилиндр в магнитном поле диполя (а). Два горизонтальных цилиндра в однородном магнитном поле (б)

Пусть два горизонтальных цилиндра расположены в магнитном поле Z_0 на расстоянии L по горизонтали. Начало координат совместим с осью первого цилиндра (рис. 27, б). Если цилиндры изолированы от влияния других тел, их поле совпадет с полем линейных диполей с магнитными моментами:

$$M_1 = \frac{\mu_1 - 1}{\mu_1 + 1} a_1^2 Z_0,\ M_2 = \frac{\mu_2 - 1}{\mu_2 + 1} a_2^2 Z_0.$$

Влияние первого цилиндра на второй можно учесть добавлением линейного магнитного диполя, смещенного от оси второго цилиндра на расстояние $l_{21} = a_2^2 / L$ с магнитным моментом

$$M_{21} = -\frac{(\mu_2 - 1)(\mu_1 - 1)a_1^2 a_2^2 H_0}{(\mu_2 + 1)(\mu_1 + 1)L^2}.$$

Влияние второго цилиндра на первый можно учесть добавлением линейного магнитного диполя с таким же магнитным моментом $M_{12} = M_{21}$, смещенного от оси первого цилиндра в направлении второго цилиндра на расстояние $l_{12} = a_1^2 / L$. Вертикальная и горизонтальная компоненты напряженности магнитного поля взаимного влияния:

$$Z_1 = M_{12} \frac{z^2 - (x - l_{12})^2}{(z^2 + (x - l_{12})^2)^2}, \quad H_1 = -2M_{12} \frac{z(x - l_{12})}{(z^2 + (x - l_{12})^2)^2},$$

$$Z_2 = M_{21} \frac{z^2 - (x - L - l_{21})^2}{(z^2 + (x - L - l_{21})^2)^2}, \quad H_2 = -2M_{21} \frac{z(x - l_{21})}{(z^2 + (x - L - l_{21})^2)^2}.$$

Суммарное магнитное поле после первой итерации

$$Z_\Sigma = Z_0 + Z_{01} + Z_{02} + Z_1 + Z_2$$

Намагничивающее поле для обоих цилиндров изменится. Изменится и намагниченность обоих цилиндров. Процесс учета взаимного влияния можно аналогичным образом продолжить далее. Итерационный процесс быстро сходится. Расчеты показывают, что в зависимости от расположения тел относительно друг друга суммарное поле может как увеличиваться, так и уменьшаться относительно суммы полей изолированных тел. Изменение поля в результате взаимного влияния двух цилиндров может достигать 20 %.

ЗАДАЧИ

1. Вычислите напряженность аномального магнитного поля кругового горизонтального цилиндра с радиусом a и магнитной восприимчивостью μ_2, находящегося в однородной изотропной среде с магнитной восприимчивостью μ_2, возбуждаемого полем H_0.

2. Докажите, что векторное поле $\vec{A} = 2xz\vec{i} + y^2\vec{j} + x^2\vec{k}$ потенциально, и найдите его потенциал.

3. Докажите, что функция $U = \exp(-i\alpha x - i\beta y - \gamma z)$ является решением уравнения Лапласа, если $\gamma^2 = \alpha^2 + \beta^2$.

4. Вычислите эффект экранирования для сферической оболочки с r=8 см и r=8,5 см, изготовленной из материала с $\gamma = 5{,}14 \cdot 10^{17}$ ед. СГСЭ.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Закон Ома в дифференциальной форме. Пусть в некотором пространстве с электропроводностью γ протекает ток (рис. 28). Рассмотрим цилиндр малых размеров такой, в котором ось цилиндра совпадает с направлением плотности тока. Тогда для цилиндра имеющего сопротивление R при плотности тока *i*, справедливы соотношения:

$$dI = -\frac{dU}{R},\ dI = idS,\ R = \frac{dl}{\gamma dS},\ idS = -\frac{dU}{dl},\ i = -\gamma\frac{\partial U}{\partial l},\ \vec{i} = \gamma\vec{E}.$$

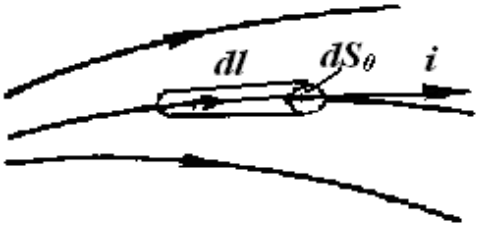


Рис. 28. К выводу закона Ома

Закон Ома в дифференциальной форме устанавливает соотношения между физическими характеристиками в бесконечно малом объеме, теоретически – в точке. В проекциях на оси координат закон записывается:

$$i_x = \gamma E_x,\ i_y = \gamma E_y,\ i_z = \gamma E_z.$$

Законы Кирхгофа в дифференциальной форме. Ток в некотором объеме равен изменению заряда в единицу времени:

$$\int_S i_n dS = -\frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho dV,\ \int_V \mathrm{div}\,\vec{i} = -\int_V \frac{\partial \rho}{\partial t}dV,\ \mathrm{div}\,\vec{i} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}.$$

Первое выражение называют первым законом Кирхгофа в дифференциальной форме. Второй закон Кирхгофа в интегральной форме имеет вид:

$$\oint_l E_l dl = 0,\ \oint_l E_l dl = \int_S \mathrm{rot}\,\vec{E}dS,\ \int_S \mathrm{rot}\,\vec{E}dS = 0,\ \mathrm{rot}\,\vec{E} = 0.$$

Электрическое поле постоянного тока – потенциальное безвихревое поле.

Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме. Для элементарного объема в форме цилиндра мощность N определена по экспериментальным данным:

$$dN = R(dI)^2,\ R = \frac{1}{\gamma}\frac{dl}{dS},\ dN = \frac{1}{\gamma}(dI)^2\frac{dl}{dS},\ dN = \frac{1}{\gamma}i^2 dV.$$

После интегрирования последнего выражения получим:

$$N = \frac{i^2}{\gamma},\ N = \rho i^2.$$

Последнее выражение и есть закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме.

Объединенный закон постоянного тока. Для постоянного тока $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$.

Исходя из первого закона Кирхгофа получим:

$$\operatorname{div}\vec{i} = -\frac{\partial \rho}{\partial t},\ \operatorname{div}\gamma\vec{E} = 0,\ \operatorname{div}\operatorname{grad}U = 0,\ \Delta U = 0,$$

Граничные условия для потенциала постоянного тока:

$$\frac{\partial U_1}{\partial t} - \frac{\partial U_2}{\partial t} = \frac{\partial \mathrm{E}_{21}}{\partial t},\ E_{t1} - E_{t2} = \frac{\partial \mathrm{E}_{21}}{\partial t}\ ,$$

$$i_{n1} = i_{n2},\ \gamma_1\frac{\partial U_1}{\partial n} = \gamma_2\frac{\partial U_2}{\partial n}.$$

Экспериментально установлено, что ток (упорядоченное движение зарядов) создает постоянное электрическое поле и постоянное магнитное поле. Поскольку эти поля постоянные во времени и не оказывают влияния друг на друга, их можно рассматривать независимо.

При решении задач электрометрии пользуются понятием точечного источника тока. Это шарообразный объект с бесконечно малым радиусом. При расположении точечного источника тока в пространстве с него стекает ток I. Ток в однородной изотропной среде с электропроводностью γ будет растекаться радиально (вихрь и расходимость вектора тока равны 0). Плотность тока на удалении R будет равна $i = I/4\pi R^2$. Напряженность поля $E = I/4\pi\gamma R^2$, ее

направление совпадает с направлением вектора плотности тока. Потенциал поля вычислим в соответствии с его определением:

$$E = -\text{grad}\, U,\ U = I / 4\pi\gamma R.$$

Рассмотрим поле точечного источника тока в присутствии вертикальной границы раздела сред с проводимостью γ_1 и γ_2 (рис. 29). Расстояние источника от границы до источника обозначим *d*. Границу атмосферы (γ=0) с земной поверхностью будем учитывать удвоением силы тока точечного источника. Решение задачи найдем методом зеркальных изображений. Влияние границы раздела будем учитывать введением фиктивного источника тока (M_2), с которого стекает ток $2I_2$, расположенного зеркально симметрично относительно реального источника (M_1).

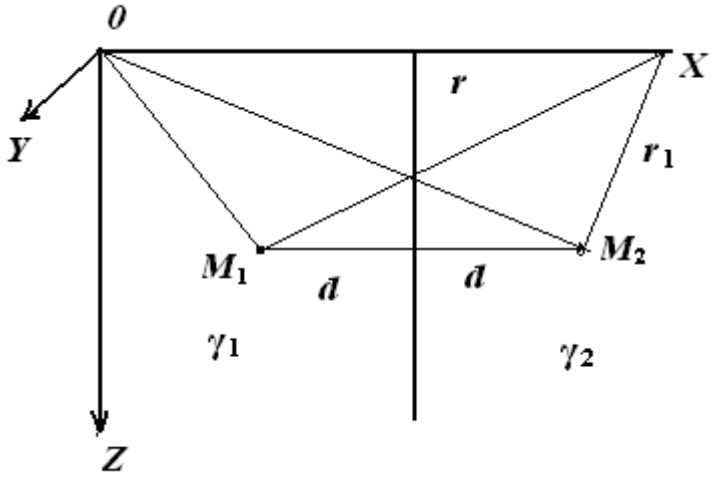


Рис. 29. Точечный источник в присутствии вертикальной границы двух сред

Потенциал точечного источника:

$$U = \frac{I}{2\pi\gamma_1 r}.$$

Потенциал электрического поля тока в первой среде:

$$U_1 = \frac{I}{2\pi\gamma_1 r} + \frac{I_1}{2\pi\gamma_1 r_1},$$

где $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, $r_1 = \sqrt{(2d - x)^2 + y^2 + z^2}$.

Потенциал во второй среде вычислим, поместив в точку с действительным зарядом фиктивный источник тока, с которого стекает ток I_2:

$$U_2 = \frac{I_2}{2\pi\gamma_2}\frac{1}{r}.$$

Исходя из граничных условий определим неизвестные I_1 и I_2:

$$U_1 = U_2,\ \gamma_1\frac{\partial U_1}{\partial x} = \gamma_2\frac{\partial U_2}{\partial x} \text{ при } x = d\ .$$

Обозначим $R = \sqrt{d^2 + y^2 + z^2}$. Тогда получим:

$$\frac{I}{2\pi\gamma_1 R} + \frac{I_1}{2\pi\gamma_{1R}} = \frac{I_2}{2\pi\gamma_2 R},\ \gamma_1\frac{I}{2\pi\gamma_1}\frac{d}{R^3} - \gamma_1\frac{I_1}{2\pi\gamma_1}\frac{d}{R^3} = \gamma_2\frac{I_2}{2\pi\gamma_2}\frac{d}{R^3},$$

$$I - I_1 = I_2,\ \frac{I + I_1}{\gamma_1} = \frac{I_2}{\gamma_2}.$$

Находим значения неизвестных и подставляем в выражения для потенциала:

$$U_1 = \frac{I}{2\pi\gamma_1}\left(\frac{1}{r} + \frac{k_{12}}{r_1}\right),\quad U_2 = \frac{I}{2\pi\gamma_2}\frac{1 + k_{12}}{r},$$

где $k_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2}$ называют коэффициентом отражения тока, $(1 - k_{12})$ – коэффициентом пропускания тока. Пример расчета потенциала, выполненного с помощью пакета Mathcad, приведен на рис. 30. Излом кривой в центральной части соответствует положению контакта.

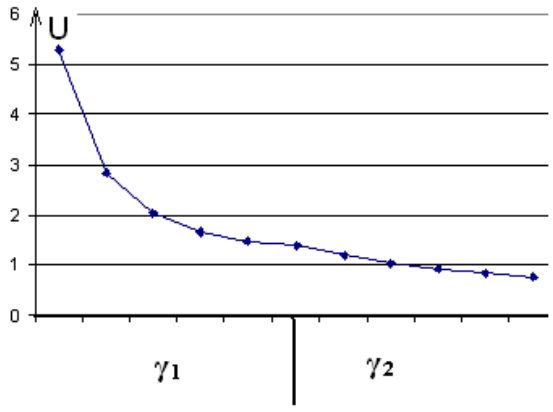


Рис. 30. График зависимости потенциала точечного источника тока в присутствии вертикального контакта

ПРОВОДЯЩИЙ ШАР В ПОЛЕ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ТОКА

Пусть в среде с проводимостью γ_1 находятся шар радиусом a с проводимостью γ_2 и точечный источник тока (заземление), с которого в

окружающую среду стекает ток I (рис. 31). Задачу будем решать в сферической системе координат, начало которой совместим с центром шара. Полярную ось направим от начала координат к точечному источнику, расположенному вне шара. В такой системе координат решение не будет зависеть от полярного угла φ. Потенциал поля точечного источника поля обозначим U_1, потенциал поля, вызванного наличием проводящего шара, обозначим U_2. Потенциал суммарного поля

$$U = U_2 + U_1.$$

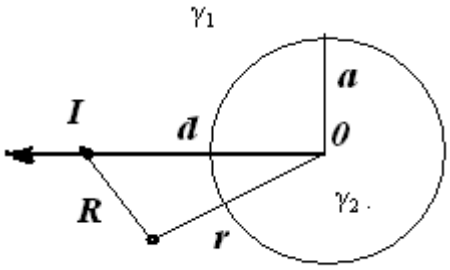


Рис. 30. Шар в поле точечного источника тока

Потенциалы U_1 и U_2 удовлетворяют уравнению Лапласа, а на границе шара выполняются условия непрерывности потенциала и разрыва нормальной составляющей напряженности поля:

$$U_1 = U_2,\ \gamma_1 \frac{\partial U_1}{\partial r} = \gamma_2 \frac{\partial U_2}{\partial r}.$$

Расстояние между источником тока и точкой расчета

$$R = \sqrt{r^2 + d^2 - 2rd\cos\theta}.$$

Вне шара потенциал примет вид:

$$U_1 = \frac{I}{4\pi^2 R\gamma} + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{B_n P_n(\cos\theta)}{r^{n+1}},\ a<R,$$

где $P_n(\cos\theta)$ – полиномы Лежандра. Полиномы Лежандра могут быть вычислены по рекуррентным соотношениям:

$$P_0(x) = 1,\ \ P_1(x) = x,\ \ (n+1)P_{n+1}(x) = (2n+1)xP_n(x) - nP_{n-1}(x).$$

Внутри шара потенциал

$$U_2 = \frac{I}{4\pi^2 R\gamma} + \sum_{n=0}^{\infty} A_n P_n(\cos\theta) r^n .$$

Разложим величину $1/R$ в ряд по полиномам Лежандра:

$$\text{при } r < d \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{d}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{r}{d}\right)^n P_n(\cos\theta),$$

$$\text{при } r<d \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{r}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{d}{r}\right)^n P_n(\cos\theta).$$

Это разложение иногда принимают за определение полиномов Лежандра.

Граничные условия примут вид ($r=a$):

$$\sum_{n=0}^{\infty}\frac{B_n P_n(\cos\theta)}{a^{n+1}} = \sum_{n=0}^{\infty} A_n P_n(\cos\theta) a^n ,$$

$$\gamma_1\sum_{m=0}^{\infty}\left(\frac{In}{4\pi\gamma_1 da}\left(\frac{a}{d}\right)^n - \frac{(n+1)B_n}{a^{n+2}}\right)P_n(\cos\theta) = \gamma_2\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{In}{4\pi da\gamma_2}\left(\frac{a}{d}\right)^n + nA_n a^{n-1}\right)P_n(\cos\theta).$$

Граничные условия справедливы для любого угла θ. Следовательно, коэффициенты при полиномах Лежандра с одинаковыми индексами должны быть равны. Отсюда:

$$\frac{B_n}{a^{n+1}} = A_n a^n ,$$

$$\gamma_1\left(\frac{In}{4\pi da\gamma_1}\left(\frac{a}{d}\right)^n - \frac{(n+1)B_n}{a^{n+2}}\right) = \gamma_2\left(\frac{In}{4\pi da\gamma_2}\left(\frac{a}{d}\right)^n + nAa^{n-1}\right).$$

Коэффициенты A_n и B_n рассчитываются следующим образом:

$$A_n = \frac{I}{4\pi d^{n+1}\gamma_1}\frac{(\gamma_1-\gamma_2)n}{n\gamma_2+(n+1)\gamma_1}, \quad B_n = \frac{I}{4\pi\gamma_1 d^{n+1}}\frac{(\gamma_1-\gamma_2)na^{2n+1}}{n\gamma_2+(n+1)\gamma_1}.$$

Потенциал электрического поля тока, стекающего с точечного источника вне шара равен

$$U_1 = \frac{I}{4\pi\gamma_1}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{d}\sum_{n+1}^{\infty}\frac{(\gamma_1-\gamma_2)n}{n\gamma_2+(n+1)\gamma_1}\left(\frac{a}{d}\right)^n\left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} P_n(\cos\theta)\right),$$

внутри шара он определяется выражением

$$U_2 = \frac{I}{4\pi\gamma_1}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{d}\sum_{n+1}^{\infty}\frac{(\gamma_1 - \gamma_2)n}{n\gamma_2 + (n+1)\gamma_1}\left(\frac{a}{d}\right)^n\left(\frac{r}{a}\right)^{n+1} P_n(\cos\theta)\right).$$

ЗАДАЧИ

1. Найдите потенциал бесконечного вертикально поляризованного цилиндра с радиусом *a* и электропроводностью γ_1, расположенного в однородной, изолированной, безграничной среде с электропроводностью γ_2.

Ответ: $U_1 = \frac{\gamma_2}{\gamma_1 + \gamma_2}\Delta U_0 \frac{a}{r}\cos\theta$, $U_2 = -\frac{\gamma_1}{\gamma_1 + \gamma_2}\Delta U_0 \frac{r}{a}\cos\theta$.

2. Вычислите коэффициенты отражения и пропускания для контакта сред с проводимостью 10^8 и 10^{12} $(\text{Ом}\cdot\text{см})^{-1}$.

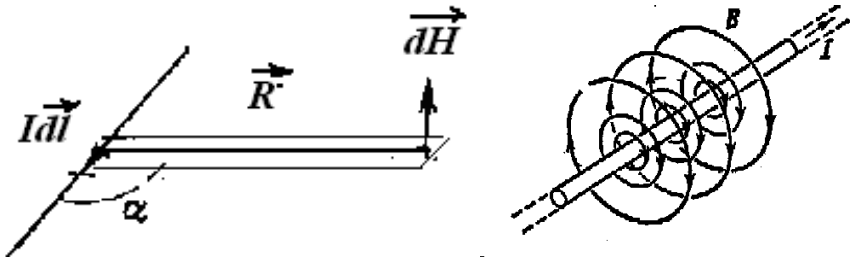
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Возьмем проводник с током. Выделим элемент тока. Закон Био – Савара определяет напряженность магнитного поля (рис. 32):

$$dH = \frac{Idl}{cR^2}\sin\alpha.$$

Это уравнение в векторной форме приобретает вид:

$$d\vec{H} = \frac{I[d\vec{l}\,\vec{R}]}{cR^3}.$$



а б

Рис. 32. К определению магнитного поля тока (а). Изолинии магнитной индукции линейного тока (б).

Отсюда магнитное поле линейного тока

$$\vec{H} = \int_l \frac{[d\vec{I}\vec{R}]}{cR^3}.$$

Аналогичные выражения получим для токов с плотностью $\vec{j}$, растекающихся по поверхности и в пространстве:

$$\vec{H} = \int_S \frac{[\vec{j}\vec{R}]}{cR^3},\ \vec{H} = \int_V \frac{[\vec{j}\vec{R}]}{cR^3}.$$

Напряженность поля в среде определится формулой:

$$\vec{H} = \int_l \frac{[d\vec{l}\vec{R}]}{cR^3} + \int_S \frac{[\vec{j}\vec{R}]}{cR^3} + \int_V \frac{[\vec{j}\vec{R}]}{cR^3},$$

где интегрирование проводится по всем проводникам с током. В матричной форме эти выражения приобретают вид:

$$[\vec{j}\vec{R}] = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ j_x & j_y & j_z \\ x-x_0 & y-y_0 & z-z_0 \end{vmatrix}.$$

Составляющие вектора поля принимают вид:

$$H_x = \int_V \frac{j_y(z-z_0) - j_z(y-y_0)}{cR^3} dV;\ H_y = \int_V \frac{j_x(z-z_0) - j_z(x-x_0)}{cR^3} dV;$$

$$H_z = \int_V \frac{j_x(y-y_0) - j_y(x-x_0)}{cR^3} dV.$$

Закон Био – Савара в дифференциальной форме устанавливает соотношение между физическими величинами в бесконечно малой области, теоретически – в точке – области с нулевым объемом. Закон имеет вид:

$$\mathrm{rot}\,\vec{H} = \frac{4\pi\vec{j}}{c}.$$

Закон констатирует, что магнитное поле создается токами. Магнитное поле является вихрями токов.

Это уравнение в проекциях на оси координат:

$$\mathrm{rot}_x\vec{H} = \frac{4\pi j_x}{c},\ \mathrm{rot}_y\vec{H} = \frac{4\pi j_y}{c},\ \mathrm{rot}_z\vec{H} = \frac{4\pi j_z}{c}.$$

Рассмотрим потоки векторов левой и правой части закона Био – Савара через поверхность *S*:

$$\int_s \mathrm{rot}_n \vec{H} dS = \int_s \frac{4\pi \vec{i}_n}{c} dS .$$

Применяя формулу Стокса

$$\int_S \mathrm{rot}\, \vec{A}_n dS = \oint_S A_l dl$$

получим закон Био – Савара в интегральной форме:

$$\oint H_l dl = \frac{4\pi I}{c} .$$

Закон в интегральной форме устанавливает соотношение между характеристиками поля и среды в макрообъеме. Величину $\oint H_l dl$ по аналогии с электродвижущей силой называют магнитодвижущей силой. Закон Био – Савара в интегральной форме позволяет находить ток через магнитное поле и наоборот.

Найдем поле тока, протекающего с постоянной плотностью i по трубе с внешним диаметром b и внутренним диаметром a. В силу цилиндрической симметрии силовые линии магнитного поля трубы имеют форму окружности. Совместим контур радиуса R с одной из силовых линий. Закон Био – Савара для этого контура после интегрирования примет вид:

$$2\pi RH = \frac{4\pi I}{c},\ H = \frac{2I}{cR},\ H = 2\pi j \frac{a^2 - b^2}{cr} .$$

Оценим возможную величину тока, протекающего во внешнем ядре, если бы им создавалось магнитное поле Земли. Напряженность поля на экваторе составляет приблизительно 0,5 Э, радиус Земли – приблизительно 640000000 см, скорость света $3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Отсюда величина тока

$$I = \frac{1}{3 \cdot 10^9} \times \frac{0.5 \cdot 3 \cdot 10^{10} \cdot 6.4 \cdot 10^8}{2} = 1.6 \cdot 10^9 \text{ А.}$$

Это очень большой ток, наличие которого должно вызывать выделение огромного количества тепла.

Экспериментально установлено, что на проводник длиной dl с током I, находящийся в магнитном поле B, действует сила $\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$. Произведение $Id\vec{l}$ называют элементом тока.

Био и Савар установили соотношение для элемента линейного тока:

$$d\vec{H} = \frac{Id\vec{l} \times R}{cR^3},$$

откуда

$$\vec{H} = \int_L \frac{Id\vec{l} \times R}{cR^3}.$$

Аналогично получим выражения для магнитного поля поверхностного тока с плотностью *j*, и объемного тока с плотностью *i*:

$$\vec{H} = \int_S \frac{\vec{j} \times \vec{R}}{cR^3} dS, \quad \vec{H} = \int_V \frac{\vec{i} \times \vec{R}}{cR^3} dV,$$

или

$$\vec{H} = \int \frac{\begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ i_x & i_y & i_z \\ x - x_0 & y - y_0 & z - z_0 \end{vmatrix}}{cR^3} dV,$$

или в проекциях

$$\vec{H}_x = \int_V \frac{(z - z_0)i_y - (y - y_0)i_z}{cR^3} dV,$$

$$\vec{H}_y = \int_V \frac{(x - x_0)i_z - (z - z_0)i_x}{cR^3} dV, \qquad \vec{H}_z = \int_V \frac{(y - y_0)i_x - (x - x_0)i_y}{cR^3} dV.$$

Векторный потенциал. Запишем векторы:

$$\vec{A} = \int_V \frac{\vec{i}\, dV}{cR}, \ \vec{A} = \int_S \frac{\vec{j} dl}{cR}, \ \ \vec{A} = \int_L \frac{Idl}{cR}.$$

Вычислим вихрь вектора $\vec{A}$ объемного тока:

$$\text{rot}\, \vec{A} = \int_V \frac{\vec{i}\, dV}{cR} = \int_V \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \dfrac{\partial}{\partial x} & \dfrac{\partial}{\partial y} & \dfrac{\partial}{\partial z} \\ \dfrac{i_x}{cR} & \dfrac{i_y}{cR} & \dfrac{i_z}{cr} \end{vmatrix} = \vec{i} \int_V \frac{\left(i_z(y - y_0) - i_y(z - z_0)\right)dV}{cR^3} +$$

$$+ \vec{j} \int_V \frac{\left(i_y(z - z_0) - i_z(y - y_0)\right)dV}{cR^3} + \vec{k} \int_V \frac{\left(i_y(x - x_0) - i_x(y - y_0)\right)dV}{cR^3}.$$

Аналогичные выражения получим для векторов $\vec{A}$ поверхностного и линейного токов. Вектор $\vec{A}$ называют **вектор-потенциалом** магнитного поля. Такое название вызвано сходством аналитического выражения содержащего c $\vec{A}$ с выражениями потенциала точечного, поверхностного и объемного источников электрического и гравитационного поля:

$$U = \int_V \frac{\rho dV}{R} \text{ и } \vec{A} = \int_V \frac{\vec{i}\, dV}{cR} \text{ и т. д.}$$

Однако вектор-потенциал не имеет ясного физического истолкования и используется как удобная вспомогательная величина. Это позволяет напряженность магнитного поля постоянного тока представить в следующем виде:

$$\vec{H} = \operatorname{rot} \vec{A},$$

$$H_x = \operatorname{rot}_x \vec{A},\ H_y = \operatorname{rot}_y \vec{A},\ H_z = \operatorname{rot}_z \vec{A}.$$

что вектор-потенциал является решением уравнения Пуассона-Лапласа:

$$\Delta\vec{A} = -\frac{4\pi\vec{i}}{c} \text{ в точках с токами,}$$

$$\Delta\vec{A} = 0 \qquad \text{в точках без токов.}$$

В проекциях на декартовы оси координат уравнение примет вид:

$$\Delta\vec{A}_x = -\frac{4\pi\vec{i}_x}{c}, \qquad \Delta\vec{A}_y = -\frac{4\pi\vec{i}_y}{c}, \qquad \Delta\vec{A}_z = -\frac{4\pi\vec{i}_z}{c},$$

$$\Delta\vec{A}_x = 0, \qquad \Delta\vec{A}_y = 0, \qquad \Delta\vec{A}_z = 0.$$

Так же, как и для потенциала, расходимость вектор-потенциала равна 0:

$$\operatorname{div} \vec{A} = 0.$$

Найдем вихрь вектора напряженности магнитного поля постоянного тока:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{A} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{A} - \Delta\vec{A} = \frac{4\pi\vec{i}}{c}$$

Формула $\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{4\pi\vec{i}}{c}$ связывает напряженность магнитного поля и плотность тока в точке и является записью закона Био – Савара в

дифференциальной форме. Источником магнитного поля является постоянный ток. Магнитное поле тока вихревое, следовательно – непотенциальное.

Закон Био – Савара в интегральной форме связывающий ток и напряженность магнитного поля, имеет вид:

$$\oint H_l dl = \frac{4\pi I}{c}.$$

Вычислим **магнитное поле кольцевого тока.** Для решения задачи выберем цилиндрическую систему координат, радиус кольца обозначим a. Векторный потенциал имеет только одну компоненту $A_\varphi(r,z)$:

$$A_\varphi = \frac{I}{c}\int\frac{dl}{R} = \frac{I}{c}\oint\frac{\cos\varphi dl}{R} = \frac{2I}{c}\int_0^\pi \frac{a\cos\varphi d\varphi}{(a^2+r^2+z^2-2ar\cos\varphi)^{1/2}}.$$

Решение может быть представлено в виде линейной комбинации эллиптических интегралов первого и второго рода E и K:

$$A_\varphi = \frac{4I}{ck}\sqrt{\frac{a}{L}}\left[\left(1+\frac{k^2}{2}\right)K - E\right],$$

где $k^2 = \frac{4ar}{L^2}$, $L = \sqrt{(a+r)^2+z^2}$, $K = \int_0^{\pi/2}\frac{d\theta}{\sqrt{1-k^2\sin^2\varphi}}$, $E = \int_0^{\pi/2}\sqrt{1-k^2\sin^2\varphi}d\theta$.

Магнитная индукция определится следующим образом:

$$B_\varphi = 0,\ B_r = -\frac{\partial A_\varphi}{\partial z} = \frac{2zI}{crL}\left[-K + \frac{a^2+r^2+z^2}{(a-r)^2+z^2}E\right],$$

$$B_z = \frac{1}{r}\frac{\partial(rA_\varphi)}{\partial z} = \frac{2I}{cL^2}\left[K + \frac{a^2-r^2-z^2}{(a-r)^2+z^2}\right].$$

На оси кольца (r=0), $B_z = \frac{2\pi a^2 I}{c(a^2+z^2)^{3/2}}$. По результатам измерений известно магнитное поле на полюсах. Последнее соотношение позволяет оценить силу кольцевого тока радиусом 1000 км, протекающего в экваториальной плоскости, который мог бы возбуждать геомагнитное поле. Величина тока оценивается в 10^{10} А. Это слишком большая величина. В качестве источника геомагнитного поля необходимо искать другое явление.

Прецессия протона в геомагнитном поле. Протон обладает моментом количества движения *P* и магнитным моментом *M* (рис. 33, а). Эти векторные величины связаны зависимостью:

$$\vec{M} = \gamma \vec{P},$$

где γ – гиромагнитное отношение протона. На протон в магнитном поле с индукцией *T* действует момент силы:

$$\vec{N} = \vec{M} \times \vec{T}.$$

Скорость изменения момента количества движения протона:

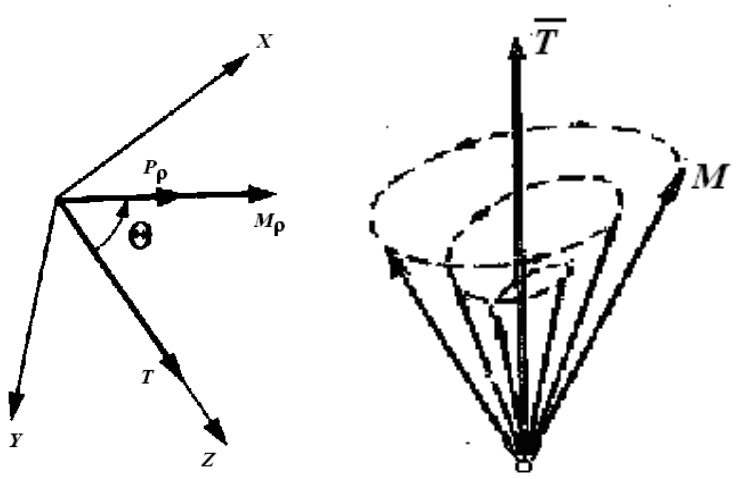
$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{N} = \vec{M} \times \vec{T}.$$

Исключим величину *P* из последнего уравнения, получим:

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \gamma \vec{M} \times \vec{T}.$$

Поскольку земное магнитное поле можно считать во время измерений постоянным, то после дифференцирования по времени получим дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{d^2\vec{M}}{dt^2} = \gamma \frac{d\vec{M}}{dt} \times \vec{T} = \gamma^2 \left(\vec{M} \times \vec{T}\right) \times \vec{T}.$$



а б

Рис. 33. К выводу уравнения прецессии протона в магнитном поле

Используем тождество [*A*[*BC*]]=*B*(*AC*)-*C*(*AB*), получим

$$\frac{d^2\vec{M}}{dt^2} = \gamma^2\{(\vec{M}\vec{T})\vec{T} - T^2\vec{M}\}.$$

Направим ось z по направлению T, тогда $T=T_z$. $T_x=T_y=0$. Проекции векторного уравнения на оси координат:

$$\frac{d^2M_z}{dt^2} = 0, \quad \frac{d^2M_x}{dt^2} = -\gamma^2T^2M_x.$$

Решение первого уравнения $M = M\cos\Theta$ приводит к выводу о неизменности угла между M и T. Решение второго уравнения позволяет получить частоту свободной ядерной прецессии – частоту вращения магнитного момента протона вокруг вектора магнитной индукции (рис. 33, б):

$$\omega = \gamma T.$$

ЗАДАЧИ

1. На противоположных полюсах сплошного шара с электропроводностью γ находятся точечные заземления. По одному из них подводится ток I, а по другому – отводится. Определить плотность тока и потенциал внутри шара.

2. Вычислите частоту прецессии протона в магнитном поле в нашем городе, если T=55000 нТл.

3. Вычислите напряженность магнитного поля над бесконечной плоскостью, по которой протекает ток с постоянной плотностью i. (Используйте формулу вычисления телесного угла.)

4. Определите магнитное поле кольцевого тока в центре кольца радиусом a=10 см и током I=0,5 А.

ПЕРЕМЕННОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Теорию электромагнитного поля создал выдающийся шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл. Он теоретически доказал, что всякое изменение со временем магнитного поля приводит к возникновению переменного электрического поля, а всякое изменение со временем электрического поля порождает переменное магнитное поле. Эти порождающие друг друга переменные электрические и магнитные поля образуют единое электромагнитное поле. Источником электромагнитного поля служат ускоренно движущиеся электрические заряды. Вокруг зарядов, движущихся с постоянной скоростью (например, вокруг проводника с протекающим по нему электрическим током), создается постоянное магнитное поле. Некоторые графические схемы образования и распространения электромагнитного поля приведены на рис. 34.

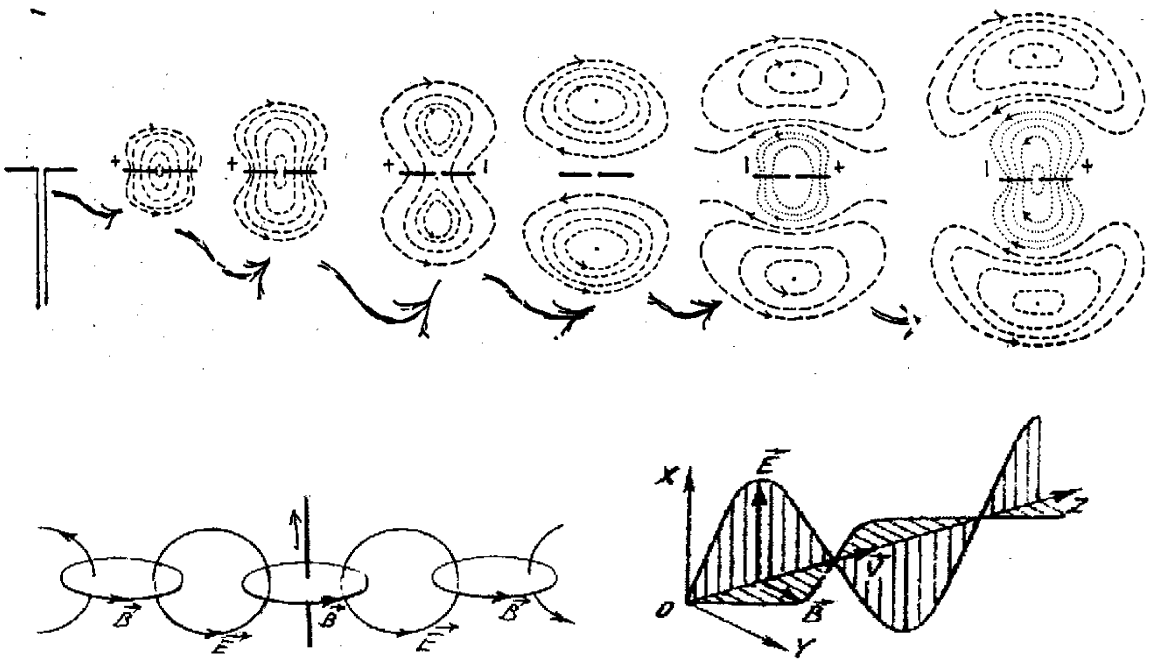


Рис. 34. Схемы образования и распространения электромагнитной волны

Под электромагнитным полем понимают вид материи, характеризующийся совокупностью взаимно связанных и взаимно обусловливающих друг друга электрического и магнитного полей. Электромагнитное поле обладает

характерными для него электрическими и магнитными свойствами, доступными наблюдению.

Электромагнитная волна – распространяющееся в пространстве электромагнитное поле (ЭМП). Впервые электромагнитные волны были получены Г. Герцем в его опытах, выполненных в 1888 – 1889 гг. (рис. 34). Сначала Герц был противником теории Максвелла. Целью опытов было опровержение гипотезы Максвелла, а результат опытов оказался блестящим подтверждением этой теории.

Двести лет назад источником электрического поля считались электрические заряды, а источником магнитного поля – магнитные заряды. Сейчас установлено, что изолированных магнитных полюсов нет, и источником магнитного поля считают молекулярные токи. Но по сложившейся традиции среднюю интенсивность магнитного поля в намагниченном веществе называют магнитной индукцией, а среднюю интенсивность электрического поля в диэлектрике – напряженностью электрического поля.

Уравнения Максвелла отражают экспериментально установленные фундаментальные соотношения между характеристиками электрического и магнитного полей. **Закон сохранения заряда** – один из фундаментальных законов природы – выполняется абсолютно точно. Полный заряд любой системы остается неизменным, если в нее не добавляются посторонние заряды извне:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{i} = 0,$$

где ρ – плотность электрических зарядов.

Максвелл предложил рассматривать плотность тока как сумму плотности тока проводимости $\vec{i}$ и плотности тока смещения $\frac{\partial}{\partial t}\frac{\vec{D}}{4\pi}$, который не связан с переносом заряда. Плотность тока смещения можно представлять как изменение во времени электрического поля между обкладками конденсатора (часто для краткости слово «плотность» опускают и говорят о токе). Первое уравнение Максвелла представляет собой закон Био – Савара для переменного тока в

дифференциальной форме. Оно отличается от закона Био – Савара для постоянного тока учетом тока смещения:

$$\text{rot}\,\vec{H} = \frac{4\pi}{c}\left(\vec{i} + \frac{\partial}{\partial t}\frac{\vec{D}}{4\pi}\right).$$

Магнитное поле создается движущимися электрическими зарядами и меняющимся во времени электрическим полем. Магнитные эффекты тока смещения и тока проводимости одинаковы. Поле полного тока является соленоидальным:

$$\text{div}\left(\vec{i} + \frac{\partial}{\partial t}\frac{\vec{D}}{4\pi}\right) = 0.$$

Данное уравнение является первым законом Кирхгофа. Вихрями магнитного поля являются токи проводимости и токи смещения. Линии полного тока нигде не начинаются и не кончаются, они замкнутые. В стационарном поле ток смещения отсутствует (равен 0).

Токи проводимости и смещения одинаковым образом возбуждают магнитное поле. Но ток проводимости – это смещение зарядов, а ток смещения не сопровождается движением частиц, ему отвечает изменение электрического поля. Ток смещения сопровождается выделением джоулева тепла, а ток смещения выделением джоулева тепла не сопровождается. В диэлектриках с поляризованными молекулами токи смещения вызывают выделение тепла, связанное с изменением поляризации. Выделение такого тепла описывается законами, отличающимися от законов Джоуля – Ленца.

Второе уравнение Максвелла представляет собой закон электромагнитной индукции Фарадея в дифференциальной форме:

$$\text{rot}\,\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

Вихрями электрического поля являются изменения во времени магнитного поля. После некоторых преобразований из него получим:

$$\text{ЭДС} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}, \left(\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}\right),$$

где Φ – магнитный поток ($\Phi = \int \vec{B} d\vec{s}$). ЭДС, возникающая в проводнике, пропорциональна скорости изменения магнитного потока через контур этого проводника. Знак минус означает, что направление ЭДС и направление магнитного потока при его увеличении образуют левовинтовую систему. При всяком изменении потока магнитной индукции через проводящий замкнутый контур в нем возникают токи в таком направлении, что магнитное поле этих токов стремится компенсировать изменение магнитного потока. ЭДС в контуре равна работе, совершаемой электрическим полем по перемещению единичного заряда по заданному замкнутому контуру ($\text{ЭДС} = \int \vec{E} d\vec{l}$).

Электрическое поле создается не только зарядами, но и меняющимся во времени магнитным полем. Векторы электрического и магнитного поля взаимно перпендикулярны. Закон индукции Фарадея – Максвелла показывает, что силовой величиной, наряду с напряженностью электрического поля, является магнитная индукция; именно индукция заслуживает название «напряженность» магнитного поля.

Третье и четвертое уранения Максвелла представляют собой запись теоремы Гаусса для электрического и магнитного полей:

$$\operatorname{div} \vec{D} = 4\pi\rho .$$

Плотность источников электрического поля равна произведению плотности зарядов на 4π. Линии электрической индукции начинаются и заканчиваются на свободных зарядах.

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0 .$$

Линии вектора магнитной индукции замкнуты, т.е. магнитное поле соленоидальное. В природе не существует магнитных зарядов. Магнитное поле чисто вихревое, оно возбуждается электрическими токами.

Для векторов электрической поляризации P и намагниченности J не существует общих и всегда справедливых законов их поведения, подобных уравнениям Максвелла.

Законы Максвелла записывают также в интегральной форме. После интегрирования уравнений Максвелла по некоторому объему *V*, ограниченному замкнутой поверхностью *S*, применим формулу Гаусса – Остроградского. Вычислим потоки и заменим их по формуле Стокса. После вынесения производных по времени за знак интеграла получим уравнения Максвелла в интегральной форме. Первое уравнение Максвелла в интегральной форме:

$$\oint_S D_n dS = \int_V q dV ,$$

поток вектора электрической индукции через любую замкнутую поверхность равен сумме свободных зарядов, находящихся внутри этой поверхности. Данное уравнение является обобщением закона Кулона на объемно распределенные заряды и произвольное электрическое поле.

Аналогично получим второе уравнение Максвелла:

$$\text{rot}\,\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$

составим потоки от обеих частей через некоторую поверхность

$$\int_S \text{rot}_n \vec{E} dS = -\frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}\int_S B_n dS .$$

Применим к левой части уравнения формулу Стокса, получим:

$$\oint_l E_l dl = -\frac{\partial}{\partial t}\int_S B_n dS .$$

В правой части стоит скорость изменения магнитного потока через поверхность, опирающуюся на контур. Это выражение обобщение закона Фарадея на любую часть пространства;

$$\oint_S B_n dS = 0,$$

число силовых линий, входящих в некоторый объем, равно числу выходящих линий.

Для четвертого уравнения интегральная форма имеет вид:

$$\oint_l H_l dl = \int_S j_n dS + \frac{\partial}{\partial t}\int_S D_n dS .$$

В правой части стоит сумма токов проводимости и смещения через поверхность *S*, слева – циркуляция магнитного поля. Циркуляция магнитного поля по любому замкнутому контуру равна полному току, протекающему через этот контур.

С помощью уравнений Максвелла можно найти напряженность электрического поля E и напряженность магнитного поля H, если известны плотность зарядов ρ и плотность тока i. Количество неизвестных, которые необходимо определить, шесть (по 3 компоненты для каждого вектора E и H).

Найдем отношение токов проводимости и смещения. Пусть задано гармоническое поле $E = E_0 \sin \omega t$. Ток проводимости равен $i = \gamma E = \gamma E_0 \sin \omega t$. Ток смещения равен $\frac{\partial}{\partial t}\frac{D}{4\pi} = \frac{\varepsilon}{4\pi}\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\varepsilon\omega}{4\pi}E_0 \cos \omega t$. Отношение амплитуд токов, с учетом того, что синус и косинус меньше единицы: $\frac{i_{ПР}}{i_{СМ}} = \frac{2\gamma}{\varepsilon\omega}$.

Система уравнений Максвелла является полной, из нее можно определить все свойства поля. Она играет роль основополагающих аксиом для построения всей теории макроскопического переменного электромагнитного поля. Если материальные тела, находящиеся в поле, неподвижны, то в каждой точке μ, γ, ε остаются постоянными, в поле нет постоянных магнитов и ферромагнетиков, полная система дифференциальных уравнений классической электродинамики имеет вид:

Полная система уравнений Максвелла

$$\mathrm{rot}\vec{H} = \frac{1}{c}\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + 4\pi\frac{\vec{i}}{c},$$

$$\mathrm{rot}\,\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$

$$\mathrm{div}\,\vec{B} = 0,$$

$$\mathrm{div}\,\vec{D} = 4\pi\rho,$$

$$\vec{D} = \varepsilon\vec{E} = \vec{E} + 4\pi\vec{P},$$

Граничные условия

$$E_{t1} - E_{t2} = -\frac{\partial \mathrm{E}_{21}}{\partial t},$$

$$D_{n1} - D_{n2} = 4\pi\sigma,$$

$$B_{n1} = B_{n2},$$

$$H_{t1} - H_{t2} = \frac{4\pi i_n}{c},$$

$H_{t1} - H_{t2} = 0$, если

$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu} = \vec{B} - 4\pi\vec{J}$, поверхностные токи

$,\vec{i} = \gamma(\vec{E} + \vec{E}_c)$ отсутствуют

Эту систему дополняют уравнением зависимости энергии поля от напряженности поля, которое позволяет проверить предшествующие уравнения экспериментально:

$$W = \frac{1}{8\pi}\int \vec{D}\vec{E}dV + \frac{1}{8\pi}\int \vec{B}\vec{H}dV\,.$$

Последнее уравнение характеризует преобразование энергии в процессах, которые описываются четырьмя уравнениями Максвелла. Величину $\vec{S} = \frac{c}{4\pi}\left[\vec{E}\vec{H}\right]$ называют вектором Умова – Пойнтинга, его истолковывают как поток электромагнитной энергии – количество энергии, протекающей в единицу времени через перпендикулярную направлению потока поверхность единичной площади. Направление вектора Умова – Пойнтинга, а следовательно, и направление потока энергии в волне, совпадает с направлением распространения волны. Скорость передачи энергии в изотропной среде совпадает со скоростью распространения волны. Справедлива интегральная теорема Пойнтинга: электромагнитная энергия вытекает через поверхность S из рассматриваемого объема V в количестве $\oint_S S_n dS$ единиц энергии в секунду. Объемная плотность энергии электромагнитного поля может быть оценена по формуле (СГС):

$$S = c\,(E^2+B^2)/8\pi.$$

Плотность магнитной энергии в ЭМП равна плотности электрической энергии.

Ослабление энергии электрического поля E_0 в веществе описывается формулой

$$E=E_0 e^{-kx},\ k \cong 2\pi\nu\beta\mu^{1/2}/\varepsilon,$$

где β – коэффициент потерь среды, μ – магнитная проницаемость, ν – частота ЭМП. Для воды при температуре 25 ^{0}С на частоте 3 МГц глубина проникновения

1.4 см, для льда – 1.2 м. Неметаллические материалы полупрозрачны для СВЧ ЭМП, которые проникают в них на значительную глубину.

В приведенных выше уравнениях не учитывается способ возбуждения поля. Токи и заряды могут создаваться химическими и механическими процессами, а не только электромагнитными силами. Силы неэлектромагнитного происхождения называют сторонними силами. С учетом сторонних сил уравнения Максвелла записывают:

$$\text{rot}\,\vec{H}=\frac{1}{c}\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}+4\pi(\vec{i}+\vec{i}_{cm}),\ \text{rot}\,\vec{E}=-\frac{1}{c}\frac{\partial\vec{B}}{\partial t},\ \text{div}\,\vec{B}=0,\ \ \text{div}\,\vec{D}=4\pi(\rho+\rho_{cm}).$$

Полноту системы уравнений Максвелла характеризует теорема: электромагнитное поле $\vec{E}(x,y,z,0)$, $\vec{H}(x,y,z,0)$ в любой момент времени $t>0$ в любой точке объема V, ограниченного замкнутой поверхностью S, однозначно определяется уравнениями Максвелла, если известны начальные значения $\vec{E}(x,y,z,0)$, $\vec{H}(x,y,z,0)$ во всем объеме V и либо для $\vec{E}(x,y,z0)$, либо для $\vec{H}(x,y,z,0)$ известны граничные значения его тангенциальных составляющих на поверхности S в течение всего изучаемого промежутка времени $(0,t)$.

ВОЛНОВЫЕ УРАВНЕНИЯ

Применим операцию вихря к первому и второму уравнению Максвелла для однородной изотропной среды:

$$\text{rot rot}\,\vec{E}=-\frac{1}{c}\frac{\partial}{\partial t}\text{rot}\,\vec{B},\ \text{grad}(\text{div}\vec{E})-\Delta\vec{E}=-\frac{\mu}{c}\frac{\partial}{\partial t}\text{rot}\vec{H},\ \Delta\vec{E}=\frac{\mu}{c}\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{1}{c}\frac{\partial\varepsilon\vec{E}}{\partial t}+4\pi\frac{\vec{i}}{c}\right)$$

$$\text{rot rot}\,\vec{H}=\frac{1}{c}\text{rot}\left(\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}\right)+\frac{4\pi}{c}\text{rot}\,\vec{i},\ -\Delta\vec{H}=\frac{\varepsilon}{c}\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{-1}{c}\mu\right)+\frac{4\pi\gamma}{c}\text{rot}\,\vec{E}.$$

$$\Delta\vec{H}-\frac{4\pi\mu\gamma}{c^2}\frac{\partial\vec{H}}{\partial t}-\frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2}=0$$

$$\Delta\vec{E}-\frac{\mu\varepsilon}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}-\frac{4\pi\gamma\mu}{c^2}\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}=0$$

Полученные уравнения называют телеграфными. В теории рассматривают частные случаи телеграфных уравнений:

1. Волновая модель поля рассматривается при распространении электромагнитных волн (ЭМВ) в изоляторе (γ=0):

$$\Delta\vec{H} - \frac{\varepsilon\mu}{c^2}\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2} = 0,\ \Delta\vec{E} - \frac{\mu\varepsilon}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2} = 0.$$

2. Квазистационарная модель рассматривается для относительно мед-ленно меняющихся во времени полей (можно пренебречь второй производ-ной по времени по сравнению с первой):

$$\Delta\vec{H} - \frac{4\pi\mu\gamma}{c^2}\frac{\partial\vec{H}}{\partial t} = 0,\ \Delta\vec{E} - \frac{4\pi\gamma\mu}{c^2}\frac{\partial\vec{E}}{\partial t} = 0.$$

3. Стационарная модель – поле, не зависящее от времени. Электрическое и магнитное поля удовлетворяют уравнению Лапласа:

$$\Delta\vec{H} = 0,\ \Delta\vec{E} = 0.$$

В приложениях чаще всего рассматривают гармонические поля, т.е. такие зависимость от времени которых описывается:

$$\vec{E}(x,y,z,t) = \vec{E}(x,y,z)e^{-i\omega t},$$

$$\vec{H}(x,y,z,t) = \vec{H}(x,y,z)e^{-i\omega t}.$$

Для сокращения записи обозначим $\vec{E}(x,y,z) = \vec{E}$. Телеграфные уравнения для гармонического поля приобретают вид:

$$\Delta\vec{E}e^{-i\omega t} - \frac{\mu\varepsilon\omega^2}{c^2}\vec{E}e^{-i\omega t} + \frac{4\pi\mu\gamma\omega}{c^2}\vec{E}e^{-i\omega t} = 0,\ \Delta\vec{E} - \frac{\mu\varepsilon\omega^2}{c^2}\vec{E} + \frac{4\pi\mu\gamma\omega}{c^2}\vec{E} = 0$$

После аналогичных преобразований для $\vec{H} = \vec{H}(x,y,z)$ получим уравнения Гельмгольца:

$$\Delta\vec{E} + k^2\vec{E} = 0,$$

$$\Delta\vec{H} + k^2\vec{H} = 0,$$

где $k = \frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon\mu + \frac{2\mu\gamma}{\nu}i} = \frac{\omega}{c}(n + i\beta)$ – комплексное волновое число среды – число волн, укладывающихся в отрезок 2π сантиметров. Решения уравнений Гельмгольца:

$$\vec{E} = \vec{E}_1e^{-ikz} + \vec{E}_2e^{ikz},\ \ \vec{H} = \vec{H}_1e^{-ikz} + \vec{H}_2e^{ikz}.$$

При γ=0 в идеальном диэлектрике β=0, волновое число становится вещественным. Если значение γ очень велико, поле будут определять токи проводимости. Если электропроводность мала или очень велика частота ω, то поле будет обусловлено токами смещения.

Величины, из которых складывается волновое число, называют:

коэффициентом преломления – $n = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{\varepsilon\mu}{2}\right)^2 + \left(\frac{\mu\gamma}{\nu}\right)^2} + \frac{\varepsilon\mu}{2}}$,

коэффициент поглощения – $\beta = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{\varepsilon\mu}{2}\right)^2 + \left(\frac{\mu\gamma}{\nu}\right)^2} - \frac{\varepsilon\mu}{2}}$.

Рассмотрим, как меняется с глубиной переменное поле в горизонтальной пластине толщиной *h*, ток в которой направлен по оси *0x*. Ось *0z* направим вниз (рис. 35). Считаем горизонтальные размеры пластины бесконечными, следовательно, *E* и *H* зависят только от координаты *z*. Получим волновые уравнения в виде:

$$\frac{\partial^2 E(z)}{\partial z^2} + k^2 E(z) = 0,\ \frac{\partial^2 H(z)}{\partial z^2} + k^2 H(z) = 0.$$

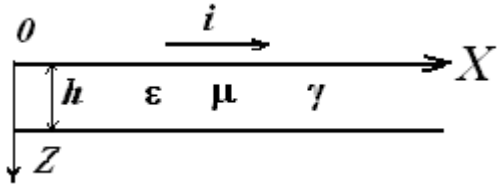


Рис. 35. Горизонтальная пластина

Решение этих уравнений может быть представлено в виде:

$$E(z) = A_1 e^{ikz} + B_1 e^{-ikz},\quad H(z) = A_2 e^{ikz} + B_2 e^{-ikz},$$

что можно проверить прямой подстановкой. Коэффициенты A_1, A_2, B_1, B_2 найдем с помощью граничных условий $E(0) = E(h)$, $H(0) = -H(h)$.

$$A_1 + B_1 = A_1 e^{ikh} + B_1 e^{-ikh},\quad A_2 + B_2 = -A_2 e^{ikh} + B_2 e^{-ikh}.$$

Исключим лишние константы из решения:

$$E = A_1\left(e^{-i(\omega t - kz)} + e^{-i(\omega t - k(h-z))}\right),\ H = A_2\left(e^{-i(\omega t - kz)} + e^{-i(\omega t - k(h-z))}\right).$$

Второе уравнение Максвелла $\text{rot}\,\vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ в условиях задачи примет вид:

$$\frac{\partial E}{\partial z} = -\frac{\mu}{c}\frac{\partial H}{t},$$

что позволяет исключить из решения еще одну константу

$$A_2 = \frac{ck}{\omega\mu}A_1 = \frac{n+i\beta}{\mu}A_1 = A_1\frac{\sqrt{n^2+\beta^2}}{\mu}e^{i\varphi}, \text{ где } \varphi = \text{arctg}\frac{\beta}{n}.$$

В итоге после оставления вещественной части решения получим для пластины:

$$E(z,t) = A_1\left[e^{\frac{-\omega}{c}\beta z}\cos\omega(t-\frac{n}{c}z) + e^{-\frac{\omega}{c}\beta(h-z)}\cos(t-\frac{n}{c}(h-z))\right],$$

$$H(z,t) = A_1\frac{\sqrt{n^2+\beta^2}}{\mu}\left[e^{\frac{-\omega}{c}\beta z}\cos\omega(\omega t-\omega\frac{n}{c}z-\varphi) - e^{-\frac{\omega}{c}\beta(h-z)}\cos(\omega t-\omega\frac{n}{c}(h-z)-\varphi)\right].$$

Если рассматривать проводящее полупространство, то решение для него будет ($h\to\infty$):

$$E(z,t) = A_1 e^{-\frac{\omega}{c}\beta z}\cos(\omega t-\omega\frac{n}{c}z),$$

$$H(z,t) = A_1\frac{\sqrt{n^2+\beta^2}}{\mu}e^{-\frac{\omega}{c}\beta z}\cos(\omega t-\omega\frac{n}{c}z-\varphi).$$

Полученный результат приводит к выводу, что амплитуды электрического и магнитного полей убывают с глубиной по экспоненциальному закону. На глубине $z = \frac{c}{\omega\beta}$ они убывают в e раз. Эта глубина называется **глубиной проникновения поля, или скин-слоем**. Процессы, происходящие в микроволновой печи и при использовании сотовой связи, описываются уравнениями Максвелла. Схожий процесс происходит при разогревании продуктов в микроволновой печи.

Электромагнитным волнам присущи свойства:

- отражение, преломление, поглощение при падении на границу раздела сред (рис. 36);

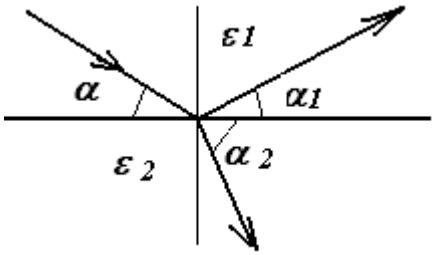


Рис. 36. Схема отражения и преломления плоской волны

- скорость распространения ЭМВ в однородной среде с диэлектрической проницаемостью ε и магнитной проницаемостью μ определяется по формуле $v = c/\sqrt{\varepsilon\mu}$ (закон Максвелла);

- интерференция, дифракция – огибание препятствий, дисперсия – зависимость параметров среды от частоты ЭМВ;

- ЭМВ – поперечные волны, колебания *E* и *B* происходят в плоскости перпендикулярной направлению скорости волны *v*, векторы *E* и *B* с направлением распространения волны образуют правовинтовую систему;

- ЭМВ переносят энергию, массу, но электрический заряд волной не переносится.

Для излучения интенсивных ЭМВ необходима достаточно высокая частота электрических колебаний и незамкнутая электрическая цепь, интенсивность электромагнитных волн, пропорциональная ускорению движущихся электрических зарядов или четвертой степени частоты колебаний ν^4.

Электромагнитные волны характеризуют длиной волны (λ) и частотой (ν), которые связаны между собой соотношением:

$$\lambda = cT = c/\nu,$$

где *T* – период колебаний.

Плоской волной называют волну, амплитуда которой зависит только от времени и одной из пространственных координат, направление которой совпадает с направлением распространения волны. У плоской волны в любой момент времени во всех точках любой плоскости, перпендикулярной

направлению распространения волны, векторы E и H имеют одинаковые значения.

Если на пути распространения плоских ЭМВ находится граница сред с разными свойствами, появляются отраженная и преломленная волны. Коэффициент отражения при падении плоской волны из вакуума на проводник

$$r = \frac{\left(\mu - \sqrt{\frac{\gamma\mu}{\nu}}\right)^2 + \frac{\gamma\mu}{\nu}}{\left(\mu + \sqrt{\frac{\gamma\mu}{\nu}}\right)^2 + \frac{\gamma\mu}{\nu}}.$$

При ν = 250 ГГц для меди коэффициент отражения равен 98.5 %. Это позволяет применять металлические поверхности в качестве экранов.

Для плоских волн, когда электромагнитное поле зависит только от одной координаты, уравнения поля:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - c\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = 0,\ \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} - c\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial z^2 = 0}.$$

Решение этих уравнений:

$$E = E_1\left(t - \frac{z}{c}\right) + E_2\left(t + \frac{z}{c}\right),\ H = H_1\left(t - \frac{z}{c}\right) + H_2\left(t + \frac{z}{c}\right).$$

Если в момент времени t_0 поле E_1 принимает некоторое значение, то через время t на удалении ct оно примет то же значение. Решения E_1 и H_1 представляет собой плоскую волну, распространяющуюся со скоростью c в положительном направлении оси $0z$. Решения E_2 и H_2 представляет собой плоскую волну, распространяющуюся со скоростью c в противоположном направлении оси $0z$. Отношение амплитуд E и H от времени не зависит, т.е. векторы изменяются синхронно.

ЗАДАЧИ

1. Докажите, что функция $\frac{\exp i(\varpi t - kR)}{R}$ является решением волнового уравнения.

2. Вычислите коэффициент отражения от скалы при нормальном падении волны, если характеристики пород, слагающих скалу, $\varepsilon = 5$, $\mu = 1$, частота поля $\nu = 10^9$ Гц, $\gamma = 2 \cdot 10^6$ ед. СГСЭ.

3. Найдите составляющие магнитного поля плоской волны, если электрическое поле определено выражением

$$E = E\left(t - \frac{y\cos\beta + z\cos\gamma}{v}\right)$$

и направлено по оси *0*x. Воспользуйтесь вторым уравнением Максвелла).

4. Вычислите волновое число среды с $\varepsilon = \mu = 1$, $\gamma = 2 \cdot 10^5$ ед. СГСЭ при частоте поля 10^5 Гц.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Размеры и форма тел при приложении внешних сил могут изменяться. Свойство сопротивляемости изменению формы и размеров тел и возврата к прежнему состоянию после прекращения воздействия внешних сил называют упругостью. Если после снятия нагрузки происходит полное восстановление формы и размеров тела, то его называют идеально упругим. Деформация такого тела не зависит от времени действия нагрузки и предшествующего состояния. У идеально упругих тел деформация происходит без трения, ее величина очень мала, а затраченная энергия полностью переходит в накопленную в теле упругую энергию.

Горные породы верхней части земной коры при действии кратковременной нагрузки ведут себя как хрупкие и упругие тела. Об их высокой упругости свидетельствует способность горных пород передавать сейсмические волны. О хрупкости горных пород свидетельствуют повсеместно встречающиеся разломы разного порядка. Горные породы при приложении небольшой нагрузки можно считать идеально упругими. Их деформация полностью обратима, ее величина пропорциональна приложенной нагрузке. После снятия нагрузки деформация исчезает.

Результат механического воздействия на среду принято характеризовать смещением, напряжением и деформацией. При действии механических напряжений происходит смещение частиц среды. Смещение частицы можно характеризовать вектором $U(u_0, v_0, w_0)$. Если можно подобрать скалярную функцию такую что:

$$U = \operatorname{grad}\varphi = \vec{i}\,\frac{\partial\varphi}{\partial x} + \vec{j}\,\frac{\partial\varphi}{\partial y} + \vec{k}\,\frac{\partial\varphi}{\partial z},$$

то скалярную функцию называем потенциалом φ.

Выделим в среде площадку, ориентировку которой определим вектором n, перпендикулярным к среде. Действие силы dF, направленной соосно с нормалью к площадке, на площадку dS характеризуют вектором напряжения: $\vec{p}_n = \frac{d\vec{F}}{dS}$.

Ориентировка напряжения может отличаться от n, поэтому индекс указывает на ориентировку относительно площадки (рис. 37, а). Для трех взаимно перпендикулярных площадок для той же силы dF получим:

$$\vec{p}_x = \frac{d\vec{F}}{dS_{zy}},\ \vec{p}_y = \frac{d\vec{F}}{dS_{xz}},\ \vec{p}_z = \frac{d\vec{F}}{dS_{xy}}.$$

Эти векторы полностью характеризуют напряжение в рассматриваемой точке. Поскольку каждый их трех векторов имеет три компоненты, тензор напряжений запишем:

$$p = \begin{vmatrix} p_{xx} & p_{xy} & p_{xz} \\ p_{yx} & p_{yy} & p_{yz} \\ p_{zx} & p_{zy} & p_{zz} \end{vmatrix},$$

где первый индекс указывает на нормаль к площадке, а второй – на компоненту напряжения. Например, p_{xy} – компонента напряжения по оси x на площадке с нормалью по оси y. Величины p_{xx}, p_{yy}, p_{zz} называют нормальными напряжениями, p_{xy}, p_{xz}, p_{yx}, p_{yz}, p_{zx}, p_{zy} называют касательными напряжениями (тангенциальными). В любой точке деформируемой среды можно указать три взаимно перпендикулярных направления, таких, касательные напряжения к которым отсутствуют (равны 0). Эти направления называют главными направлениями, а напряжения – главными напряжениями. Если выбрать направления осей координат совпадающие с главными направлениями, тензор напряжений принимает вид:

$$p = \begin{vmatrix} p_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & p_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & p_{zz} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} p_1 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 \\ 0 & 0 & p_3 \end{vmatrix}.$$

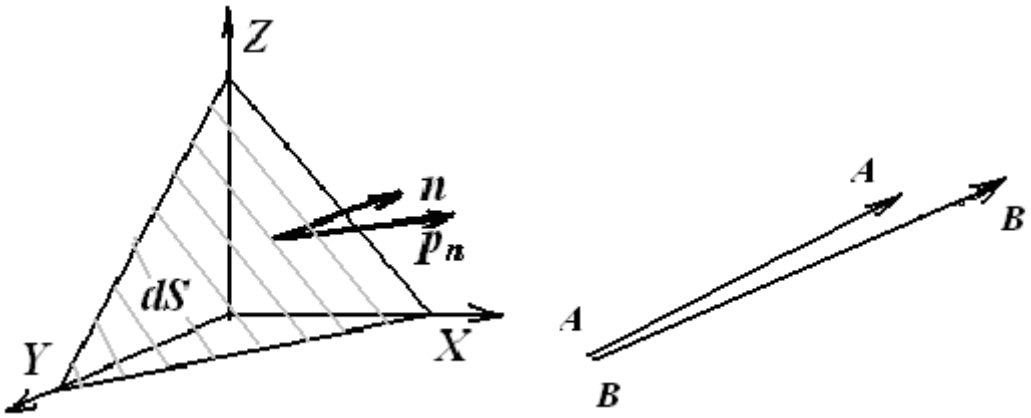
В этом выражении $p_1 \geq p_2 \geq p_3$. Напряжения служат количественной оценкой воздействия внешних сил на геологическую среду.

Пусть точка A сместилась в направлении координатных осей на u_0, v_0, w_0. Находящаяся вблизи точки A точка B сместится на расстояние (рис. 37, б) u_0+dx, v_0+dy, w_0+dz. Используя разложение смещения в ряд Тейлора, получим:

$$u = u_0 + \frac{\partial u}{\partial x}dx + \frac{\partial u}{\partial y}dy + \frac{\partial u}{\partial z}dz,$$

$$v = v_0 + \frac{\partial v}{\partial x}dx + \frac{\partial v}{\partial y}dy + \frac{\partial v}{\partial z}dz\,,$$

$$u = u_0 + \frac{\partial w}{\partial x}dx + \frac{\partial w}{\partial y}dy + \frac{\partial w}{\partial z}dz\,.$$



а б

Рис. 37. К определению вектора смещения (а), тензора напряжений (б)

Безразмерные производные в этих выражениях имеют смысл относительных смещений. Они являются мерой изменения формы и размеров тел под действием напряжений. Их называют составляющими тензора деформации:

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{vmatrix}.$$

На диагонали в матрице находятся относительные растяжения, вне диагонали – относительные сдвиги. Тензоры деформации несимметричные.

Всегда в каждой точке можно выбрать три взаимно перпендикулярных направления, таких, что направленный отрезок при деформации сохраняет направление, а меняется только его величина. Такие направления и деформации называют главными. Сжатию соответствуют положительные главные деформации, растяжению отвечают отрицательные значения главных деформаций.

Смещение точек среды принято раскладывать на три составляющие: параллельный перенос, чистую деформацию и вращение. Принято разлагать тензор деформации на симметричную и несимметричную части. Вводятся обозначения:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x},\ \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y},\ \varepsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z},\ \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right),$$

$$\varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}\right),\ \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}\right),$$

$$\omega_x = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right),\ \omega_y = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}\right),\ \omega_z = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right).$$

Тензор чистой деформации можно представить:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{vmatrix}.$$

Под действием внешних сил тело может испытывать кручение. Асимметричная часть тензора деформации

$$\begin{vmatrix} 0 & -\varpi_z & -\varpi_y \\ -\varpi_z & 0 & -\varpi_x \\ -\varpi_y & -\varpi_x & 0 \end{vmatrix}$$

Вектор кручения

$$\vec{w} = \operatorname{rot}\vec{U}.$$

Его компоненты:

$$w_x = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z}\right),\ \ w_y = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}\right),\ \ w_z = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right).$$

Точки куба, находящиеся на главных направлениях, смещаются вдоль этих направлений. Сумма величин, стоящих на диагонали, не зависит от выбора системы координат, т. е. является инвариантом. Эту сумму называют дилатацией, она равна относительному изменению объема. Иначе дилатацию можно записать:

$$\theta = \mathrm{div}\vec{U} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}.$$

Если смещение имеет только радиальную составляющую, то в сферических координатах дилатация имеет вид:

$$\theta = \frac{2u}{r} + \frac{\partial u}{\partial r}.$$

Для малого объема однородной среды обобщенный закон Гука имеет вид:

$$p_{xx} = a_{11}\varepsilon_{xx} + a_{12}\varepsilon_{yy} + a_{13}\varepsilon_{zz} + 2a_{14}\varepsilon_{yz} + 2a_{15}\varepsilon_{zx} + 2a_{16}\varepsilon_{xy},$$

$$p_{yy} = a_{21}\varepsilon_{xx} + a_{22}\varepsilon_{yy} + a_{23}\varepsilon_{zz} + 2a_{24}\varepsilon_{yz} + 2a_{25}\varepsilon_{zx} + 2a_{26}\varepsilon_{xy},$$

$$p_{zz} = a_{31}\varepsilon_{xx} + a_{32}\varepsilon_{yy} + a_{33}\varepsilon_{zz} + 2a_{34}\varepsilon_{yz} + 2a_{35}\varepsilon_{zx} + 2a_{36}\varepsilon_{xy},$$

$$p_{yz} = a_{41}\varepsilon_{xx} + a_{42}\varepsilon_{yy} + a_{43}\varepsilon_{zz} + 2a_{44}\varepsilon_{yz} + 2a_{45}\varepsilon_{zx} + 2a_{46}\varepsilon_{xy},$$

$$p_{zx} = a_{51}\varepsilon xx + a_{52}\varepsilon_{yy} + a_{53}\varepsilon_{zz} + 2a_{54}\varepsilon_{yz} + 2a_{55}\varepsilon_{zx} + 2a_{56}\varepsilon_{xy},$$

$$p_{xy} = a_{61}\varepsilon xx + a_{62}\varepsilon_{yy} + a_{63}\varepsilon_{zz} + 2a_{64}\varepsilon_{yz} + 2a_{65}\varepsilon_{zx} + 2a_{66}\varepsilon_{xy}.$$

Матрица коэффициентов a_{ij} антисимметричная, т.е. $a_{ij} = a_{ji}$. Коэффициенты a_{ij} называют модулями упругости. Например, для известняка a_{11} = 3500 Н/м^2.

Реакция среды на механические воздействия зависит от свойств среды. Упругие свойства среды мы будем рассматривать в рамках линейного закона Гука. Наиболее простое выражение закон имеет в изотропных средах, свойства которых не зависят от направления. Удлинение в этом случае пропорционально действующему напряжению:

$$l = l_0(1 + \alpha p),$$

где α – коэффициент линейного растяжения. Величину $E = 1/\alpha$ называют модулем Юнга, численно она равна напряжению, при котором удлинение равно первоначальной длине. Модуль Юнга характеризует сопротивление упругой среды действующей силе. Удлинение сопровождается изменением поперечных размеров. Это изменение

$$d = d_0(1 - \beta p)$$

характеризуют коэффициентом поперечного сжатия β. Используют коэффициент Пуассона $\sigma = \beta/\alpha$. Величину

$$E' = \frac{1-\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)} E$$

называют модулем одностороннего сжатия безграничного слоя.

При действии касательных напряжений закон Гука имеет следующий вид:

$$\frac{\Delta l}{h} = \gamma p_t$$

где γ – коэффициент сдвига.

$$G = \frac{E}{2(1+\sigma)},$$

где $G = 1/\gamma$ – модуль сдвига.

Для характеристики напряженного состояния среды используют также угол $\psi = p_t / G$.

Напряженное состояние характеризуют константами Ламэ λ и μ. (Константу μ называют модулем сдвига). Они связаны с модулем Юнга, модулем всестороннего сжатия и коэффициентом Пуассона:

$$\lambda = \frac{E\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)},\ \mu = \frac{E}{2(1+\sigma)},\ E = \frac{\mu(3\lambda+2\mu)}{\lambda+\mu},\ \sigma = \frac{\lambda}{2(\lambda+\mu)},\ K = \frac{E}{3(1-2\sigma)}.$$

Упругие константы не могут принимать произвольные значения. Справедливы ограничения: $\lambda > 0$, $\mu > 0$, $0 < \sigma < 0{,}5$, $E > 0$, $K > 0$.

УПРУГИЕ ВОЛНЫ

Рассмотрим задачу о передаче движений в упругой твердой среде. Выведем уравнение, описывающее движение частиц твердой упругой среды. Под действием внешних сил, приложенных к ограниченной части среды, например взрыва, частицы двигаются. В упругой среде частицы колеблются возле положения равновесия. Колебания передаются от одной частицы среды другой частице с некоторой скоростью. При этом надо учитывать объемные силы (массовые силы), в первую очередь силы инерции. Среду будем считать однородной и изотропной, т.е. упругие характеристики σ, E и другие постоянные величины.

Статическое равновесие в среде наступает при равенстве результирующей действия всех сил нулю и равенстве нулю результирующего момента сил:

$$f_x + \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z} = 0,$$

$$f_y + \frac{\partial p_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zy}}{\partial z} = 0,$$

$$f_z + \frac{\partial p_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial p_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} = 0.$$

Определим деформацию сплошного шара от взаимного притяжения его частиц.

Примем радиус шара равным a. На каждую точку шара действует сила $F = -\frac{\rho g r}{a}$, направленная радиально. Уравнение равновесия примет вид:

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{du_r}{dr} + \frac{2u_r}{r}\right) - \frac{\rho g r}{a(\lambda + 2\mu)} = 0.$$

Общее решение данного уравнения $u_r = Cr$. Частное решение возьмем в виде $u_r = C_0 r^3$. Подставляя частное решение в уравнение равновесия, определим константу:

$$C_0 = \frac{\rho g}{10a(\lambda + 2\mu)}.$$

На свободной внешней поверхности шара напряжения равны нулю. В итоге решение примет вид:

$$u_r = -\frac{1}{10}\frac{\rho g a r}{\lambda + 2\mu}\left(\frac{5\lambda + 6\mu}{3\lambda + 2\mu} - \frac{r^2}{a^2}\right).$$

Внутри сферы радиуса $r = a\sqrt{\frac{5\lambda + 6\mu}{9\lambda + 6\mu}}$ деформация представляет собой укорочение, а вне этой сферы деформация – удлинение.

В цилиндрических координатах уравнения равновесия имеют вид:

$$\frac{\partial R_r}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial R_\beta}{\partial \beta} + \frac{\partial R_z}{\partial z} + \frac{R_r - R_\beta}{r} + R = 0,$$

$$\frac{\partial B_r}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial B_\beta}{\partial \beta}+\frac{\partial B_z}{\partial z}+\frac{2B_r}{r}+B=0,$$

$$\frac{\partial Z_r}{\partial r}+\frac{1}{r}\frac{\partial Z_\beta}{\partial \beta}+\frac{\partial Z_z}{\partial z}+\frac{Z_r}{r}+Z=0.$$

Уравнения равновесия в сферических координатах:

$$\frac{\partial R_r}{\partial r}+\frac{1}{r\sin\alpha}\frac{\partial R_\beta}{\partial \beta}+\frac{1}{r}\frac{\partial R_\alpha}{\partial \alpha}+\frac{2R_r-B_\beta-A_\alpha+R_\alpha \operatorname{ctg}\alpha}{r}+R=0,$$

$$\frac{\partial B_r}{\partial r}+\frac{1}{r\sin\alpha}\frac{\partial B_\beta}{\partial \beta}+\frac{1}{r}\frac{\partial B_\alpha}{\partial \alpha}+\frac{B_\alpha(3+2\operatorname{ctg}\alpha)}{r}+B=0,$$

$$\frac{\partial A_r}{\partial r}+\frac{1}{r\sin\alpha}\frac{\partial A_\beta}{\partial \beta}+\frac{1}{r}\frac{\partial A_\alpha}{\partial \alpha}+\frac{(R_r-B_\beta)\operatorname{ctg}\alpha-3A_r}{r}+A=0.$$

Уравнение равновесия в декартовых координатах можно переписать в виде:

$$f_x+\operatorname{div}\vec{p}_x=0,$$

$$f_y+\operatorname{div}\vec{p}_y=0,$$

$$f_z+\operatorname{div}\vec{p}_z=0.$$

Если к этим уравнениям добавить силы инерции, получим даламберовские условия динамического равновесия:

$$f_x+\operatorname{div}\vec{p}_x-\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=0,$$

$$f_y+\operatorname{div}\vec{p}_y-\rho\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}=0,$$

$$f_z+\operatorname{div}\vec{p}_z-\rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}=0.$$

Плотность среды связана с константами Ламэ и со скоростями распространения продольной и поперечной упругих волн в ней:

$$v_p^2=\frac{\lambda+2\mu}{\rho},\ v_s^2=\frac{\mu}{\rho}.$$

Продольная волна – это поступательное движение частиц среды в направлении распространения колебаний. При распространении продольной волны происходит изменение элементарных объемов среды. Поперечная волна –

это малые вращения частиц среды в плоскости ортогональной направлению распространения колебаний. При этом происходит изменение формы элементарных объемов без изменения объема. Относительные изменения формы и объема горных пород при проведении сейсморазведки не превышает 0,0001.

Выполним преобразования:

$$\operatorname{div} \vec{p}_x = \operatorname{div}(\vec{i} p_{xx} + \vec{j} p_{xy} + \vec{k} p_{xz}) = \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial p_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial p_{xz}}{\partial z}.$$

Для записи закона Гука в изотропной среде достаточно только констант Ламэ:

$$p_{xx} = \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_{xx}, \quad p_{yy} = \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_{yy}, \quad p_{zz} = \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_{zz},$$

$$p_{xy} = 2\mu\varepsilon_{xy}, \; p_{yz} = 2\mu\varepsilon_{yz}, \quad p_{zx} = 2\mu\varepsilon_{zx}.$$

Динамические уравнения движения и равновесия имеют вид:

$$f_x + (\lambda + \mu)\frac{\partial\theta}{\partial x} + \mu\Delta u - \rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0,$$

$$f_y + (\lambda + \mu)\frac{\partial\theta}{\partial y} + \mu\Delta v - \rho\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0,$$

$$f_z + (\lambda + \mu)\frac{\partial\theta}{\partial z} + \mu\Delta w - \rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0.$$

В однородной и изотропной среде возможно раздельное рассмотрение механических перемещений частиц в виде продольных и поперечных волн. В такой среде вектор смещений можно представить в виде суммы вихревой и потенциальной части. Будем считать среду изотропной, т.е. ее можно охарактеризовать двумя упругими модулями Ламэ, а векторы силы $F(f_x, f_y, f_z)$ и смещений $U(u, v, w)$ имеет две составляющие – потенциальную и вихревую:

$$F = F_1 + F_2, \quad U = U_1 + U_2.$$

Исходя из условия составления суммы векторов $\operatorname{div}\vec{U}_2 = 0$, $\operatorname{rot}\vec{U}_1 = 0$.Уравнение движения и равновесия для суммы потенциальной и вихревой части получим:

$$(\lambda + \mu)\operatorname{graddiv}(\vec{U}_1 + \vec{U}_2) + \mu\Delta(\vec{U}_1 + \vec{U}_2) - \rho\frac{\partial}{\partial t}(\vec{U}_1 + \vec{U}_2) + (\vec{F}_1 + \vec{F}_2) = 0.$$

Поскольку $\Delta\vec{A} = \text{grad div}\,\vec{A} - \text{rot rot}\,\vec{A}$, то после переноса слагаемых, относящихся к разным векторам в разные части уравнения

$$\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}\Delta\vec{U}_1 - \frac{\partial^2\vec{U}_1}{\partial t^2} + \frac{1}{\rho}\vec{F}_1 = -\frac{\mu}{\rho}\Delta\vec{U}_2 - \frac{\partial^2\vec{U}_2}{\partial t^2} + \frac{1}{\rho}\vec{F}_2 .$$

Для выполнения равенства достаточно, чтобы правая и левая части уравнения были равны 0, тогда с учетом связи констант Ламэ со скоростями распространения волн получим:

$$\Delta\vec{U}_1 - \frac{1}{v_p^2}\frac{\partial^2\vec{U}_1}{\partial t^2} = -\frac{1}{\rho v_p^2}\vec{F}_1,$$

$$\Delta\vec{U}_2 - \frac{1}{v_s^2}\frac{\partial^2\vec{U}_2}{\partial t^2} = -\frac{1}{\rho v_s^2}\vec{F}_2 .$$

Пусть вектор смещения направлен вдоль одной из пространственных координат, а его величина зависит только от времени и той же пространственной координаты, например $\vec{U} = u(x,t)\vec{i}$. В этом случае $\theta = \frac{\partial u}{\partial x}$.

Уравнение движения

$$(\lambda + \mu))\frac{\partial}{\partial x}\text{div}\,\vec{U} + \mu\Delta u + f_x = \rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

в отсутствии объемных сил примет вид:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{v_p^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 .$$

Общее решение этого уравнения:

$$u = u_1\left(t - \frac{x}{v_p}\right) + u_2\left(t + \frac{x}{v_p}\right),$$

где u_1 и u_2 – произвольные дважды дифференцируемые функции. Первое слагаемое представляет собой плоскую продольную волну, распространяющуюся в положительном направлении *0x*, а второе – продольную волну, распространяющуюся в отрицательном направлении *0x*.

Если вектор смещения зависит от переменной x, а смещение направлено вдоль оси $0y$, т.е. $\vec{U} = u(x,t)\vec{j}$, при отсутствии объемных сил уравнение движения примет вид:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{v_s^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0.$$

Решение в этом случае представляет собой плоские поперечные волны. Для смещения, меняющегося по гармоническому закону, для плоской волны получим:

$$u = u_0 \cos\left[\varpi\left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi_0\right],$$

где φ_0 – начальная фаза, ω – круговая частота, v – скорость, отвечающая типу волны (v_p или v_s), u_0 – амплитуда.

В сейсморазведке упругие колебания возбуждают взрывными источниками. Обычно на расстоянии несколько десятков метров можно считать такой источник сферическим излучателем. Радиальное давление

$$p_{rr} = \lambda\theta + 2\mu\frac{\partial u}{\partial r} = (\lambda + 2\mu)\frac{\partial u}{\partial r} + 2\frac{\lambda u}{r}.$$

Будем считать, что сферический излучатель возбуждает гармонические колебания. В идеальном случае смещения точек будут иметь только радиальную составляющую. Тогда на удалении $r = r_0$:

$$P_0 e^{i\varpi t} = \left[(\lambda + 2\mu)\frac{\partial u}{\partial r} + 2\frac{\lambda u}{r}\right]\Big|_{r=r_0}.$$

Скалярный потенциал:

$$u = \frac{\partial\varphi}{\partial r}, \quad \varphi = A\frac{e^{-i\varpi(t - r/V_p)}}{r}.$$

Используя граничные условия, можно определить смещение и скалярный потенциал:

$$\varphi = -\frac{P_0 r_0}{r\rho B} e^{i\omega\left(t - \frac{r - r_0}{V_p}\right)}, \; u = \frac{P_0 r_0}{r\rho B}\left(\frac{1}{r} + \frac{i\omega}{V_p}\right) e^{i\omega(t - (r - r_0)/V_p)},$$

где $B = \frac{4V_S^2}{r_0} + \frac{4i\omega}{r_0 V_p} V_S^2 - \omega^2$.

Первое слагаемое убывает значительно медленнее, чем второе слагаемое. Поэтому на удалении от источника смещение характеризуют первым слагаемым:

$$u = u_0 \frac{e^{i\omega(t-(r-r_0)/V_p)}}{r}.$$

Распространение упругих колебаний в среде сопровождается переносом энергии. Плотность потока переносимой энергии определяется вектором Умова:

$$\left|\vec{P}\right| = \frac{1}{2}\rho V_p \varpi^2 A^2,$$

где V_p – скорость продольных волн, ρ – плотность среды, ω – циклическая частота, A – амплитуда колебаний.

ЗАДАЧА

Определить смещения и напряжения в замкнутой сферической оболочке, нагруженной снаружи равномерно распределенным давлением p_e ($r = a$) и равномерно распределенным давлением изнутри p_i ($r = b$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Альпин Л. М., Даев Д. С., Каринский А. Д. Теория полей, применяемых в разведочной геофизике. М.: Недра, 1985. 407 с.

Бицадзе А. В. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1982. 336 с.

Кауфман А. А. Введение в теорию геофизических методов. Ч. 1. Гравитационные, электрические и магнитные поля. М.: Недра, 1997. 520 с.

Кондратьев Б. П. Теория потенциала. Новые методы и задачи с решениями. М.: Мир, 2007. 512 с.

Кормильцев В. В., Ратушняк А. Н. Моделирование геофизических полей при помощи объемных векторных интегральных уравнений. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 98 с.

Кудрявцев Ю. И. Теория поля и ее применение в геофизике. Л.: Недра, 1988. 335 с.

Кутас Р. И., Цвященко В. А., Корчагин И. Н. Моделирование теплового поля континентальной литосферы. Киев: Наукова думка, 1989. 192 с.

Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. (Серия : Теоретическая физика. Т. VIII.) М.: Наука, 1982. 352 с.

Муратов Р. З. Потенциалы эллипсоида. М.: Атомиздат, 1976. 144 с.

Овчинников И. К. Теория поля. М.: Недра, 1979. 352 с.

Овчинников И. К. Электроразведка рудных объектов под верхним слоем земной коры. М.: Недра, 1975. 88 с.

Петровский И. Г. Лекции по теории интегральных уравнений. М.: Изд-во. МГУ, 1984. 136 с.

Рид М., Саймон Б., Методы современной математической физики. Т. 3. Теория рассеяния. М.: Мир, 1982. 443 с.

Саваренский Е. Ф. Сейсмические волны. М.: Недра, 1972. 296 с.

Сапожников В. М., Шевченко В. Г. Теория и методика электроразведки в градиентных средах. Л.: Недра, 1992. 135 с.

Серкеров С. А. Теория гравитационного и магнитного потенциалов. М.: Недра, 1990. 304 с.

Смирнов А. А. Введение в теорию электромагнитного поля. М.: Недра, 1975. 136 с.

*Соболев С. А.*Уравнения математической физики. М.: Наука, 1966. 444 с.

Тамм И. Е. Основы электричества. Изд-е 8. М.: Наука, 1966. 624 с.

Тимошенко С. П. Курс теории упругости. Киев: Наукова думка, 1972. 506 с.

Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972. 736 с.

Халилеев П. А. Основные понятия электродинамики сплошных сред. Свердловск: УрО АН СССР, 1989. 230 с.

Филатов В. В. Начала теории упругости и теории упругих волн. Екатеринбург: УГГУ, 2006. 102 с.

Череменский Г. А. Прикладная геотермия. Л.: Недра, 1977. 224 с.

Череменский Г. А. Геотермия. Л.: Недра, 1972. 272 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

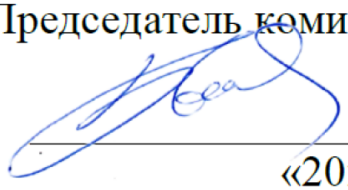
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 1

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

Екатеринбург
2020

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

Методическое руководство по выполнению индивидуальных заданий по курсу «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

Часть 1

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

Редозубов А.А., Косарева Г.А. Методическое руководство по выполнению индивидуальных заданий по курсу «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. 27 с.

Методическое руководство содержит необходимые указания по выполнению индивидуальных домашних заданий, соответствующих программе дисциплины «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ).

Рецензент: В. Е. Петряев, канд.геол.-мин.наук, доцент кафедры геофизики.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Уральского государственного университета.

© Редозубов А.А., Косарева Г.А., 2020 © Уральский государственный горный университет, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Задание 1. Преломление электрического поля на границе раздела. 3
2. Задание 2. Расчет коэффициента установки. 4
3. Задание 3. Приближенное построение графиков $\rho_к$ электропрофилирования. 7
4. Задание 4. Определение типов многослойных кривых ВЭЗ. Определение суммарной продольной проводимости S и удельных сопротивлений верхнего и нижнего слоев. 17
5. Задание 5. Выбор источника тока и расчет питающих заземлений. 19
6. Литература. 26

Задание 1. Преломление электрического поля на границе раздела.

Закон преломления поля на контакте двух сред, различающихся по удельному сопротивлению, вытекает из граничных условий и имеет вид:

$$\frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \qquad (1.1)$$

где ρ_1 и ρ_2 – удельные сопротивления пород по разные стороны контакта;

α_1 и α_2 – углы, образованные векторами плотности тока (или напряженности поля) с нормалью к контакту в бесконечно близких точках в среде ρ_1 и ρ_2 соответственно.

Так как изолинии потенциала ортогональны токовым и силовым линиям, для них закон преломления имеет такой же вид, если в формуле (1.1) в качестве углов α_1 и α_2 принимать углы, образованные изолинией потенциала с границей раздела (рис.1.1).

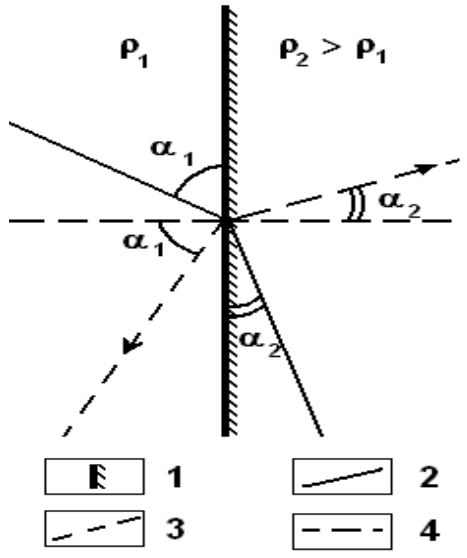


Рис.1.1 Преломление электрического поля на границе двух сред:
1 – граница раздела; 2 – изолинии потенциала; 3 – токовые (силовые) линии; 4 – нормаль к границе раздела.

Задание

1. По фрагментам двух изолиний потенциала определить положение контакта двух пород разного сопротивления.

2. Определить соотношение удельных сопротивлений пород по разные стороны контакта: найти значения необходимых величин, написать формулу в общем виде, подставить в неё числовые значения и вычислить отношение сопротивлений (большего к меньшему).

3. Построить силовые (токовые) линии, проходящие через точки излома изолиний (по обе стороны контакта).

Литература по теме задания: /4/, сс.12-13; /5/, сс.10-11.

Задание 2. Расчет коэффициента установки.

В методах сопротивлений эффективное (кажущееся) сопротивление среды определяется, как произведение нормированной по току в питающей линии разности потенциалов между приемными заземлениями $\Delta U/I$ на коэффициент установки K. Коэффициент K зависит от типа установки и её размеров. В однородной среде кажущееся сопротивление $\rho_к = K\frac{\Delta U}{I}$ равно истинному удельному сопротивлению ρ и от типа и размеров установки не зависит. В неоднородной среде $\rho_к$ зависит от параметров установки и её положения относительно слагающих геоэлектрический разрез геологических тел.

В зависимости от взаимного расположения приемных заземлений M и N может измеряться разность потенциалов ΔU, потенциал U или напряженность поля E. Потенциал измеряется в тех случаях, когда приемное заземление N отнесено на большое расстояние, принимаемое за бесконечное. Напряженность поля может быть измерена, если расстояние между заземлениями M и N равно 1 метру (или другой единице длины при использовании иной системы измерений). Практически можно перейти от ΔU к E и при любом размере линии, если он достаточно мал по сравнению с расстоянием до питающих заземлений: $E=\Delta U/MN$. Таким образом, в зависимости от измеряемой в приемной линии величины, кажущееся сопротивление может быть вычислено по одной из следующих формул:

$$\rho_к = K\frac{\Delta U}{I}$$

$$\rho_к = K\frac{U}{I} \qquad (2.1)$$

$$\rho_к = K\frac{E}{I}$$

Коэффициенты установок в этих случаях, естественно, будут разными.

Для вычисления коэффициента установки во всех случаях используется один и тот же принцип. Надо написать выражение для измеряемой в приемной

линии величины (ΔU, U или E) в однородной среде с удельным сопротивлением ρ. Затем решить полученное уравнение относительно ρ и выделить отношение измеряемой в приемной линии величины к току. Оставшееся после этого в уравнении для ρ выражение представляет собой формулу для вычисления K.

Не останавливаясь на простейших установках, рассмотренных в /4/, когда все заземления расположены на одной прямой линии, рассмотрим расчет коэффициента установки для некоторых более сложных случаев.

а) *Установка с погруженным питающим заземлением, измерения выполняется в вертикальной скважине* (рис.2.1)

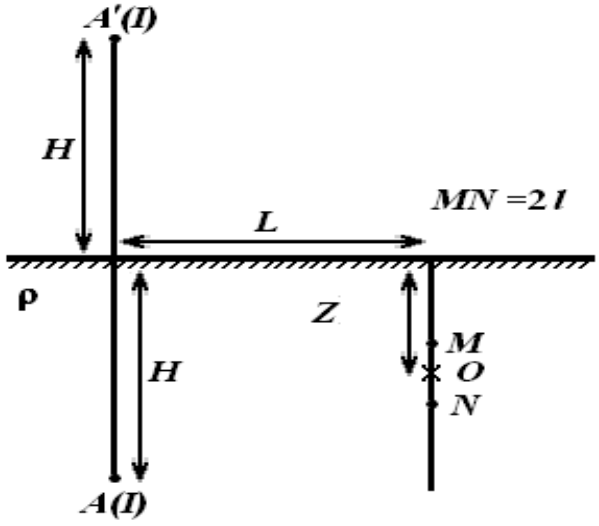


Рис. 2.1. Установка с погруженным питающим заземлением и приемной линией в соседней скважине

Так как и питающее заземление, и приемная линия находятся не на поверхности земли, для учета границы раздела «земля-воздух» в точке, являющейся зеркальным отражением действительного источника A, поместим фиктивный источник A' такой же мощности (см. рис.2.1). Теперь поле можно рассчитывать, как в безграничной среде при двух источниках A и A'. Разность потенциалов между приемными заземлениями

$$\Delta U = \frac{\rho I}{4\pi}\left(\frac{1}{AM}+\frac{1}{A'M}-\frac{1}{AN}-\frac{1}{A'N}\right)=$$

$$=\frac{\rho I}{4\pi}\left[\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z+\ell)^2}}+\frac{1}{\sqrt{L^2+(H+Z-\ell)^2}}-\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z-\ell)^2}}-\frac{1}{\sqrt{L^2+(H+Z+\ell)^2}}\right] \quad (2.2)$$

Решив уравнение (2.2) относительно ρ, получим:

$$\rho = \frac{4\pi}{\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z+\ell)^2}}+\frac{1}{\sqrt{L^2+(H+Z-\ell)^2}}-\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z-\ell)^2}}-\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z+\ell)^2}}}\times \quad (2.3)$$

$$\times\frac{\Delta U}{I}=K\frac{\Delta U}{I}\cdot$$

Если требуется найти выражение коэффициента установки для вычисления $\rho_к$ через напряженность поля E, надо написать уравнение потенциала U в центре линии MN (точка О)

$$U = \frac{\rho I}{4\pi}\left[\frac{1}{\sqrt{L^2+(H-Z)^2}} + \frac{1}{\sqrt{L^2+(H+Z)^2}}\right]. \qquad (2.4)$$

Продифференцировав выражение U по Z, найдем E_z:

$$E_Z = -\frac{\partial U}{\partial Z} = \frac{\rho I}{4\pi}\left\{-\frac{H-Z}{\left[L^2+(H-Z)^2\right]^{3/2}} + \frac{H+Z}{\left[L^2+(H+Z)^2\right]^{3/2}}\right\}. \qquad (2.5)$$

Решив (2.5) относительно ρ, получим:

$$\rho = \frac{4\pi}{\dfrac{H+Z}{\left[L^2+(H+Z)^2\right]^{3/2}} - \dfrac{H-Z}{\left[L^2+(H-Z)^2\right]^{3/2}}} \cdot \frac{E}{I} = K\frac{E}{I} \qquad (2.6)$$

не трудно видеть, что в этом случае коэффициент установки имеет размерность не «м», а «м^2».

Чтобы получить выражение коэффициента установки для случая измерения потенциала, надо решить относительно ρ уравнение (2.4).

Если питающее заземление или приемная линия располагаются на поверхности земли, учет границы раздела «земля-воздух» производится путем удвоения потенциала, т.е. в выражении для U «4π» заменяется на «2π».

б) *Установка с двумя питающими заземлениями одного знака разной мощности* (рис.2.2)

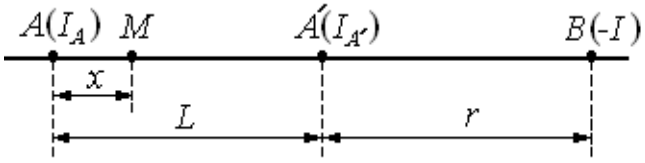


Рис. 2.2. Установка с двумя питающими заземлениями одного знака

Потенциал в точке M создается токами, стекающими с двух положительных источников A и A' и отрицательного заземления B. Сумма токов источников A и A' равна току на заземлении B. Выражение для потенциала удобно записать, выразив токи, стекающие с заземлений A и A' через ток на заземлении B. В этом случае потенциал

$$U = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{I_A/I}{AM} + \frac{I_{A'}/I}{A'M} - \frac{1}{BM}\right) = \frac{\rho I}{2\pi}\left(\frac{I_A/I}{x} + \frac{I_{A'}/I}{L-x} - \frac{1}{r+L-x}\right). \qquad (2.7)$$

Решив уравнение относительно ρ, получим:

$$\rho = \frac{2\pi}{\frac{I_A/I}{x} + \frac{I_{A'}/I}{L-x} - \frac{1}{r+L-x}} \cdot \frac{U}{I} = K\frac{U}{I}. \qquad (2.8)$$

Если кажущееся сопротивление вычисляется через разность потенциалов между приемными заземлениями *M* и *N*, надо написать выражение для потенциалов в точках *M* и *N*, взять их разность и , решив полученное уравнение относительно ρ, найти выражение для коэффициента установки, как это было сделано в предыдущем примере.

Если кажущееся сопротивление вычисляется через напряженность поля, надо продифференцировать выражение (2.7) по *x* и решить полученное уравнение относительно ρ. Отбросив в полученном решении отношение *E/I*, найдем выражение для коэффициента установки.

Задание

1. Вывести формулу коэффициента заданной установки в общем виде.

2.Подставить в формулу заданные числовые значения параметров установки и вычислить величину коэффициента установки. Указать размерность.

Литература по теме задания: /4/, сс.32-35; /5/, сс.32-35; /7/, сс.137-141; /2/, с.32; /3/, с.106.

Задание 3. Приближенное построение графиков $\rho_к$ электропрофилирования.

Графики кажущегося сопротивления при профилировании через одиночные контакты и пласты имеют простую форму и их интерпретация обычно не вызывает затруднений. Если расстояние между такими элементами геоэлектрического разреза превышает размер установки, каждый из них

проявляется на графике, как отдельная аномалия, которая легко интерпретируется. Если же в пределах установки могут располагаться два или более элемента разреза, аномалии от них накладываются одна на другую и график $\rho_к$ может стать достаточно сложным для интерпретации. В последнем случае можно использовать способ подбора. Но решение прямой задачи для нескольких близко расположенных границ раздела громоздко и реально осуществимо только с применением компьютера при наличии соответствующих программ. Поскольку интерпретация результатов электропрофилирования, как правило, качественная и сводится к определению положения контактов и оценке соотношения удельных сопротивлений, при решении прямой задачи можно ограничиться получением формы графиков, без точного количественного определения $\rho_к$. Для этого удобно воспользоваться способом приближенного построения графиков $\rho_к$, основанном на связи кажущегося сопротивления и плотности тока:

$$\rho_к = \rho_{MN} \frac{j_{MN}}{j_{0MN}}, \qquad (3.1)$$

где ρ_{MN} – удельное сопротивление среды между приемными заземлениями;

j_{MN} – плотность тока между приемными заземлениями;

j_{0MN} – плотность тока между приемными заземлениями в однородной среде.

Принцип приближенного построения графиков $\rho_к$ и его применение на примере одиночных пластов подробно рассмотрены в /4/, сс.104-117 и /5/, сс.77-87. Для иллюстрации его использования в более сложных случаях рассмотрим пример, когда на небольшом расстоянии один от другого располагаются два пласта, имеющие повышенное и пониженное сопротивление. Пусть плохо проводящий пласт имеет среднюю, т.е. несколько большую размера приемной линии мощность, а хорошо проводящий пласт маломощный, имеющий мощность, меньшую разноса *MN* (рис.3.1).

Графики $\rho_к$ комбинированного и симметричного профилирования отдельно над каждым пластом, аналогичные приведенным на рис.3.17,а и 3.22,а

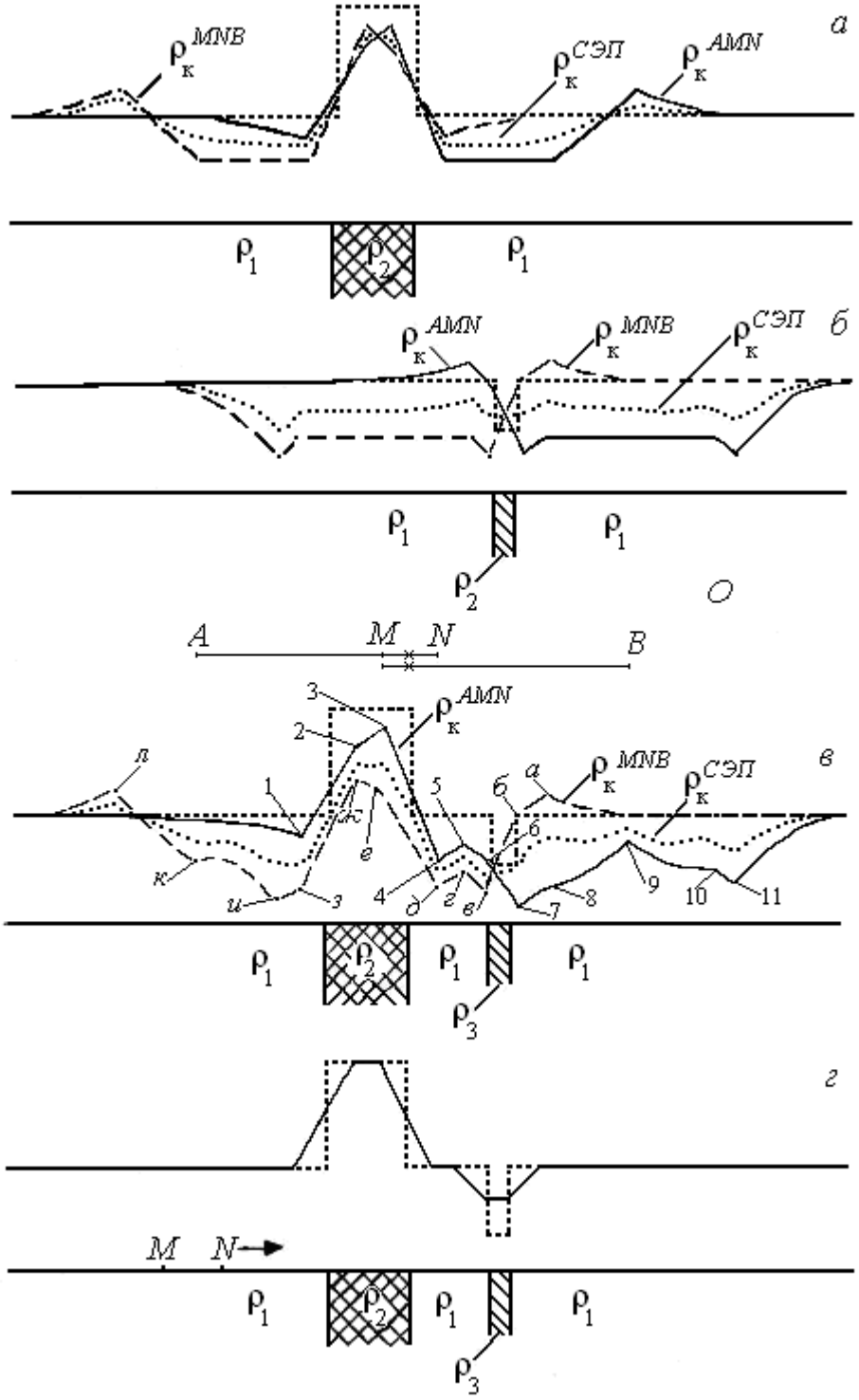


Рис. 3.1. Графики $\rho_к$ электропрофилирования над вертикальным пластом: *а* – графики $\rho_к$ комбинированного и симметричного профилирования над плохо проводящим пластом средней мощности; *б* – то же над хорошо проводящим пластом малой мощности; *в* – то же над сближенными плохо и хорошо проводящим пластами; *г* – график $\rho_к$ срединного градиента над двумя пластами. Мелкими штрихами показаны графики истинных удельных сопротивлений

в /4/ и рис.2.15,а и 2.19,а в /5/, показаны на рис.3.1,а и 3.1,б. Графики $\rho_к$ для случая, когда оба пласта расположены рядом, изображены на рис.3.1,в. Рассмотрим их построение. Пусть установка *AMN* передвигается слева направо. Пока расстояние до пластов достаточно велико, они не оказывают влияние на растекание тока в пределах установки и $j_{MN} = j_{0MN}$. Поэтому, в соответствии с (3.1), $\rho_к = \rho_{MN} = \rho_1$. По мере приближения к плохо проводящему пласту плотность тока на участке расположения приемной линии уменьшается, так как пласт препятствует растеканию тока. При этом j_{MN} становиться меньше j_{0MN} и $\rho_к$ меньше ρ_1.Понижение $\rho_к$ происходит до тех пор, пока передний приемный электрод *N* не встанет на контакт (точка 1).

При переходе приемной линии через левый контакт пласта ρ_{MN} быстро возрастает от ρ_1 до ρ_2. При этом в силу граничного условия скачкообразного изменения j_{MN} не происходит (установка ориентирована вкрест контакта, поэтому величина j_{MN} определяется компонентой плотности тока, нормальной к контакту). Следовательно, поведение $\rho_к$ на этом участке в основном определяется изменением ρ_{MN}. Когда контакт располагается между приемными электродами, кажущееся сопротивление растет, пока заземление *M* не встанет на контакт (точка 2).

Когда приемная линия перемещается внутри пласта, ρ_{MN} остается постоянным. Но по мере приближения к правому контакту пласта, т.е. к более проводящей среде за пластом, происходит некоторое увеличение j_{MN} и кажущееся сопротивление продолжает расти, достигая максимальной величины, когда электрод *N* находится на контакте (точка 3). Так как плотность тока внутри пласта меньше j_0, $\rho_к$ не достигает удельного сопротивления пласта ρ_2.

При переходе приемной линии через правый контакт плохо проводящего пласта ρ_{MN} уменьшается от ρ_2 до ρ_1. Кажущееся сопротивление при этом уменьшается, пока электрод *M* не встает на контакт (точка 4). Так как плотность тока за пластом меньше j_0 вследствие экранирующего действия пласта, $\rho_к$ в этой точке меньше ρ_1.

Если бы не было проводящего пласта, после перехода линии MN через пласт наблюдалась бы площадка равных сопротивлением, пока питающее заземление и приемная линия разделены пластом (см.рис.3.1,а). В рассматриваемом случае вследствие натекания тока в проводящий пласт j_{MN} растет и соответственно увеличивается $\rho_к$ пока электрод N не встанет на левый контакт проводящего пласта (точка 5). Если бы не было экранирующего действия пласта высокого сопротивления $\rho_к$ в этой точке было бы больше ρ_1 (см.рис.3.1б). В нашем случае кажущееся сопротивление имеет меньшую величину.

После перехода электрода N через левый контакт проводящего пласта по мере движения установки проходит уменьшение ρ_{MN}, так как между приемными заземлениями включается более проводящая среда. Но наименьшее значение ρ_{MN}, когда весь пласт располагается между приемными заземлениями (точка 6), остается больше, чем ρ_3, так как пласт занимает только часть интервала MN. Поэтому кажущееся сопротивление в точке 6 имеет достаточно большую величину. Так как $MN/2$ больше мощности пласта, эта точка располагается левее пласта.

При дальнейшем перемещении установки, пока пласт располагается внутри приемной линии, ρ_{MN} не меняется. Но при этом между приемными заземлениями вместо участка вмещающей среды перед пластом, имеющего высокое сопротивление и высокую плотность тока, включается участок среды за пластом с тем же сопротивлением ρ_1, но низкой плотностью тока из-за экранирующего действия пласта. Поэтому j_{MN} уменьшается и происходит быстрое уменьшение $\rho_к$ до тех пор, пока электрод M не встанет на левый контакт проводящего пласта (точка 7).

По мере перемещения электрода M через проводящий пласт ρ_{MN} возрастает, достигая величины ρ_1, когда электрод M стоит на правом контакте пласта. При этом происходит некоторый рост $\rho_к$ (точка 8). Но из-за экранирующего действия пластов значение $\rho_к$ в этом случае значительно ниже

уровня площадки равных сопротивлений для одиночного пласта (сравните с рис.3.1б).

При дальнейшем движении установки питающее заземление перемещается через плохо проводящий пласт и экранирующее действие пласта уменьшается. При этом увеличивается j_{MN} и кажущееся сопротивление растет, достигая максимальной величины, когда заземление *A* встает на правый контакт плохо проводящего пласта (точка 9). Происходит «обратное экранирование», пласт как бы отражает поле, увеличивая его интенсивность в правой части профиля. Но из-за экранирующего действия проводящего пласта $\rho_к$ остается меньшим ρ_1 (сравните с рис. 3.1а).

По мере удаления электрода *A* от плохо проводящего пласта влияние последнего уменьшается и $\rho_к$ постепенно понижается, выходя на нормальный уровень площадки равных сопротивлений для проводящего пласта. Площадка заканчивается, когда питающее заземление встает на левый контакт проводящего пласта (точка 10).

При переходе питающего заземления через проводящий пласт j_{MN} и, соответственно, $\rho_к$ уменьшается, так как пласт как бы «отсасывает» ток от правой части профиля, где расположена линия *MN*. Минимальное значение $\rho_к$ наблюдается, когда электрод *A* стоит на правом контакте проводящего пласта (точка 11). После этого, по мере удаления установки от пластов постепенно восстанавливается нормальное растекание тока и $\rho_к$ выходит на уровень сопротивления вмещающей среды ρ_1.

Теперь рассмотрим график $\rho_к$ для встречной трехэлектродной установки такого же размера. Будем перемещать установку *MNB* справа налево (удобнее рассматривать поведение $\rho_к$, когда приемная линия располагается впереди по ходу движения установки). При приближении к проводящему пласту происходит натекание тока в пласт и j_{MN} увеличивается по сравнению с j_{0MN}. Это приводит к увеличению $\rho_к$, которое становится больше ρ_1 и достигает наибольшей величины, когда электрод *M* становится на контакт (точка *a*).

При перемещении заземления M по пласту часть интервала MN заполняется проводящей средой с удельным сопротивлением ρ_3. Это приводит к уменьшению ρ_{MN} и кажущегося сопротивления, пока электрод M не встанет на левый контакт и весь пласт не окажется в пределах приемной линии (точка *б*).

Пока пласт находится внутри приемной линии, ρ_{MN} не меняется, но по мере перемещения установки вместо участка вмещающей среды справа от пласта с относительно высоким удельным сопротивлением и высокой плотностью тока включается участок слева от пласта с тем же удельным сопротивлением и низкой плотностью тока. Поэтому $\rho_к$ понижается, достигая наименьшего значения, когда электрод N находится на правом контакте проводящего пласта (точка *в*).

По мере перемещения электрода N от правого контакта пласта к левому происходит увеличение ρ_{MN} и, соответственно, $\rho_к$ до тех пор, пока заземление N не окажется на левом контакте пласта (точка *г*).

При дальнейшем перемещении установки в случае одиночного пласта наблюдалась бы площадка равных сопротивлений (см.рис.3.1,б). но так как в нашем случае есть еще плохо проводящий пласт, при приближении к нему плотность тока j_{MN} уменьшается и кажущееся сопротивление понижается, пока электрод M не достигнет правого контакта этого пласта (точка *д*).

При входе приемной линии в плохо проводящий пласт происходит увеличение ρ_{MN} от ρ_1 до ρ_2 и возрастание кажущегося сопротивления, пока приемная линия полностью не выйдет в пласт (точка *е*). При приближении к левому контакту пласта происходит увеличение плотности тока за счет натекания тока в более проводящую среду слева от пласта. При этом $\rho_к$ растет, пока электрод M не встанет на левый контакт пласта (точка *ж*). когда приемная линия установки MNB располагается внутри плохо проводящего пласта, между ней и питающим заземлением находится проводящий пласт, служащий экраном. Поэтому над пластом $\rho_к^{MNB}$ меньше, чем $\rho_к^{AMN}$.

При выходе приемной линии из плохо проводящего пласта ρ_{MN} уменьшается и, соответственно, понижается $\rho_к$, пока электрод *N* не достигает левого контакта пласта (точка *з*). в этом положении между приемной линией и питающим заземлением располагаются оба пласта. Поэтому $\rho_к$ в точке *з* значительно ниже уровня площадки равных сопротивлений для одиночного плохо проводящего пласта (сравните с рис.3.1,а).

При дальнейшем перемещении установки в нашем случае питающий электрод переходит через хорошо проводящий пласт. При этом наблюдается понижение $\rho_к$ (экранный эффект). Наименьшего значения $\rho_к$ достигает, когда питающий электрод *B* располагается на левом контакте проводящего пласта (точка *и*).

Далее, по мере удаления питающего заземления от проводящего пласта $\rho_к$ растет и выходит на уровень площадки равных сопротивлений для одиночного плохо проводящего пласта. Площадка равных сопротивлений заканчивается, когда электрод *B* встает на правый контакт плохо проводящего пласта (точка *к*).

При переходе питающего заземления через плохо проводящий пласт j_{MN}, а с ней и $\rho_к$ растут. После перехода электрода *B* через середину пласта $\rho_к$ становится больше сопротивления вмещающей среды, достигая наибольшего значения, когда питающее заземление находится на левом контакте плохо проводящего пласта (точка *л*). При дальнейшем движении установки постепенно восстанавливается нормальное растекание тока и $\rho_к$ выходит на уровень удельного сопротивления вмещающей среды.

Кажущееся сопротивление для симметричной установки находится, как среднее арифметическое из $\rho_к$, измеренных встречными трехэлектродными установками /4/, сс. 92-93, /5/, с.66.

$$\rho_к^{СЭП} = \frac{\rho_к^{AMN} + \rho_к^{MNB}}{2}. \qquad (3.2)$$

Сравнивая графики $\rho_к$ для одиночных пластов и двух сближенных таких же пластов можно видеть, как аномалии искажаются влиянием соседних объектов. В методе комбинированного профилирования графики $\rho_к$ для

установок AMN и *MNB* над одиночным пластом высокого сопротивления (см.рис.3.1, *а*) и над таким же пластом в присутствии проводящего пласта (см.рис.3.1, *в*) по форме одинаковы. Но в случае двух пластов в приведенном примере пропадает обратное пересечение графиков. Это уменьшает надежность интерпретации, так как такой же характер (одновременное повышение $\rho_к$ для обеих установок) имеет аномалия над приповерхностной плохо проводящей неоднородностью.

Над проводящим пластом в случае двух объектов прямое пересечение графиков сохраняется, но смещается в сторону пласта высокого сопротивления. Значение $\rho_к^{AMN}$ между пластами сильно понижены по сравнению со случаем одного пласта (сравните с рис.3.1,*б*). В целом графики $\rho_к$ в этой части профиля больше похожи на аномалию от контакта (см.рис.3.1, *в*).

Аномалия над плохо проводящим пластом в симметричном профилировании мало отличается от аномалии над одиночным пластом. В случае двух пластов только немного уменьшается ее интенсивность (см.рис.3.1, *в*). Над маломощным проводящим пластом аномалия в обоих случаях имеет весьма малую интенсивность (менее 20%). В реальных условиях аномалии такой интенсивности чаще всего выделить не удается. Заметим, что в комбинированном профилировании над таким одиночным пластом аномалия очень отчетливая (см.рис.3.1, *б*).

Наименьшее искажение аномалий от соседних объектов наблюдается в методе срединного градиента. В этом случае, если разнос питающих электродов *AB* достаточно большой, в средней части установки поле можно полагать однородным. Если установка ориентирована вкрест простирания вертикальных границ раздела, при переходе через них изменения плотности тока не происходит и во всех точках профиля $j_{MN}= j_{0MN}$. Поэтому, согласно (3.1), $\rho_к= \rho_{MN}$, т.е кажущееся сопротивление равно удельному сопротивлению той среды, в которой располагается приемная линия. Если разные участки среды между приемными электродами различаются по удельному сопротивлению, величина ρ_{MN} находится, как среднее взвешенное значение. Например, пусть участок

длиной d имеет удельное сопротивление ρ_1, а оставшаяся часть интервала MN - сопротивление ρ_2. Тогда

$$\rho_{MN} = \frac{\rho_1 d + \rho_2 (MN - d)}{MN}. \qquad (3.3)$$

График $\rho_к$ срединного градиента для рассматриваемого геоэлектрического разрезе приведен на рис.3.1,г. Как видно из рисунка, в методе срединного градиента аномалии имеют несколько большую интенсивность, чем в симметричном профилировании.

Рассмотренный способ приближенного построения графиков $\rho_к$ можно применить и когда крутопадающие границы раздела перекрыты слоем рыхлых отложений. В этом случае характер графиков сохраняется, только они становятся более сглаженными, а интенсивность аномалий уменьшается.

Задание

1. Построить графики $\rho_к$ для встречных трехэлектродных установок (комбинированного профилирования)над заданным геоэлектрическим разрезом с вертикальными границами раздела. Следите, чтобы положение характерных точек графиков соответствовало размерам вашей установки.

2. По графикам $\rho_к$ для встречных трехэлектродных установок построить график $\rho_к$ симметричного профилирования.

3. Построить график $\rho_к$ срединного градиента.

4. Подробно опишите ход рассуждений, которыми Вы пользовались при построении графиков $\rho_к$. Опишите характерные признаки аномалий над имеющимися в вашем разрезе объектами. Укажите, как по графикам $\rho_к$ определяется положение границ раздела.

Рекомендация по выполнению задания

Прежде чем приступить к построению графиков $\rho_к$ на листе миллиметровки начертите геоэлектрический разрез. Над разрезом покажите график истинных удельных сопротивлений. На полоске бумаги нарисуйте в

масштабе вашу трехэлектродную установку, отметьте точку записи – центр приемной линии (рис.3.2) Перемещая схему установки вдоль разреза, анализируйте поведение $\rho_к$, точно отмечайте положение характерных точек графика, которые наблюдаются, когда какой-либо электрод располагается на границе раздела.

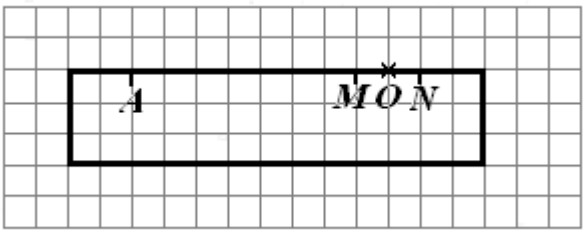


Рис.3.2. Шаблон для построения графика

Литература по теме задания: /4/, сс.92-93, сс.104-117; /5/, сс.66, сс.77-87.

Задание 4. Определение типов многослойных кривых ВЭЗ. Определение суммарной продольной проводимости S и удельных сопротивлений верхнего и нижнего слоев.

Кривые зондирования различаются по числу слоев в разрезах, которым они соответствуют. Различают двухслойные, трехслойные и многослойные (с числом слоев более трех) кривые. В случае необходимости количество слоев в многослойных разрезах конкретизируют и, соответственно, выделяют кривые четырехслойные, пятислойные и т.д.

Более детальная классификация производится по соотношению удельных сопротивлений слоев. Двухслойные кривые по этому признаку могут быть двух типов: кривые с восходящей ветвью ($\rho_2>\rho_1$) и кривые с нисходящей ветвью ($\rho_2<\rho_1$).

Трехслойные кривые могут быть четырех типов. Кривые с хорошо проводящим промежуточным слоем ($\rho_1>\rho_2<\rho_3$) называются кривыми типа *H*. Эти кривые имеют минимум в средней части. Кривыми типа *K* называют кривые с максимумом, соответствующие разрезу с плохо проводящим

промежуточным слоем ($\rho_1<\rho_2>\rho_3$). Кривые типа *Q* характеризуются постепенным уменьшением $\rho_к$ по мере увеличения размера установки *AB*/2. От двухслойных кривых с нисходящей ветвью они отличаются наличием в средней части коленообразного уступа (не всегда четко выраженного). Такие кривые соответствуют разрезам, в которых каждый нижележащий слой имеет удельное сопротивление, меньшее, чем у вышележащего слоя ($\rho_1>\rho_2>\rho_3$). В кривых типа *A*, напротив, $\rho_к$ с увеличением *AB*/2 возрастает. Такие кривые соответствуют разрезам, в которых каждый нижележащий слой имеет более высокое удельное сопротивление ($\rho_1<\rho_2<\rho_3$).

При определении типа многослойных кривых их рассматривают, как совокупность трехслойных кривых. Сначала выделяется участок кривой, соответствующий трем верхним слоям разреза и определяется его тип. Затем отбрасывается первый слой, добавляется участок кривой, соответствующий четвертому слою и определяется тип получившейся трехслойной кривой и т.д. если записать по порядку символы всех трехслойных кривых, получится название многослойной кривой. Число символов в шифре многослойной кривой на два меньше числа слоев в разрезе. Пример определения типа пятислойной кривой приведен на рис.4.1.

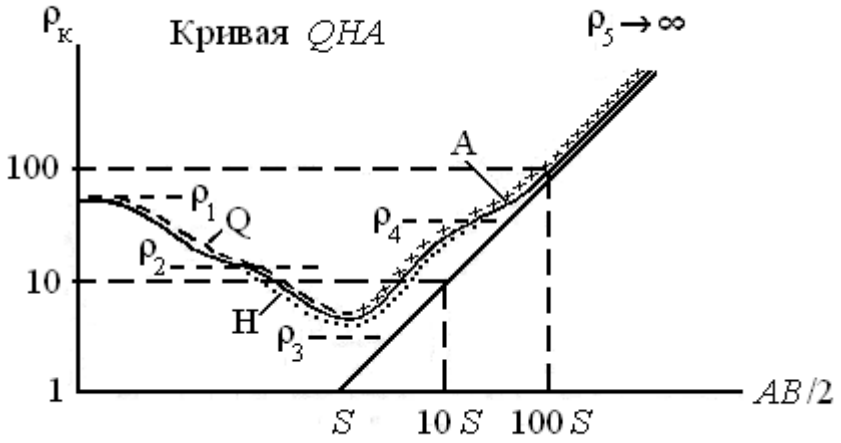


Рис. 4.1. Пример определения типа многослойной кривой

Удельное сопротивление верхнего слоя ρ_1 определяется по асимптоте к начальной части кривой. Аналогично определяется удельное сопротивление

самого нижнего слоя. Если это сопротивление много больше удельного сопротивления вышележащего слоя (в 50-100 раз и более), кривая выходит на асимптоту, наклонную к осям координат под углом 45º. В этом случае удельное сопротивление нижнего слоя полагают бесконечным. Удельное сопротивление промежуточных слоев определить нельзя, можно только дать их грубую оценку.

В случае бесконечного сопротивления нижнего слоя точка пересечения асимптоты к конечной части кривой с осью $AB/2$ (при $\rho_к=1$) имеет координату $AB/2=S$, равную суммарной проводимости разреза (см.рис.4.1). Значение S можно определить по любой точке асимптоты. Например, при $\rho_к=10$ Ом·м $AB/2=10S$, при $\rho_к=100$ Ом·м $AB/2=100S$ (см.рис.4.1). Иными словами, взяв любую точку асимптоты, можно найти $S= AB/2\ \rho_к$.

Задание

1. Определить тип каждой из заданных многослойных кривых.

2. Определить удельное сопротивление верхнего (ρ_1) и нижнего (ρ_N) слоев. Следует указывать конкретное значение N для вашего случая.

3. Для кривых, соответствующих разрезам с бесконечным удельным сопротивлением нижнего слоя, определить продольную проводимость S.

Литература по теме задания: /3/,сс.280-286; /4/,сс.125-126, 133-146; /6/,сс.120-124; /7/,сс.155-157.

Задание 5. Выбор источника тока и расчет питающих заземлений.

Целью работы является получение навыков оценки необходимых в заданных условиях параметров источника тока, выбора подходящего генератора или батарейного источника и расчета питающих заземлений.

В качестве исходных данных в задании указываются тип и размеры электроразведочной установки, ожидаемая величина кажущегося сопротивления, уровень помех $U_п$ в мВ/км, характер почвы и её удельное

сопротивление $\rho_п$, предполагаемая глубина забивки электродов ℓ и их диаметр. Применительно к этим условиям предполагается определить минимальное значение силы тока I_{AB} в питающей линии, обеспечивающее уверенное измерение разности потенциалов ΔU на приемных электродах и выбрать тип источника тока. Затем следует определить максимально допустимое сопротивление питающей линии R_{AB}, выбрать подходящий тип провода, рассчитать сопротивление одного электрода. Если сопротивление линии с одним электродом на каждом заземлении превышает допустимое, надо определить, сколько электродов следует устанавливать на каждом заземлении. При этом указать, на каком расстоянии в заземлении будут располагаться электроды и при расчете сопротивления заземления учесть коэффициент использования заземлений η. При расчете сопротивления одного электрода следует учитывать коэффициент качества контакта электрода с почвой *c*.

1. Оценка необходимой силы тока и выбор его источника. Оценка допустимого сопротивления питающей линии.

В реальных условиях измеряемая на приемных электродах разность потенциалов складывается из полезного сигнала и сигнала-помехи. Чтобы обеспечивалась требуемая инструкцией по электроразведке точность измерений не хуже 5%, полезный сигнал ΔU должен превышать помеху $U_п$ по крайней мере в 20 раз. Из этих сопротивлений и оценивается минимально необходимая сила тока в питающей линии:

$$\Delta U = \frac{I_{AB}\rho_к}{K} \geq 20U_п, \qquad (5.1)$$

$$I_{AB} \geq \frac{20KU_п}{\rho_к}, \qquad (5.2)$$

где *K*- коэффициент установки.

Под $U_п$ подразумевается разность потенциалов, вызванная помехами, на интервале, равном разносу приемных электродов *MN*. Если помеха задана на интервале другой длины, надо пересчитать её на свой размер *MN*. Например,

пусть помеха составляет 10 мВ/км, а разнос *MN* 50 м, т.е. 0,05 км. Очевидно, в этом случае на приемных электродах будет наблюдаться

$$U_{\text{п}}=10\cdot 0,\ 05 =0,5 \text{ мВ}.$$

Предположим, что измерения выполняются симметричной установкой с размерами *AB*=500 м, *MN*=50 м. Ожидаемое кажущееся сопротивление порядка 400 Ом·м. Для этой установки *K*=3886 м. Необходимая сила тока

$$I_{AB} \geq \frac{20 \cdot 3886 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3}}{400} = 0{,}097 A = 97 \text{ мА}.$$

В данном примере необходимая сила тока имеет небольшую величину и в качестве источника тока можно использовать аппаратуру, имеющую маломощный генератор или батарею гальванических элементов. Рассмотрим оба варианта.

Вариант 1. Допустим, мы выбрали аппаратуру ЭРА-В-ЗНАК. Генератор этой аппаратуры имеет максимальную мощность *P*=40ВА (эта аппаратура переменного тока, поэтому мощность измеряется не в Вт, а в ВА). Максимальное напряжение генератора 500 В. Но надо проверить, какое напряжение возможно получить при нашей силе тока:

$$U_{\text{макс}} = \frac{P_{\text{макс}}}{I} = \frac{40}{0{,}097} = 412 \text{ В}.$$

Таким образом, следует ориентироваться на напряжение генератора не более 412 В. Максимально допустимое сопротивление питающей линии

$$R_{AB\text{макс}} = \frac{U}{I} = \frac{412}{0{,}097} = 4247 \text{ Ом}.$$

Вариант 2. Мы решили выполнять работу на постоянном токе и использовать батарейный источник питания. Входящий в комплект аппаратуры ЭРА-П источник тока может дать максимальный ток 20мА. Следовательно, он не подходит и придется работать с посторонним источником тока. Специальные электроразведочные батареи ГРМЦ в настоящее время не выпускаются. Поэтому придется монтировать батарею из находящихся в производстве гальванических элементов. Имеющие широкое распространение элементы 3336 (это квадратные фонарные элементы, которые правильнее было

бы назвать батареями, так как они состоят из 3 элементов) имеют рабочее напряжение 3,7В и позволяют получить ток силой до 350мА, что нас устраивает. Соберем батарею из 20 последовательно включенных элементов. Напряжение такой батареи будет 74 В. Сопротивление питающей линии в этом случае

$$R_{AB\ \text{ìàêñ}} = \frac{U}{I} = \frac{74}{0{,}097} = 763\ \text{Ом}.$$

Батарея будет иметь массу без упаковочного ящика 3 кг (вес одного элемента 150 г). Емкость выбранных нами элементов 0,5А·час. При нашем токе около 0,1А емкости батареи хватит на 5 часов непрерывной работы. Так как измерения на постоянном токе выполняются при кратковременных включениях тока в питающей линии, емкости батареи хватит для работы в течение нескольких недель. Если на некоторых участках сопротивление питающей линии будет уменьшаться и ток будет значительно увеличиваться, для экономии батарей следует уменьшить напряжение. Для этого целесообразно сделать у батареи секционированные выводы.

2. Расчет заземлений

Пусть заземления делаются в щебенистой песчано-глинистой почве с удельным сопротивлением $\rho_п$ =90 Ом·м. Из-за щебенки качество контакта электрода с почвой не очень хорошее и коэффициент качества контакта *c* примем равным 4. Электроды предполагается забивать на глубину ℓ=25 см. Диаметр электродов 2 см (радиус *a*=1 см). Тогда сопротивление одного электрода

$$R_э = 0{,}367 \cdot c \cdot \frac{\rho_п}{\ell} \lg \frac{2\ell}{a} = 0{,}367 \cdot 4 \frac{90}{0{,}25} \lg \frac{0{,}5}{0{,}01} = 898\,\text{Ом}.$$

Питающая линия состоит из двух заземлений и соединительного провода. В нашем случае, когда длина питающей линии невелика и сила тока тоже небольшая целесообразно взять легкий провод. Несмотря на его достаточно большое сопротивление, при малой длине и малой силе тока потеря

напряжения в проводе будет небольшой. Возьмем провод ГПСМПО с сопротивлением 50 Ом/км. При длине питающей линии *AB*=500 м сопротивление провода $R_{\text{пр}}$=25 Ом. Если каждое питающее заземление сделать из одного электрода, сопротивление питающей линии

$$R_{AB} = 2R_{\text{э}} + R_{\text{пр}} = 2 \cdot 898 + 25 = 1821\,\text{Ом}.$$

В рассмотренном выше *первом варианте* допустимое сопротивление питающей линии было 4247 Ом. Следовательно, при работе с аппаратурой ЭРА-В-ЗНАК достаточно каждое питающее заземление делать из одного электрода.

Во *втором варианте*, при работе с батарейным источником тока, сопротивление питающей линии по нашим расчетам должно быть не больше 763 Ом. В этом случае для уменьшения сопротивления линии заземления будем устраивать из нескольких электродов каждое. Рассчитаем допустимое сопротивление одного заземления:

$$R_{\text{заз.}} \le \frac{R_{AB} - R_{\text{пр}}}{2} = \frac{763 - 25}{2} = 369\,\text{Ом}$$

Когда в заземлении несколько электродов, они оказывают взаимное влияние и их эффективное сопротивление увеличивается тем больше, чем меньше расстояние *d* между электродами. Эффективное сопротивление каждого электрода в системе заземления

$$R_{\text{э эф.}} = \frac{R_{\text{э}}}{\eta}, \qquad (5.3)$$

где $\eta = \dfrac{d}{d + \ell}$ -коэффициент использования заземления.

Будем располагать электроды на расстоянии 4ℓ один от другого, т.е. в нашем случае на расстоянии 1 м. Тогда коэффициент использования заземления

$$\eta = \frac{1}{1 + 0{,}25} = 0{,}8$$

Эффективное сопротивление одного электрода в системе заземления

$$R_{\text{э эф.}} = \frac{R_{\text{э}}}{\eta} = \frac{898}{0{,}8} = 1122 \text{ Ом}.$$

Тогда количество электродов в одном заземлении

$$n = \frac{R_{\text{э эф.}}}{R_{\text{заз.}}} = \frac{1122}{369} = 3{,}04\,. \qquad (5.4)$$

Округлив это число, можно принять количество электродов в каждом заземлении равным 3.

Дополнение 1

Примерное значение коэффициента качества контакта электрода со средой для различных типов почв:

Болотистая почва c=1,5

Почва песчано-глинистая или песчаная влажная c=2

Почва песчано-глинистая сухая c=3

Почва песчаная сухая c=4

Почва песчано-глинистая со щебенкой c=4

Почва щебенистая c=5

Дополнение 2

Формула для коэффициента дипольной экваториальной установки достаточно громоздка. Поэтому часто при расчете коэффициента установки пользуются выражением для напряженности поля идеального диполя, а затем вводят “поправку за недипольность”.

Если расстояние между центрами диполей в экваториальной установке r,

$$E = E_0 = \frac{I\rho \cdot AB}{2\pi r^3}. \qquad (5.5)$$

При конечном размере приемного диполя, если полагать поле на интервале MN однородным,

$$\Delta U = \frac{I\rho \cdot AB}{2\pi r^3} \cdot MN\,. \qquad (5.6)$$

Решив это уравнение относительно ρ, найдем коэффициент установки:

$$\rho = \frac{\Delta U}{I} \cdot \frac{2\pi r^3}{AB \cdot MN}, \qquad (5.7)$$

$$K = \frac{2\pi r^3}{AB \cdot MN}. \qquad (5.8)$$

Чтобы учесть конечный размер диполей (“недипольность”) надо умножить это выражение для K на поправочный множитель. Номограмма для определения поправки за недипольность приведена в Инструкции по электроразведке /2/.

Если $AB<0{,}5r$ и $MN< 0{,}2r$, поправочный множитель отличается от единицы не более, чем на 10-11 процентов. При определении необходимой силы тока наши расчеты носят оценочный характер. Поэтому поправку за недипольность можно не вводить.

Задание

1. Оценить необходимую в заданных условиях силу тока в питающей линии.
2. Выбрать подходящий источник тока. Оценить максимально допустимое сопротивление питающей линии.
3. Выполнить расчет заземлений. Определить необходимое количество электродов на питающих заземлениях.
4. Выбрать подходящий тип провода.

Литература по теме задания: /1/; /4/, сс.49-58, 68; /6/, сс. 80-82, 84-89, 93-94; /7/, сс.103-105, 133-135; /8/.

Литература

1. Бобровников Л.З., Орлов Л.И., Попов В.А. Полевая электроразведочная аппаратура: Справочник. - М.: Недра, 1986. – 223 с.
2. Инструкция по электроразведке: Наземная электроразведка, скважинная электроразведка, шахтно-рудничная электроразведка, аэроэлектроразведка, морская электроразведка / М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1984. – 352 с.
3. Матвеев Б.К. Электроразведка: Учеб. для вузов. – 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 352 с.
4. Редозубов А.А. Электроразведка. Часть 1. Электроразведка постоянным током. Поляризационные методы электроразведки: Учебное пособие. - Екатеринбург: УГГГА, 2004. – 327 с.
5. Редозубов А.А. Конспект лекций по электроразведке. Часть 1. Нормальные электрические поля. Электроразведка крутослоистых сред. - Екатеринбург: УГГГА, 1994. – 100 с.
6. Электроразведка: Справочник геофизика. В двух книгах/Под ред.В.К.Хмелевского и В.М.Бондаренко. Книга первая. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. 438 с.
7. Якубовский Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка: Учебн. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. –М.: Недра, 1991. – 359 с.
8. Электроразведочная аппаратура – стенд в лаборатории электроразведки.

Авенир Александрович Редозубов
Косарева Гульшат Ахметовна

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых (РФ)
Часть I

Корректура кафедры геофизики

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60х84 1/16. Печать на ризографе.
Печ.л.__ Уч.-изд.л.___ Тираж____экз. Заказ №

издательство УГГУ
620144, г.Екатеринбург, ул.Куйбышева, 30.
Уральский государственный горный университет

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

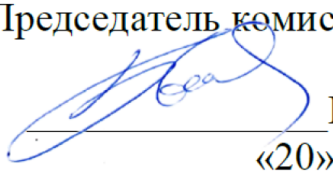
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 2

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

Екатеринбург
2020

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 2

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

Р33

Рецензент: *В. Е. Петряев*, канд. геол.-мин. наук, доцент
кафедры геофизики УГГУ

Методическое руководство рассмотрено на заседании кафедры и рекомендовано к изданию в УГГУ.

Редозубов А. А., Косарева Г. А.
Р33 ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА. Часть 2: методическое руководство по выполнению индивидуальных заданий курса «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ). *А. А. Редозубов, Косарева Г. А.* Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. – 13 с.

Методическое руководство содержит необходимые указания по выполнению индивидуальных домашних заданий, соответствующих программе дисциплины «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ).

© Редозубов А. А., Косарева Г. А., 2020 ©
Уральский государственный горный
университет, 2020

Задание 1. Оценка интенсивности аномалий естественного поля фильтрационной природы

Для двух трехслойных разрезов I и II с плохо проводящим основанием заданы мощности h_1 и h_2 и удельные сопротивления ρ_1 и ρ_2 двух верхних слоев. По промежуточному слою происходит фильтрация подземных вод. Длина участка фильтрации L. Разность потенциалов между его началом и концом в обоих случаях одинакова. В котором случае аномалия естественного поля будет больше? Объясните, почему (сделайте необходимые расчеты).

Воспользовавшись формулой (6.2) в [2], оцените напряженность поля на поверхности земли, полагая длину участка фильтрации равной 1000 м, а разность потенциалов между его началом и концом (внутри слоя) равной 500 мВ. Оцените разность потенциалов, измеряемую в приемной линии MN длиной 50 м. Оцените разность потенциалов между началом и концом участка фильтрации на поверхности земли и сравните её с разностью потенциалов в фильтрующем слое.

Таблица 1

Варианты задания 1

Номер варианта	Разрез I				Разрез II			
	h_1	h_2	ρ_1	**Ошибка! Ошибка связи.**$_2$	h_1	h_2	ρ_1	**Ошибка! Ошибка связи.**$_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	15	120	45	10	10	10	30
2	15	10	30	5	15	15	5	30
3	20	10	5	20	10	25	50	5
4	10	10	50	5	20	15	10	15
5	12	12	3	12	12	12	12	3
6	6	10	30	5	8	8	4	16
7	8	8	40	10	8	10	12	10
8	5	10	40	5	10	10	5	20
9	25	10	15	20	25	10	100	10
10	20	5	15	15	20	5	15	5

Продолжение табл.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	9	20	18	10	9	20	4,5	10
12	20	20	40	10	20	15	10	10
13	20	10	10	10	20	10	60	10
14	14	5	7	6	14	5	70	6
15	10	10	100	5	10	10	10	5
16	20	10	10	20	20	10	80	20
17	20	20	100	5	20	20	10	5
18	5	30	25	5	15	30	7,5	30
19	20	12	10	12	20	12	120	12
20	15	15	5	15	15	15	75	15
21	15	20	75	10	15	20	15	10
22	14	5	10	20	14	15	10	5
23	12	12	60	10	12	12	5	10
24	18	10	6	10	18	10	90	10
25	7	14	35	7	7	14	35	35
26	20	5	10	10	20	5	100	10
27	20	20	160	10	20	20	10	10
28	10	10	80	10	10	10	5	10
29	18	4,5	9	9	18	4,5	45	9
30	16	16	80	8	16	16	8	8
31	26	5	13	5	26	5	52	5
32	30	7	15	7	30	7	90	7
33	25	10	5	5	25	10	50	5
34	5	10	25	5	5	10	15	15
35	17	5	8,5	5	17	5	34	5
36	11	9	44	6	11	9	5,5	6
37	21	6	10,5	6	21	6	42	6
38	6	8	24	12	6	8	9	12
39	15	10	45	5	15	10	10	5
40	20	8	15	8	20	8	200	8
41	7	10	21	5	7	10	21	15
42	28	30	14	6	28	30	3,5	6

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	28	16	7	16	28	16	112	16
44	9	17	90	8,5	9	17	9	8,5
45	17	15	68	5	17	15	8,5	5

Необходимую для выполнения задания информацию смотрите в [2] с. 225 - 228, или [1] с. 41 - 42, или [3] с. 45 - 46.

Задание 2. Расчет и сопоставление интенсивности аномалий $\eta_к$ над изометричными объектами при поверхностной и объемной поляризации

Рассчитать графики над объектами, имеющими форму шара, в случае поверхностной и объемной поляризации. В обоих случаях объекты имеют одинаковые размеры и залегают на одинаковой глубине. Для расчета $\eta_{ка}$ можно использовать формулы (6.35) и (6.41) в [2]. В случае поверхностной поляризации удельное сопротивление объекта можно принять равным нулю, так как для массивных руд оно измеряется долями Ом·метра. Чтобы рассчитать аномалию от объемно-поляризующегося объекта, предварительно определите его поляризуемость по формуле (6.38) в [2]. Расчеты выполните для профиля, проходящего над центром объекта. Длину профиля выберите такой, чтобы на графике были экстремумы противоположного знака по обе стороны объекта. Рассчитывать следует аномальные значения $\eta_{ка}$, а затем прибавить к ним поляризуемость вмещающей среды η_1=2 %. Сравните интенсивности аномалий для случаев поверхностной и объемной поляризации и объясните полученное их соотношение. Кроме графиков $\eta_к$ постройте график $\rho_к$ (E). Для вычислений можно воспользоваться формулой (5.17) в [2] или формулой (6.32), положив в последней λ=0.

При выполнении расчетов во всех случаях необходимо учесть границу раздела «земля – воздух» (некоторые формулы в литературе приведены для безграничной среды). Опишите вид всех графиков.

Таблица 2

Варианты задания 2

Номер вар.	*a*, м	*h*, м	ρ_1, Ом·м	ρ_2, Ом·м	υ, %	λ, м	*Номер* вар.	*a*, м	*h*, м	ρ_1, Ом·м	ρ_2, Ом·м	υ, %	λ, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	100	160	200	60	12	0,3	24	100	160	400	200	12	0,3
2	50	75	100	25	15	0,25	25	90	135	300	90	10	0,2
3	75	150	150	60	10	0,2	26	70	105	200	80	9	0,25
4	100	170	300	100	7	0,15	27	60	120	250	75	10	0,2
5	80	120	250	50	20	0,4	28	80	120	150	60	14	0,3
6	70	110	120	30	16	0,35	29	50	100	100	35	12	0,25
7	90	145	200	65	9	0,1	30	75	150	200	60	13	0,2
8	60	90	140	56	8	0,2	31	90	155	300	75	17	0,3
9	55	90	180	65	6	0,25	32	80	135	250	75	16	0,25
10	110	180	200	60	11	0,15	33	70	120	400	100	15	0,2
11	100	175	100	20	13	0,3	34	60	90	120	40	11	0,15
12	80	145	160	48	12	0,25	35	50	100	100	35	14	0,25
13	75	150	300	75	18	0,35	36	100	150	400	160	12	0,2
14	100	150	400	80	16	0,25	37	80	130	350	140	10	0,2
15	70	120	350	175	20	0,2	38	90	155	300	90	12	0,25
16	80	130	500	250	10	0,1	39	70	120	200	80	13	0,3
17	60	90	250	75	12	0,25	40	60	95	150	60	15	0,25
18	90	180	400	120	14	0,3	41	50	75	100	35	14	0,2
19	100	165	200	80	12	0,2	42	80	145	180	60	13	0,25
20	50	80	250	50	10	0,15	43	75	135	300	120	18	0,3
21	60	100	300	120	9	0,2	44	90	145	250	100	16	0,2
22	70	140	200	80	12	0,25	45	100	165	300	120	15	0,15
23	80	135	100	35	20	0,35	46	50	90	200	80	14	0,2

Примечание. *a* - радиус объекта; *h* - глубина центра объекта; ρ_1 - удельное сопротивление вмещающей среды; ρ_2 - удельное сопротивление объекта; υ - содержание рудной вкрапленности в объекте; λ - коэффициент поверхностной поляризации объекта.

Необходимую для выполнения задания информацию смотрите в [2], с. 245 - 251; с. 182; с. 185 - 186.

Задание 3. Расчет кажущегося сопротивления на поверхности анизотропной среды

Заданы продольное ρ_t и поперечное ρ_n удельные сопротивления анизотропной среды и угол падения слоистости α. Требуется определить продольное $\rho_{кt}$ и поперечное $\rho_{кn}$ кажущиеся сопротивления и кажущийся коэффициент анизотропии $\lambda_к$. Сравните полученные результаты со значениями этих параметров при вертикальном падении слоистости ($\alpha = 90^º$). Сравните отношения $\rho_{кt}/\rho_{кn}$ с отношением ρ_t/ρ_n. Объясните причину различия этих отношений.

Рассчитайте значения кажущегося сопротивления при ориентировке установки под углом 30˚ и 60˚ к простиранию слоистости. Постройте полярную диаграмму $\rho_к$. Рассчитайте отношение осей изолинии потенциала точечного источника. Как соотносятся форма полярной диаграммы $\rho_к$ и форма изолинии потенциала точечного источника?

Таблица 3

Варианты задания 3

Номер вар.	ρ_t Ом·м	ρ_n Ом·м	α град.	*Номер* вар.	ρ_t Ом·м	ρ_n Ом·м	α град.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	100	200	65	24	500	2500	35
2	300	500	50	25	75	750	30
3	200	800	70	26	120	500	65
4	50	300	45	27	220	880	70
5	150	1500	30	28	200	1000	60
6	500	2000	60	29	180	900	50
7	250	1250	50	30	250	2500	45
8	700	2100	75	31	50	250	35
9	80	400	40	32	65	400	75
10	120	600	55	33	80	600	40
11	75	450	45	34	90	400	50
12	30	300	25	35	170	850	55

Окончание табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8
13	60	540	35	36	220	660	70
14	100	500	40	37	500	1500	65
15	200	1200	50	38	350	1000	60
16	90	720	45	39	40	200	45
17	400	2000	60	40	60	360	50
18	350	3500	70	41	200	1800	30
19	600	3000	65	42	250	1500	40
20	100	300	60	43	800	2400	70
21	160	800	55	44	70	500	45
22	240	2400	40	45	110	900	30
23	400	2500	35				

Необходимую для выполнения задания информацию смотрите в [2], с. 292 - 293 и с. 288 - 289 или в [1], с. 177- 178.

Задание 4. Оценка влияния анизотропии на результаты ВЭЗ

Предлагается три типа задания. В первом и третьем типах по результатам интерпретации кривых ВЭЗ и данным об анизотропии горных пород необходимо определить истинные мощности слоев. Во втором типе задания предлагается определить значения коэффициентов анизотропии слоев по результатам интерпретации кривых ВЭЗ и данным бурения.

1-й тип

По заданным мощностям h_1 и h_2 двух верхних слоев трехслойного разреза, определенным при интерпретации ВЭЗ ($h_{ВЭЗ}$), и коэффициентам анизотропии λ_1 и λ_2 определить истинные мощности этих слоев. Построить колонки по данным интерпретации ВЭЗ и по исправленным за влияние анизотропии значениям мощности.

2-й тип

По заданным мощностям двух верхних слоев трехслойного разреза, определенным при интерпретации ВЭЗ ($h_{ВЭЗ}$) и истинным мощностям слоев ($h_{ист.}$), полученным по данным бурения, определить коэффициенты анизотропии слоев. Построить колонки для истинных мощностей слоев и мощностей, определенных по ВЭЗ.

3-й тип

По заданным мощностям двух верхних слоев трехслойного разреза с крутым падением сланцеватости, определенным при интерпретации ВЭЗ ($h_{ВЭЗ}$) и кажущемуся коэффициенту анизотропии $\lambda_к$ определить истинные мощности слоев. Коэффициенты анизотропии всех слоев и углы падения полагать одинаковыми. Построить колонки для истинных мощностей слоев и мощностей, определенных по ВЭЗ.

Таблица 4

Варианты 1-го типа задания 4

Номер вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	λ_1	λ_2	*Номер* вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	λ_1	λ_2
1	25	110	1,3	1,7	25	130	400	1,6	2,3
4	60	300	1,25	1,9	28	90	450	1,3	1,7
7	100	500	1,5	2,0	31	120	500	1,4	1,8
10	150	600	1,4	1,6	34	60	250	1,5	2,5
13	50	250	1,5	2,5	37	100	700	1,8	1,4
16	120	350	1,8	1,3	40	140	800	1,45	1,7
19	80	200	1,3	2,2	43	80	300	1,6	2,4
22	70	150	2,0	1,5	46	150	500	1,8	1,4

Таблица 5

Варианты 2-го типа задания 4

Номер вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{1ист}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ист}$	*Номер* вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{1ист}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ист}$
2	25	15	120	80	26	140	100	800	600
5	100	50	500	300	29	120	90	600	400
8	80	60	200	100	32	100	50	500	400

Окончание табл. 5

Номер вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{1ист}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ист}$	*Номер* вар.	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{1ист}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ист}$
11	120	80	400	200	35	80	60	400	200
14	150	100	600	450	38	60	50	300	200
17	60	40	250	100	41	150	120	600	300
20	50	40	300	200	44	120	60	500	400
23	70	50	150	100	47	60	120	700	350

Таблица 6

Варианты 3-го типа задания 4

Номер варианта	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$\lambda_к$	*Номер* варианта	$h_{1\ ВЭЗ}$	$h_{2\ ВЭЗ}$	$\lambda_к$
3	15	30	1,5	27	30	60	2,0
6	20	50	1,8	30	25	150	2,5
9	16	20	2,0	33	17	85	1,7
12	10	20	1,25	36	20	40	2,0
15	12	25	1,5	39	16	32	1,6
18	14	60	2,0	42	18	54	1,8
21	18	90	1,8	45	10	30	2,0
24	13	65	1,3	48	14	70	1,4

Необходимую для выполнения задания информацию смотрите в [2], с. 294 - 296 или в [3], с. 173 - 174 (1-й и 2-й типы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Матвеев, Б. К.* Электроразведка: учебн. для вузов. – 2-е изд., перераб.и доп. *Б. К. Матвеев.* –М.: Недра, 1990. - 368 с.

2. *Редозубов, А. А.* Электроразведка. Часть 1. Электроразведка постоянным током. Поляризационные методы электроразведки: учебное пособие. *А. А. Редозубов.* – Екатеринбург: УГГГА, 2004. - 327 с.

3. *Якубовский, Ю. В., Ренард И. В.* Электроразведка: учебн. для вузов. – 3-е изд., прераб. и доп. *Ю. В Якубовский., И. В. Ренард*– М.: Недра, 1991. - 359 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Задание 1. Оценка интенсивности аномалий естественного поля фильтрационной природы…….. 3

Задание 2. Расчет и сопоставление интенсивности аномалий $\eta_к$ над изометричными объектами при поверхностной и объемной поляризации…..... 5

Задание 3. Расчет кажущегося сопротивления на поверхности анизотропной среды. 7

Задание 4. Оценка влияния анизотропии на результаты ВЭЗ. 9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 12

Авенир Александрович Редозубов
Гульшат Ахметовна Косарева

Методическое руководство по выполнению индивидуальных заданий по курсу «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

часть 2

Корректура кафедры геофизики

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60х84 1/16. Печать на ризографе.
Печ.л.__ Уч.-изд.л.___ Тираж____экз. Заказ №

издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.
Уральский государственный горный университет

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский государственный горный университет

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

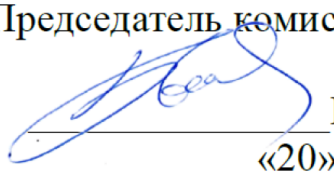
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 3

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности
21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ)

Екатеринбург
2020

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

А. А. Редозубов, Г. А. Косарева

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 3

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка» для студентов
специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки
месторождений полезных ископаемых (РФ)

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

Р33

Рецензент: *В. Е. Петряев*, канд. геол.-мин. наук, доцент
кафедры геофизики УГГУ

Методическое руководство рассмотрено на заседании кафедры и рекомендовано к изданию в УГГУ.

Редозубов А. А., Косарева Г. А.
Р33 ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА. Часть 3: *Редозубов А. А., Косарева Г. А.* Методическое руководство по выполнению индивидуальных заданий по курсу «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ).

Методическое руководство содержит необходимые указания по выполнению индивидуальных домашних заданий, соответствующих программе дисциплины «Электроразведка» для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (РФ). Исходные данные к заданиям включены в руководство.

© Редозубов А. А., Косарева Г. А., 2020
© Уральский государственный горный университет, 2020

Задание 1. Оценка поглощения энергии и длины волны электромагнитного поля в квазипроводниках

Условия распространения переменного электромагнитного поля в среде определяются комплексной величиной, называемой волновым числом. Волновое число зависит от физических свойств среды и частоты поля. Оно определяется выражением

$$k = \omega\sqrt{\mu\dot{\varepsilon}} = \omega\sqrt{\mu\left(\varepsilon + i\frac{\gamma}{\omega}\right)} = a + ib, \qquad (1.1)$$

где $\omega=2\pi f$ - угловая частота;

μ - абсолютная магнитная проницаемость среды;

γ - удельная электропроводность среды;

$\dot{\varepsilon} = \varepsilon + i\frac{\gamma}{\omega}$ - комплексная диэлектрическая проницаемость.

Вещественная a и мнимая b части волнового числа имеют определенный физический смысл. Вещественная часть волнового числа определяет длину волны и скорость распространения поля в среде, от мнимой части зависит поглощение энергии поля средой и, следовательно, скорость затухания поля при удалении от источника.

Поглощение энергии электромагнитного поля средой происходит вследствие тепловых потерь вихревых токов, индуцированных магнитной составляющей поля. Мнимая часть волнового числа представляет собой коэффициент поглощения, которое происходит по закону e^{-br} (r – расстояние, e – основание натурального логарифма). Из-за поглощения энергии средой при удалении от источника поле затухает в e^{br} раз быстрее, чем это происходит только из-за геометрического фактора рассеивания энергии (как происходит в поле постоянного тока). Единицей измерения коэффициента поглощения является непер деленный на метр (Нп/м).

В зависимости от коэффициента поглощения находится глубина

проникновения поля в землю. Для её характеристики введен параметр $\delta = \frac{1}{b}$, называемый глубиной проникновения или толщиной скин-слоя. Он равен мощности слоя, в котором за счёт поглощения энергии поле ослабляется в е раз.

Комплексная диэлектрическая проницаемость $\dot{\varepsilon}$ характеризует способность среды пропускать как токи проводимости, так и токи смещения. Вещественная часть комплексной диэлектрической проницаемости ε определяет способность среды пропускать токи смещения, мнимая часть γ/ω – токи проводимости. От соотношения этих частей зависит соотношение между токами смещения и токами проводимости. Если $\varepsilon >> \gamma/\omega$, мнимой частью комплексной диэлектрической проницаемости можно пренебречь, полагая $\dot{\varepsilon} \approx \varepsilon$. Это означает пренебрежение токами проводимости, которые в данном случае очень малы и, следовательно, в среде практически существуют только токи смещения. Такие среды называются *квазидиэлектриками*. Так как при протекании тока смещения тепловых потерь нет, в квазидиэлектриках коэффициент поглощения можно полагать равным нулю. Типичным квазидиэлектриком является воздух.

Если $\varepsilon << \gamma/\omega$, можно пренебречь вещественной частью $\dot{\varepsilon}$, полагая таким образом, что в среде существует только токи проводимости. Такие среды называются *квазипроводниками*. Так как мнимая часть комплексной диэлектрической проницаемости зависит от частоты поля, одна и та же среда, в зависимости от частоты, может быть или квазипроводником, или квазидиэлектриком, или занимать промежуточное положение между этими крайними случаями. В звуковом диапазоне частот практически все горные породы являются квазипроводниками.

Задание

1. Пользуясь общим выражением волнового числа формула (1.1), найти выражения вещественной и мнимой частей волнового числа для квазипроводника.

2. Для заданных значений электромагнитных параметров среды и частоты найти коэффициенты поглощения.

3. Определить, во сколько раз на заданном расстоянии *r* из-за поглощения энергии средой поле затухает быстрее по сравнению со случаем, когда затухание происходит только за счёт геометрического рассеяния энергии.

4. Определить глубину проникновения поля (толщину скин-слоя).

5. Рассчитать длину волны и скорость распространения поля. Сравнить их со случаем, когда поле распространяется в вакууме (воздухе).

6. Сделать вывод, как зависят рассчитанные величины от удельного сопротивления среды и частоты поля.

Литература по теме задания: [1], с. 8 – 12; [3], с. 52 – 56.

Таблица 1

Исходные данные к заданию

Номер вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м	*Номер* вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м	*Номер* вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м
1	100	1564,8	100	**8**	2000 20	6252,4	100	**15**	40	6254,8	100
2	10	78 0,1	100	**9**	200 5	78	75	**16**	30	6254,8	100
3	500 10	312	50	**10**	250 5	0,1	100	**17**	500 10	625	100
4	1000 10	625	150	**11**	5	156 0,3	50	**18**	750	321 9,8	150
5	20	1569,8	50	**12**	250	625 0,6	100	**19**	1000 10	156	100
6	150	312 1,2	50	**13**	300 12	78	100	**20**	100	312 0,3	200
7	50	156 1,2	25	**14**	2500 20	312	200	**21**	20	78 1,2	100

Окончание табл. 1

Номер вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м	*Номер* вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м	*Номер* вар.	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*r*, м
22	1500 15	156	150	**31**	250 4	19,5	100	**40**	3	78 0,6	50
23	1500 7	312	100	**32**	45	312 0,6	70	**41**	4	125 0,6	75
24	10	39 0,3	150	**33**	25	625 2,4	100	**42**	12	312 0,3	100
25	5	78 0,15	100	**34**	200 4	156	150	**43**	900 9	156	100
26	800 8	125	200	**35**	750 3	312	100	**44**	1200 12	625	100
27	1200 5	125	200	**36**	4	78 0,3	100	**45**	60	1250 4,8	100
28	30	156 9,8	100	**37**	7	125 0,1	50	**46**	25	312 4,8	50
29	10	312 0,3	100	**38**	800 4	156	100	**47**	1000 6	78	100
30	1500 10	1250	100	**39**	75 3	125	50	**48**	1200 3	125	100

Примечание. Принять магнитную проницаемость среды $\mu=\mu_0$.

Задание 2. Построение и интерпретация кривой магнитотеллурического зондирования

В магнитотеллурическом зондировании (МТЗ) изучается естественное переменное электромагнитное поле. Магнитную компоненту образуют вариации магнитного поля Земли. Электрическую компоненту образуют индуцированные магнитными вариациями вихревые токи. В качестве фундаментальной модели, на которой основывается интерпретация результатов

МТЗ, принимается модель Тихонова – Каньяра. В этой модели магнитотеллурическое поле аппроксимируется плоской волной, распространяющейся вертикально сверху вниз, а геоэлектрический разрез полагается горизонтально-слоистым.

Глубина проникновения поля в землю зависит от его частоты. Поэтому, выполняя измерения при разных частотах, можно получить информацию об электрических свойствах горных пород на различной глубине, аналогично тому, как это делается при электрическом зондировании на постоянном токе. Только в отличие от зондирования на постоянном токе, где глубина исследования зависит от размера установки, в МТЗ параметром, контролирующим глубину исследования, является частота (период) вариаций. Практически, чтобы получить результаты измерений при разных периодах вариаций, производят непрерывную регистрацию поля в течение некоторого времени, обычно несколько часов.

Так как интенсивность магнитотеллурического поля непрерывно меняется, чтобы исключить влияние колебаний уровня поля измеряют обе компоненты – электрическую и магнитную, а затем вычисляют их отношение, называемое *импедансом*:

$$\dot{Z} = \frac{\dot{E}}{\dot{H}}, \qquad (2.1)$$

где $\dot{E}$ – напряженность электрического поля;

$\dot{H}$ – напряженность магнитного поля.

По измеренному значению импеданса рассчитывают кажущееся сопротивление, которое в МТЗ обозначают символом ρ_T. Импеданс, как и напряженности компонент поля, комплексная величина. Для вычисления кажущегося сопротивления можно использовать модуль импеданса или его фазу. *Фаза импеданса* – это разность фаз напряженностей электрического и магнитного полей.

Измерение напряженности электрического поля производят с помощью двух взаимно перпендикулярных заземленных приемных линий. Для измерения напряженности магнитного поля используют два магнитометра, измеряющих горизонтальную составляющую. Ориентировка магнитометров должна совпадать с ориентировкой приемных линий. Такая методика позволяет определить величину и направление напряженности в любой момент времени.

Вычисления кажущегося сопротивления по амплитудным значениям E и H производится по формуле

$$\rho_T = 0{,}2T|\dot{Z}|^2. \qquad (2.2)$$

Для вычисления импеданса по этой формуле напряженность электрического поля E выражают в мВ/км, напряженность магнитного поля – в нанотеслах. Так как кроме горизонтальной слоистости обычно существует и неоднородность среды в горизонтальном направлении, модуль импеданса зависит от ориентировки поля в момент измерения. Поэтому при вычислении $\rho_т$ обычно используют эффективный импеданс $|\dot{Z}_{эф.}|$, имеющий смысл среднего геометрического значения модуля импеданса для различных ориентировок поля.

По вычисленным значениям ρ_T строят кривую зондирования в логарифмическом масштабе. По оси абсцисс откладывают $\sqrt{T}$, по оси ординат - ρ_T. Построение кривой МТЗ, как зависимости ρ_T. от $\sqrt{T}$, а не от T, вызвано тем, что глубина исследования пропорционально $\sqrt{T}$ (см. [1, с. 29]). Кривые МТЗ качественно имеют вид, подобный кривым ВЭЗ, и образуют те же типы. Их интерпретация в принципе также аналогична интерпретации кривых ВЭЗ. Отличием от кривых зондирования на постоянном токе является наличие интерференционного экстремума в начальной части кривых (если измерения выполнены начиная с достаточно малых периодов). Если опорный горизонт имеет очень большое сопротивление, кривые МТЗ также входят на прямолинейную асимптоту. Только асимптота кривых МТЗ в этом случае образует с осью $\sqrt{T}$ угол 63º25′, а не 45º, как у кривых ВЭЗ.

В случае высокого сопротивления опорного горизонта по асимптоте кривой зондирования можно определить суммарную продольную проводимость S надопорной толщи. Для этого асимптота продолжается до оси $\sqrt{T}$ и при ρ_T =1 Ом·м определяется координата точки пересечения асимптоты с осью $\sqrt{T_s^{(1)}}$ (рис. 2.1). Продольная проводимость разреза

$$S = 356\sqrt{T_s^{(1)}}\,. \qquad (2.3)$$

Величину $\sqrt{T_s}$ можно определить и при любом другом значении $\rho_т$. Например, если она определена при ρ_T=10 Ом·м ($\sqrt{T_s^{(10)}}$), продольная проводимость надопорной толщи

$$S = 114\sqrt{T_s^{(10)}}\,. \qquad (2.4)$$

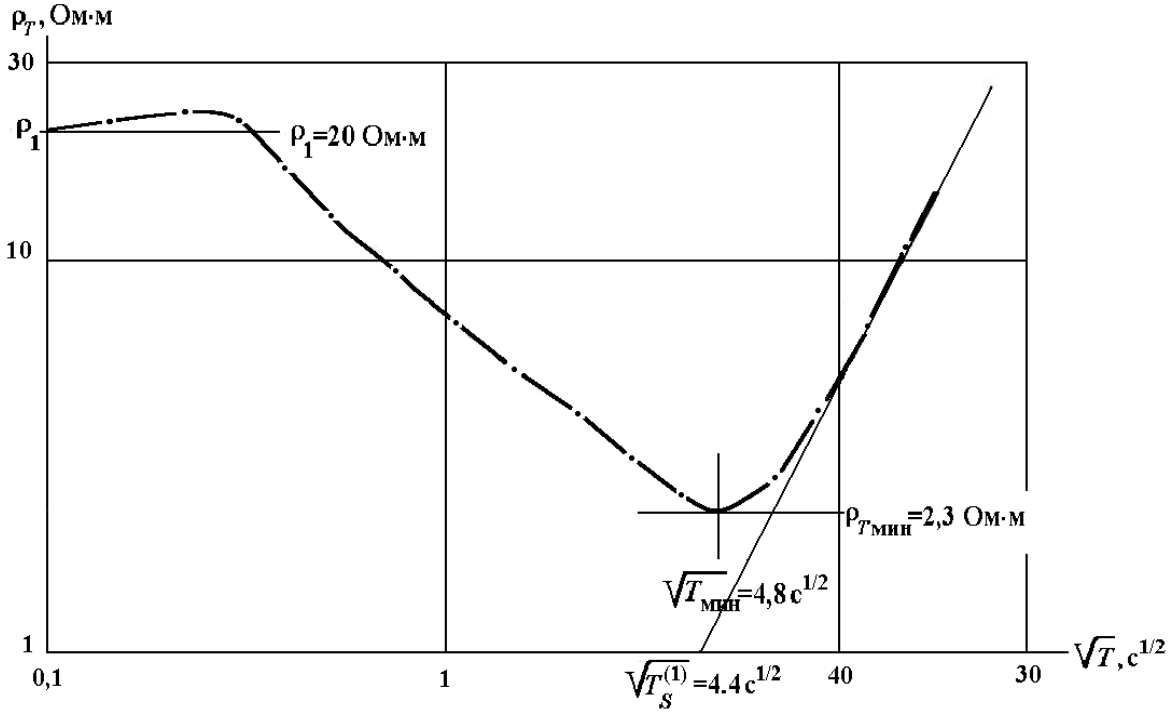


Рис. 2.1. Пример кривой МТЗ для разреза с бесконечно большим сопротивлением нижнего слоя

Когда кривая МТЗ имеет четко выраженный минимум и его координаты определяются достаточно точно, приближенное значение S можно найти по формуле

$$S \approx 520 \sqrt{T_{\text{мин}} / \rho_{T\text{мин}}}\,, \qquad (2.5)$$

где $T_{\text{мин}}$ и $\rho_{T\,\text{мин}}$ – значения T и ρ_T в точке минимума.

Этот способ дает удовлетворительные результаты, если относительное влияние вышележащих слоев на область минимума кривой небольшое и координаты точки минимума определяются главным образом параметрами проводящего слоя. Такие условия существуют, когда мощность проводящего слоя значительно превышает мощность вышележащей толщи, и в этой толще нет слоев с высоким удельным сопротивлением. При получении значительной разницы между значениями *S*, полученными двумя способами, предпочтение следует отдавать способу определения *S* по асимптоте, как более точному.

Если есть данные о среднем продольном удельном сопротивлении надопорной толщи $\rho_{t\,\text{ср}}$, можно от продольной проводимости перейти к глубине до опорного горизонта:

$$H = \rho_{t\,\text{ср}} \cdot S. \qquad (2.6)$$

Когда мощность хорошо проводящего слоя достаточно велика, за приближенное значение $\rho_{t\,\text{ср}}$ можно принять величину ρ_T в точке минимума. Конечно, точность определения глубины до опорного горизонта в этом случае будет ниже. Погрешность определения *H* будет тем больше, чем меньше относительная мощность проводящего слоя. Большая разница значений *S*, полученных двумя способами, как уже указывалось, свидетельствует о сильном влиянии на кривую в области минимума вышележащих пород. Очевидно, в этом случае использовать значение ρ_T в точке минимума для оценки глубины до опорного горизонта не следует.

Рассмотрим интерпретацию кривой МТЗ, приведенной на рис. 2.1. Кривая четырехслойная типа QH. Начальная асимптота кривой ρ_T =20 Ом·м определяет удельное сопротивление первого слоя. Конечная асимптота наклонена под углом 63,5º, что указывает на весьма большое, практически бесконечное удельное сопротивление нижнего слоя (опорного горизонта). Асимптота к конечной ветви кривой пересекает ось периодов при ρ_T =1 Ом·м в

точке с координатой $\sqrt{T_s^{(1)}}$ =4,4$c^{½}$. Следовательно, продольная проводимость надопорной толщи

$$S = 356\sqrt{T_s^{(1)}} = 356 \cdot 4{,}4 = 1566 \text{ См.}$$

Кривая имеет четкий минимум с координатами $\sqrt{T_{\text{мин}}} = 4{,}8c^{½}$ и $\rho_{T\text{мин}}$=2,3 Ом·м. Продольная проводимость, определенная по координатам точки минимума кривой МТЗ

$$S = 520\sqrt{T_{\text{мин}} / \rho_{T\text{мин}}} = 520\frac{4{,}8}{\sqrt{2{,}3}} = 1646 \text{ См.}$$

Таким образом, в рассматриваемом случае разница в определении S двумя способами составляет 5,1 %.

Приняв значение $\rho_т$ в точке минимума за среднее продольное удельное сопротивление надопорной толщи, оценим глубину залегания опорного горизонта:

$$H = \rho_{t\text{ср}} \cdot S \approx \rho_{T\text{мин}} \cdot S = 2{,}3 \cdot 1566 = 3660 \text{ м.}$$

Задание

1. По заданным значениям $|Z_{\text{эф.}}|$ рассчитать значения кажущегося сопротивления ρ_T.

2. Построить кривую МТЗ в логарифмическом масштабе со стандартным модулем (62,5 мм). Определить тип кривой МТЗ. Определить удельное сопротивление верхнего и нижнего слоев разреза. Объяснить причину появления небольшого экстремума при малых значениях периода.

3. Провести асимптоту к конечной ветви кривой МТЗ и определить координату её пересечения с осью периодов при ρ_T=1 Ом·м или ρ_T=10 Ом·м. Найти продольную проводимость надопорной толщи. Проводить асимптоту необходимо возможно точнее, так как от этого зависит точность определения S. Лучше всего угол 63º25′строить по его тангенсу, который равен 2.

4. Определить S по $\rho_{T\text{мин}}$ и $T_{\text{мин}}$ и сравнить со значением, полученным по асимптоте. Оценить относительное расхождение результатов, полученных этими двумя способами.

5. Оценить примерную глубину до опорного горизонта, приняв за $\rho_{t\text{ср}}$ значение ρ_T в точке минимума.

Литература по теме задания: [1], с. 36, с. 42 - 43.

Задание 3. Приближенное построение аномалии от проводящего объекта в индуктивных методах

В низкочастотных индуктивных методах измеряется э. д. с, наведенная в приемном контуре (петле значительных размеров или небольшой многовитковой рамке) переменным магнитным полем. Магнитное поле создается током, пропускаемым по другому контуру, – генераторному. Поле, создаваемое током в генераторном контуре, называется *первичным* (H_1). Если в объеме, в котором возбуждено первичное поле, находится проводящий объект, в нем возбуждается вихревой ток, создающий вторичное поле (H_2). Отклонения от первичного поля представляют собой аномалии, по которым можно установить наличие объектов. Такие аномалии называются *вихревыми*. Они имеют наибольшее значение в рудной электроразведке. Кроме вихревых, существуют и другие типы аномалий (см. [2, с. 5 - 7]). Результаты низкочастотных методов представляют в виде отношения H_2/H_1, представляющего собой не что иное, как относительную интенсивность аномалии. Обычно эту величину измеряют в процентах.

Рассмотрим механизм формирования вихревой аномалии на примере наклонного проводящего пласта в однородном первичном магнитном поле H_1. Пусть верхняя кромка пласта располагается на глубине h_1. Длина пласта по падению d равна $3{,}6h_1$, угол наклона 34º. Тогда нижняя кромка пласта

располагается на глубине $h_2=3h_1$. Первичное поле H_1 ориентируем вертикально, в рассматриваемый момент времени снизу вверх (рис. 3.1). Практически близкое к однородному вертикальное первичное поле создается в средней части генераторной петли, лежащей на поверхности земли.

В проводящем пласте первичное поле возбуждает вихревой ток. Так как мощность пласта мала, вихревой ток растекается в плоскости пласта. В первом приближении вихревые токи в пласте можно аппроксимировать двумя линейными токами, текущими вдоль кромок пласта. Направление токов

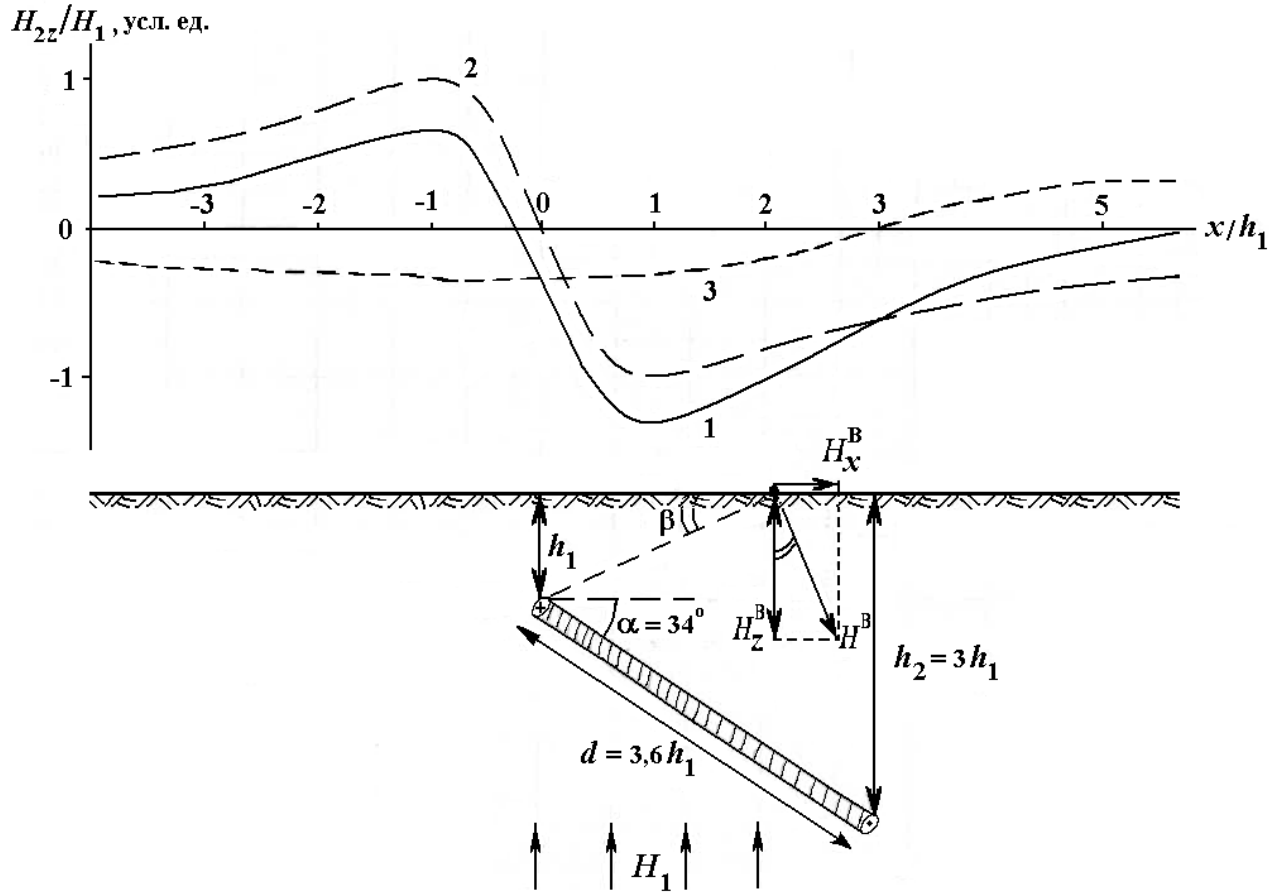


Рис. 3.1. Пример приближенного построения графика над H_{2z} над наклонным пластом:
1 – график H_{2z} от пласта; 2 – график H^B_z от верхнего линейного тока;
3 – то же от нижнего линейного тока

определяется по правилу левого винта. В нашем случае вдоль верхней кромки пласта ток течет от нас, вдоль нижней кромки – к нам. Полагая, что по простиранию длина пласта достаточно велика, можно пренебречь влиянием токов, текущих вдоль боковых кромок и рассматривать аномалию от пласта,

как сумму полей от линейных токов, совмещенных с верхней и нижней кромками.

По закону Био - Савара магнитное поле длинного линейного тока описывается уравнением $H=I/r$, где I – сила тока, r – расстояние от тока до точки наблюдений. Полагая $I=1$, в нашем случае напряженность магнитного поля тока, текущего по верхней кромке пласта, $H^{\text{В}} = 1/\sqrt{x^2 + h_1^2}$. По правилу правого винта поле ориентировано по направлению движения часовой стрелки, т. е. справа от верхней кромки пласта сверху вниз, слева – снизу вверх. Вертикальная компонента поля верхнего тока

$$H_z^{\text{В}} = H^{\text{В}} \cos\beta = H^{\text{В}} \frac{x}{\sqrt{x^2 + h_1^2}} = \frac{x}{x^2 + h_1^2}, \qquad (3.1)$$

где β - угол между направлением из точки наблюдений на верхнюю кромку пласта и горизонталью (см. рис. 3.1). График $H_z^{\text{В}}$ переходит через нуль над верхней кромкой пласта и имеет экстремумы, отстоящие от точки перехода через нуль на расстояние, равное h_1. Таким же образом можно построить график напряженности магнитного поля тока, текущего по нижней кромке пласта. При этом надо учесть, что глубина до этого тока h_2 в нашем примере в 3 раза больше. Соответственно, в это же число раз уменьшается и напряженность поля. Изменяется и направление поля, так как ток вдоль нижней кромки пласта имеет противоположное направление (см. рис. 3.1).

Просуммировав напряженности магнитного поля верхнего и нижнего токов, получим график напряженности вторичного поля от пласта. Для наклонного пласта аномалия H_{2z} знакопеременная, с переходом через нуль, смещенным относительно верхней кромки в сторону восстания пласта. Над пластом аномалия отрицательная, со стороны восстания пласта – положительная, имеющая меньшую интенсивность (см. рис. 3.1).

Таким же образом можно найти вид аномалии горизонтальной составляющей поля H_{2x}, а также для случая горизонтальной или наклонной ориентировки первичного поля.

В методе переходных процессов, в котором изучается неустановившееся поле, возбужденное импульсом постоянного тока в генераторной петле, аномалия имеет точно такой же вид, но имеет противоположный знак (см. [2, с. 76 -77]). Поэтому для построения графиков э. д. с. ε, индуцированной в приемной рамке, можно воспользоваться рассмотренным приемом, изменив только направление линейных токов в кромках пласта.

Задание

1. Аппроксимировать вихревые токи, возбужденные в проводящем пласте с заданными параметрами, двумя линейными токами, протекающими вдоль верхней и нижней кромок пласта. Определить направление токов при заданном направлении первичного поля.

2. Рассчитать вертикальные и горизонтальные составляющие напряженности магнитного поля линейных токов. Построить графики H_z и H_x линейных токов.

3. Построить графики для вертикальной и горизонтальной составляющих аномалии от пласта, выполнив графическим способом сложение полей от линейных токов. При построении графиков H_2/H_1 принять первичное поле H_1=1. Под графиками показать модель, для которой выполняется расчет, указав направление линейных токов.

4. Построить графики э. д. с., индуцированной в приемной рамке в методе переходных процессов. Для этого надо только изменить направление линейных токов и, соответственно, изменить знак аномалии.

5. Описать вид графиков для низкочастотного и неустановившегося поля, отметив их характерные особенности.

Литература по теме задания: [2, с. 5 – 7, с. 9 – 14, с. 45, с. 48, с. 76 - 77].

Таблица 3

Исходные данные к заданию

Номер вар.	h_1, м	*d*, м	α°	Ориентир. H_1	*Номер* вар.	h_1, м	*d*, м	α°	Ориентир. H_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20	80	20	Вертик.	6	100	500	40	Горизонт.
2	20	80	20	Горизонт.	7	20	80	30	Вертик.
3	50	200	30	Вертик.	8	20	80	30	Горизонт.
4	50	200	30	Горизонт.	9	50	200	40	Вертик.
5	100	500	40	Вертик.	10	50	200	40	Горизонт.
11	100	500	50	Вертик.	30	30	150	20	Горизонт.
12	100	500	50	Горизонт.	31	100	600	40	Вертик.
13	30	150	30	Вертик.	32	100	600	40	Горизонт.
14	30	150	30	Горизонт.	33	40	200	20	Вертик.
15	50	250	20	Вертик.	34	40	200	20	Горизонт.
16	50	250	20	Горизонт.	35	50	300	60	Вертик.
17	100	800	20	Вертик.	36	50	300	60	Горизонт.
18	100	800	20	Горизонт.	37	40	300	40	Вертик.
19	20	150	60	Вертик.	38	40	300	40	Горизонт.
20	20	150	60	Горизонт.	39	60	250	45	Вертик.
21	50	200	45	Вертик.	40	60	250	45	Горизонт.
22	50	200	45	Горизонт.	41	75	300	30	Вертик.
23	100	500	30	Вертик.	42	75	300	30	Горизонт.
24	100	500	30	Горизонт.	43	40	250	45	Вертик.
25	30	200	45	Вертик.	44	40	250	45	Горизонт.
26	30	200	45	Горизонт.	45	75	250	25	Вертик.
27	40	250	30	Вертик.	46	75	250	25	Горизонт.
28	40	250	30	Горизонт.	47	60	300	25	Вертик.
29	30	150	20	Вертик.	48	60	300	25	Горизонт.

Задание 4. Определение условий применения дистанционного индукционного зондирования

Изменение глубины исследования в дистанционных индукционных зондированиях достигается путем изменения расстояния между источником поля и точкой измерения, так же, как при зондированиях на постоянном токе. Измерения при всех размерах установки выполняются на одной частоте. Преимуществом индукционных зондирований является возможность изучения разреза под экранами. Кроме того, так как измерение поля выполняется индуктивным способом, отпадает необходимость устройства заземлений. Последнее важно при сложных условиях заземления (мерзлота, лед, асфальтовые и бетонные покрытия, каменные осыпи). Способ возбуждения может быть любым, но обычно используется тоже индуктивный способ.

Максимальный размер установки должен быть таким, чтобы обеспечивалась необходимая глубина исследования. Обычно он должен быть в 4–6 раз больше глубины до опорного горизонта. Частота поля должна быть такой, чтобы при самом большом разносе соблюдались условия ближней зоны, так как за её пределами дистанционное зондирование невозможно. В качестве условия ближней зоны в дистанционном зондировании принимают соотношение

$$r \le 0{,}1\lambda \approx 316\sqrt{\rho_{ср} / f}\ , \qquad (4.1)$$

где $\rho_{ср}$ – среднее удельное сопротивление надопорной толщи.

Воспользовавшись этим соотношением можно определить максимальную допустимую частоту при заданном размере установки или максимальный размер установки, допустимый при заданной частоте.

Задание

1. Определить необходимый максимальный размер установки для проведения дистанционных индукционных зондирований в заданных геоэлек-

трических условиях.

2. а) определить максимальную частоту, при которой возможны дистанционные зондирования при этих условиях; б) определить максимальную глубину, до которой возможно изучение разреза при заданной частоте.

Литература по теме задания: [1], с. 75 - 77; [3], с. 283 - 284.

Таблица 4

Исходные данные к заданию

Номер вар.	*H*, м	ρ, Ом·м	*f*, Гц	*Номер* вар.	*H*, м	ρ, Ом·м	*f*, Гц	Номер вар.	*H*, м	ρ, Ом·м	*f*, Гц
1 а	25	40	-	2 а	30	25	-	3 а	25	10	-
б			78	б			125	б			125
4 а	50	75	-	5 а	45	50	-	6 а	20	80	-
б			625	б			375	б			125
7 а	100	250	-	8 а	80	120	-	9 а	40	25	-
б			1125	б			625	б			225
10 а	60	90	-	11 а	20	50	-	12 а	15	75	-
б			1250	б			125	б			375
13 а	75	50	-	14 а	30	45	-	15 а	35	50	-
б			375	б			78	б			
16 а	25	35	-	17 а	30	65	-	18 а	50	120	-
б			78	б			125	б			1125
19 а	30	450	-	20 а	40	1500	-	21 а	35	90	-
б			375	б			1125	б			78
22 а	30	85	-	23 а	45	110	-	24 а	15	50	-
б				б			2500	б			312
25 а	20	800	-	26 а	70	55	-	27 а	65	180	-
б			640	б			640	б			1280
28 а	15	65	-	29 а	25	120	-	30 а	55	85	-
б			312	б			78	б			1280
31 а	20	65	-	32 а	55	70	-	33 а	80	650	-
б			156	б			640	б			2500
34 а	60	160	-	35 а	20	25	-	36 а	30	15	-
б			1280	б			78	б			640
37 а	15	10	-	38 а	25	20	-	39 а	40	65	-
б			78	б			640	б			1280
40 а	40	180	-	41 а	50	60	-	42 а	70	120	-
б			78	б			640	б			1280
43 а	65	120	-	44 а	35	30	-	45 а	45	40	-
б			2500	б			640	б			312
46 а	35	40	-	47 а	50	800	-	48 а	15	15	-
б			1125	б			312	б			78

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Редозубов, А. А.* Конспект лекций по электроразведке переменным током. Часть 1. Общие сведения о переменных электромагнитных полях. Магнитотеллурические методы и электромагнитные зондирования: учебное пособие. *А. А. Редозубов.* Екатеринбург: Издательство Уральской государственной горно-геологической академии, 1997. - 94 с.

2. *Редозубов, А. А.* Конспект лекций по электроразведке переменным током. Часть 2. Индуктивные методы электроразведки: учебное пособие. *А. А. Редозубов.* Екатеринбург: Издательство Уральской государственной горно-геологической академии, 1999. - 106 с.

3. *Якубовский, Ю. В., Ренард, И. В.* Электроразведка: учебник для вузов. 3-е изд., прераб. и доп. *Ю. В. Якубовский, И. В. Ренард.* М.: Недра, 1991. - 359 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Задание 1. Оценка поглощения энергии и длины волны электромагнитного поля в квазипроводниках …… 3

Задание 2. Построение и интерпретация кривой магнитотеллурического зондирования …….. 6

Задание 3. Приближенное построение аномалии от проводящего объекта в индуктивных методах ……. 12

Задание 4. Определение условий применения дистанционного индукционного зондирования …….. 17

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ …… 19

Авенир Александрович Редозубов
Гульшат Ахметовна Косарева

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Часть 2

Методическое руководство
по выполнению индивидуальных заданий
по курсу «Электроразведка»
для студентов специальности 21.05.03 Технологии геологической разведки
специализации Геофизические методы поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых (РФ)

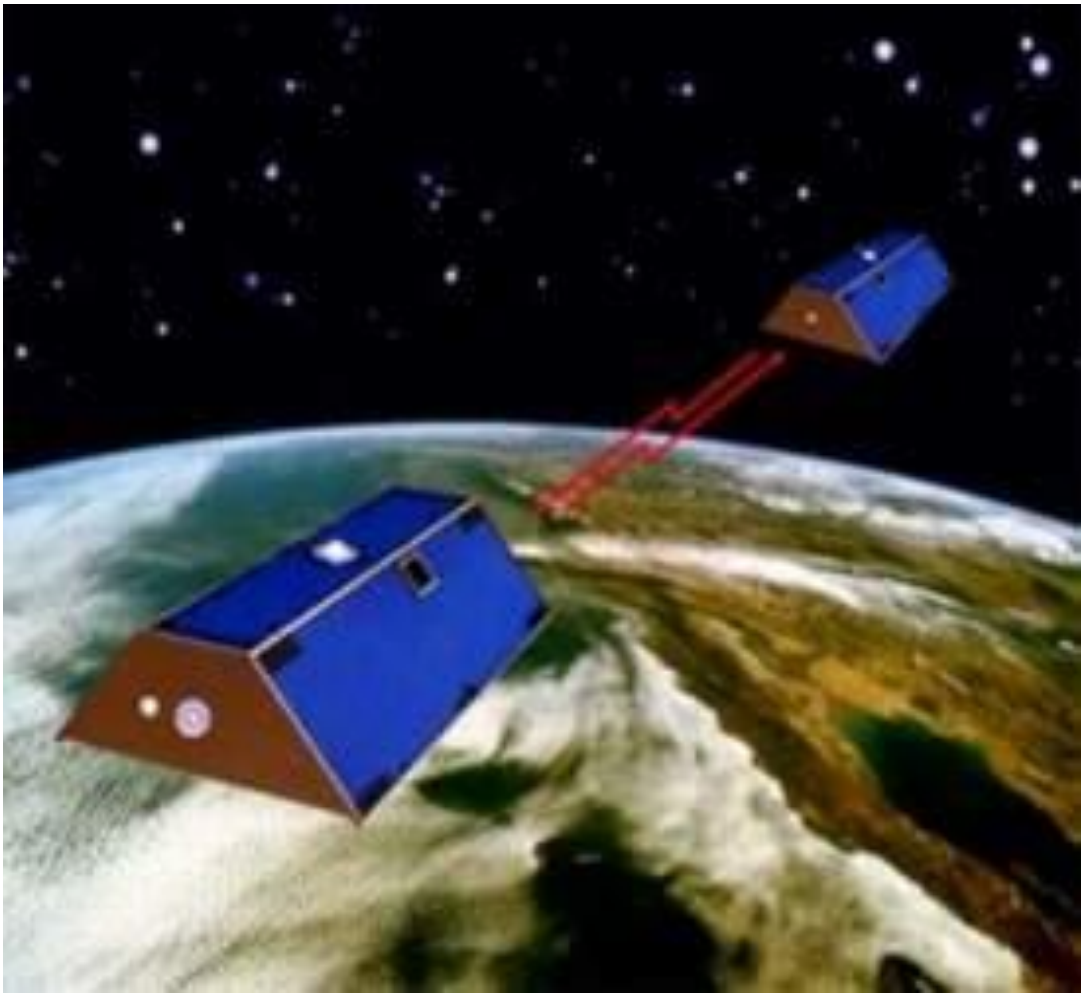
Редактор В. В. Баклаева

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат бумаги 60x84 1/16.
Гарнитура Times New Roman Печать на ризографе.
Печ. л . Уч.-изд. л. Тираж экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

В.Б. Виноградов, Л.А. Болотнова

ГРАВИМЕТРЫ

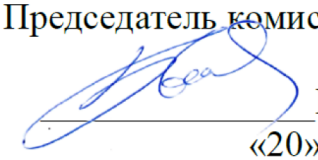


Екатеринбург, 2020

Для современных измерений гравитационного поля используются космические технологии. В конце февраля 2002 года российская ракета «Рокот» вывела на околоземную орбиту два одинаковых спутника GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) (рисунок на обложке). Спутники располагаются на одной и той же орбите на расстоянии 180 км друг от друга. Если первый спутник окажется над районом, где гравитационное поле чуть больше, то он немного притянется к Земле и расстояние между спутниками чуть-чуть увеличится. Расстояние между спутниками измеряется с точностью до 1 микрона, что позволяет обнаружить минутную флуктуацию гравитационного поля. На составление полной карты гравитационного поля Земли требуется один месяц. Спутники должны были летать 5 лет.

В результате подъема магмы из нижних частей земной коры к поверхности на поверхности величина ускорения свободного падения изменится. Это вызовет изменение высоты орбиты спутника GRACE. Аналогичные изменения орбиты будут наблюдаться над районами землетрясений. Таким образом, с помощью спутников GRACE осуществляется контроль за геодинамическими процессами, происходящими в недрах Земли.

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие…….4
Историческая справка……5….
1. Гравиметры для абсолютных измерений силы тяжести……..8
1.1 Маятниковые гравиметры……..8
1.2 Баллистические гравиметры……
2.Гравиметры для относительных измерений силы тяжести……
2.1 Маятниковые гравиметры……
2.2 Гравиметры с кварцевой чувствительной системой…….
2.3 Гравиметры с металлической чувствительной системой…….
2.4 Инерциальные гравиметры……
2.5 Криогенные гравиметры……
2.6 Струнные гравиметры……..
3. Скважинные гравиметры……..
4. Вариометры и градиентометры…….
Заключение……
Библиографический список……

Предисловие

В пособии описаны принципы работы маятниковых, баллистических, кварцевых, струнных и криогенных гравиметров, применяемых в настоящее время на производстве и в научных исследованиях. Подробнее чем другие приборы рассмотрены гравиметры ГНУК-С, L&R и CG-5, так как в настоящее время эти приборы чаще всего применяются для измерений на полевых работах. Пособие предназначено для студентов геофизических специальностей, но может использоваться студентами геологических и других специальностей при изучении дисциплин «Разведочная геофизика», «Полевая геофизика», «Прикладная геофизика» и др.

Мы благодарим Ю.М. Зюзина и А.С. Долгаля за помощь в работе и предоставленные материалы, а также В.И. Костицина, чьи замечания и советы способствовали улучшению содержания пособия. Существенную помощь оказали нам студенты геофизических специальностей ФГиГ УГГУ.

Мы сознаем, что идеального ничего в реальной жизни не бывает. Замечания по тексту просим направлять: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30,УГГУ, ФГиГ, кафедра геофизики.

Историческая справка

С начала XX века до нашего времени наша страна занимает одно из ведущих мест в гравиметрии и гравиразведке. Ей принадлежат выдающиеся достижения, которые в ближайшее время не могут быть превзойдены ни кем: мировая морская съемка, гравиметровая съемка масштаба 1:200000 огромной территории Советского Союза и другие. Эти результаты достигнуты благодаря достижениям отечественного приборостроения.

Первым в Росіи измерениями силы тяжести занимался М.В. Ломоносов. В 1764 г. он построил пружинный гравиметр с вращательным перемещением системы. В качестве упругого элемента он использовал стальную спиральную пружину от больших часов. Он же предложил идею газового гравиметра. Первый маятниковый прибор в Росіи был установлен в саду М.В. Ломоносова, который, к сожалению, не успел опубликовать результаты своих исследований.

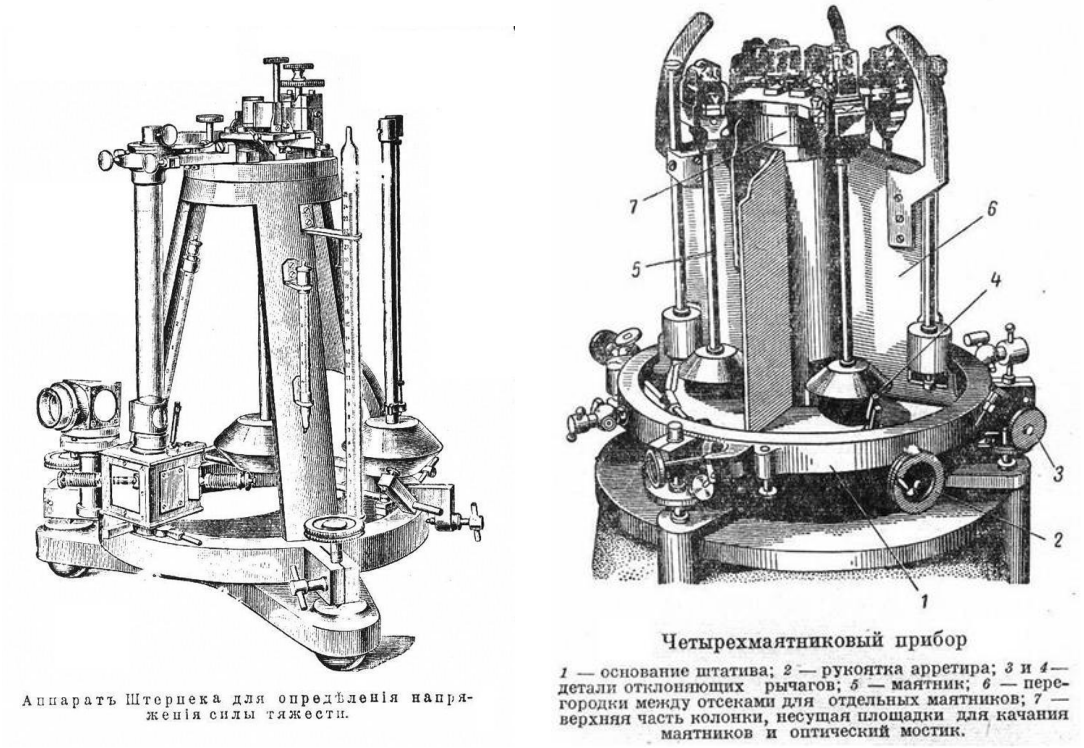
Первый гравиметрический пункт в России – Петропавловск-Камчатский был определен во время кругосветного путешествия под руководством Федора Петровича Литке в 1828 г. С 1896 по 1917 на территории нашей страны маятниковыми приборами были определены более 400 пунктов. Первые измерения с транспортабельным маятниковым прибором Штернека – Штюкарта проведены в России в 1896 г. (рис. 1). Первые работы с вариометрами проведены П.М. Никифоровым в 1912 г.

Первые гравиразведочные работы в СССР с целью поисков полезных ископаемых проведены в 1921 г. под руководством П.М. Никифорова и А.А. Михайлова. Работы с маятниковыми приборами Штюкарта и вариометрами проведены в районе Курской магнитной аномалии. Истолкованием материалов занимался О.Ю. Шмидт, впоследствии известный полярник и автор гипотезы образования Земли. В 1926 г. начались гравиметрические работы с целью изучения месторождений калийно-магниевых солей в Соликамском районе

Первые отечественные маятниковые гравиметры были созданы в 1927 г. Астрономическом институте (Ленинград). В 1932 г. Постановлением Совета Труда и Обороны было предписано проведение гравиметровой съемки всей страны, инициатором которого был А.А. Михайлов. Всего должно было быть определено 18000 гравиметрических пунктов. Вскоре число пунктов измерения силы тяжести в год в нашей стране превысило число таких пунктов во всех остальных странах вместе взятых. В 1939 г. была закончена гравиметрическая съемка европейской части СССР.

В 1935 г. С.К. Гириным, А.А. Поповым, М.А. Садовским, Д.Г. Успенским опубликован первый в СССР учебник для вузов «Курс гравитационной разведки», в котором был обобщен накопленный к тому времени опыт. В середине 30-х годов в связи с созданием гравиметрической карты страны в ГАИШ (Государственный астрономический институт имени Павла Карловича Штернберга) изготовляли четырехмаятниковые гравиметры по проекту Л.В. Сорокина.

Леонид Васильевич Сорокин (1886 – 1954) наш первый «морской» гравиразведчик Он является автором второго учебника по гравиразведке в нашей стране (издания 1941, 1950, 1953 гг.). С 1929 по 1939 гг. он проводил измерения на подводной лодке в Черном, Каспийском, Охотском, Японском морях и на Ледовитом океане. Для морских измерений Л. В. Сорокин использовал маятниковый прибор. Измерения на надводном судне впервые в Каспийском море в 1935 г. выполнил В.В. Федынский (1908 -1978), возглавлявший в 60- 70 годы XX века геофизическую службу Советского Союза. Морские гравиметрические работы в 70-е годы XX века стали самостоятельным направлением в геофизике, обеспечивающие, в том числе, космические исследования. Интересной особенностью морской гравиразведки является одновременные комплексные измерения силы тяжести гравиметрами разных типов, что позволяет эффективно избавляться от помех.



Аппаратъ Штернека для опредѣленія напряженія силы тяжести.

Четырехмаятниковый прибор

1 — основание штатива; *2* — рукоятка арретира; *3* и *4* — детали отклоняющих рычагов; *5* — маятник; *6* — перегородки между отсеками для отдельных маятников; *7* — верхняя часть колонки, несущая площадки для качания маятников и оптический мостик.

Рис. 1 Маятниковые приборы Штернека (а) и Штюкарта (б)

Только в 1953 г. была решена государственная задача аппаратурного обеспечения отечественной гравиметрии и ее независимости от иностранных производителей. Первый серийный гравиметр ГАК-3М создан во ВНИИГеофизике под руководством Константина Евгрфовича Веселова (1921 – 2004). Прибор обеспечивал точность измерений 0,2 – 0,3 мГал. В дальнейшем выпускались приборы ГАК-4М, ГАК-ПТ, ГАК-7Т. Гравиметры типа ГАК выпускались на семи заводах в течение 40 лет. К.Е. Веселов обосновал возможность измерений силы тяжести на качающемся корабле и летящем самолете. Он же предложил способ измерения в движении демпфированным гравиметром. К.Е. Веселов автор двух учебников по гравиразведке.

Применение гравиметров существенно упростило процесс измерений и резко повысило производительность, вследствие чего в 1968 г. был прекращен выпуск вариометрической аппаратуры. В 1950 г. за разработку кварцевого гравиметра Поддубному, Самсонову и Серову присуждена Сталинская премия. В 1951 г. За разработку пружинных гравиметров для геофизической разведки была присуждена Сталинская премия (ныне премия Президента) Сорокине Л.В., Молоденскому С.М., Федынскому В.В., Лозинской А.М., Калишевой Л.В., Сажиной Н.Б.

В 1969 г. в Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР под руководством Глеба Петровича Арнаутова – специалиста по измерению силы тяжести лазерным интерферометрическим способом, разработан транспортабельный баллистический гравиметр ГАБЛ. Под его руководством в нашей стране и за рубежом созданы гравиметрические пункты для изучения неприливных изменений силы тяжести. Появление гравиметра ГАБЛ и его американского аналога JILLA (разработчики Фаллер и Хэммонд) повлекли поистинне революционные изменения в гравиметрии, например, повсеместное изменение абсолютных значений силы тяжести на 14 мГал в 1971 г., резкое увеличение числа пунктов с известным абсолютным значением силы тяжести.

С 1989 года на производстве появились отечественные и зарубежные компьютеризированные гравиметры. В настоящее время в нашей стране их серийное изготовление не проводится.

Существенный вклад в разработку гравиметров нашей страны внесли Сорокин Л.В., Молоденский С.М., Федынский В.В., Лозинская А.М., Калишева Л.В., Лукавченко П.И., Сажина Н.Б., Петров Л.В., Самсонов Н.Н., Поддубный С.А., Веселов К.Е.. Методика полевых работ с кварцевыми гравиметрами разработана сотрудниками Пермского государственного университета и Свердловского горного института И.К. Маловичко, В.И. Костицыным, А.Я. Ярошем.

В настоящее время лидерами в производстве гравиметров являются фирмы: Scintrex, La Coste Romberg, Sodin.

Гравитационный вариометр, способный регистрировать малые изменения силы тяготения, основан на принципе весов Кулона, с которыми с конца XVIII века в разных странах выполняли определения гравитационной постоянной. Весы Кулона содержат легкое горизонтальное коромысло с одинаковыми грузами (пробными массами) на концах. Коромысло подвешено в середине на тонкой крутильной нити, чувствительной к малым силам закручивания.

В однородном гравитационном поле, когда сила тяжести g постоянна по величине и направлению, равновесие коромысла наступило бы при незакрученной нити. В реальном, неоднородном поле Земли различие силы тяжести в точках, где расположены массы, приводит к возникновению горизонтальной пары сил, и коромысло поворачивается, пока действие пары сил не уравновесится действием упругой силы закрученной нити. Таким образом, угол закручивания (поворот коромысла) будет мерой неоднородности поля силы тяжести. Положение коромысла можно регистрировать с помощью укрепленного на нем зеркала.

В гравитационном вариометре измеряют четыре величины, описывающие неоднородное гравитационное поле Земли (вторые производные потенциала силы тяжести), и находят величину и направление наибольшего изменения силы тяжести на поверхности Земли (вектор горизонтального градиента).

Первый гравитационный вариометр был создан в 1890 г. знаменитым венгерским физиком бароном Роландом фон Этвешем. В нашей стране вариометр был впервые сконструирован в 1924 г. в Физико-математическом институте АН профессором П.М. Никифоровым (1884-1944) по типу вариометра Этвеша. В том же году с ним проведены работы с целью поисков платины в Нижнетагильском округе. В 1925 г. Никифоров провел разведку каменной соли в Оренбургской области. Под руководством П.М. Никифорова в 1925 г. проведены измерения вторых производных гравитационного потенциала для изучения железорудного месторождения. Несколько позднее такие работы проведены на месторождениях хромитов, месторождениях углеводородов, угля и рудных месторождениях.

Партия вариометров Никифорова ИПГ-1930 (институт прикладной геофизики) была изготовлена в 1930 г. В 1928-1929 гг. в Ленинградском астрономическом институте известный астроном, геодезист и геофизик профессор Б.В. Нумеров создал вторую конструкцию с наклонным прямолинейным коромыслом. В 1929 г. в нашей стране началось серийное производство вариометров. В предвоенные годы и во время Великой Отечественной войны объемы работ с вариометрами превышали объемы работ с гравиметрами. Во время Великой отечественной войны объем гравиметрических работ не только не уменьшился, но даже увеличился.

В отечественной и мировой практике наиболее распространенными были вариометры двух типов: приборы Z-40 с крутильной системой в виде повернутой буквы Z, построенный немецким геофизиком В. Швейдаром (1877-1959) в 1924 г., и приборы S-20 с крутильной системой Нумерова. Вариометры Z-40 и S-20 выпускались с 1935 г. заводом "Геологоразведка" в Ленинграде.

Крутильные нити вариометров толщиной всего 30 мкм были изготовлены из сплава платины и иридием или из вольфрама и для придания необходимой прочности и постоянства упругих свойств подвергнуты специальной механической и термической обработке. Коромысло весов сделано из алюминиевой или латунной трубки, грузы - свинцовые позолоченные. Весы защищены от внешней среды тремя футлярами, разделенными воздушной прослойкой. В нерабочем положении коромысла закреплены арретирным устройством и нити не нагружены.

На полевом пункте прибор помещают на подставке высотой 1 м. Работой вариометра управляет часовой механизм. Все наблюдения на пункте занимают 1,5 - 2 часа. Карты, составленные по результатам вариометрических съемок, отражают строение верхних слоев земной коры.

В 1920-1940-х гг. гравитационные вариометры широко применялись для разведки месторождений металлов, нефти, угля, причем расстояние между пунктами съемки составляло иногда всего 5-10 м. Исключительные заслуги в создании приборов и применении вариометров для разведки ископаемых

принадлежала Б.В. Нумерову. Он был инициатором и исполнителем вариометрических съемок в разных районах страны и создал теоретические основы геологического истолкования результатов.

В нашей стране число вариометрических пунктов достигало десятков тысяч ежегодно, и в результате этих работ было открыто много месторождений. С начала 1950-х гг., после появления более производительных приборов гравиметров, разведочные работы с вариометрами были практически прекращены. Современные гравитационные вариометры применяют преимущественно для очень детальных исследований поля силы тяжести малых участков, например для обнаружения подземных помещений на историко-архитектурных территориях. В последние десятилетия в разных странах пытаются создать вариометр для измерений на подвижном носителе (корабль, самолет, искусственный спутник Земли), что является трудной задачей.

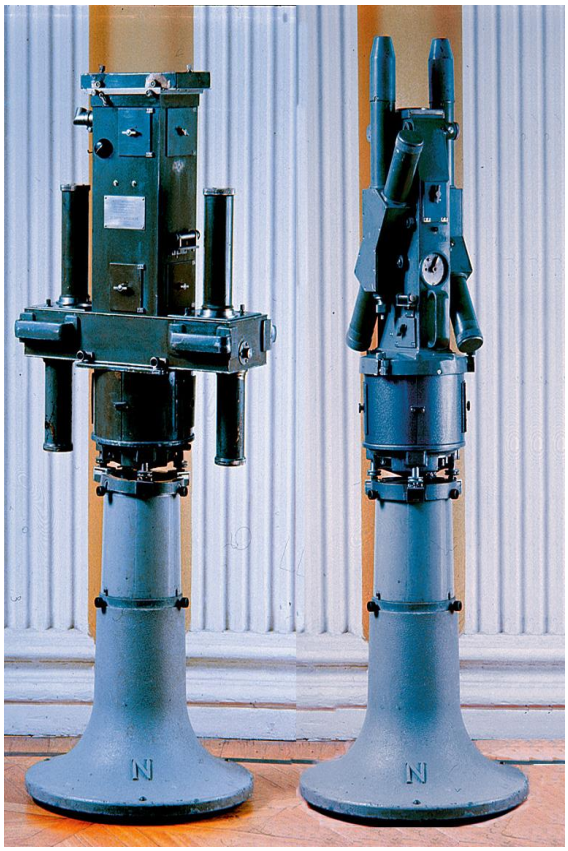


Рис. 2 Вариометр Z-40 (слева) и градиентометр ГРБМ-2 (справа)

1. Гравиметры для абсолютных измерений силы тяжести

Измерение поля силы тяжести осуществляют приборами, называемыми *гравиметрами*. Существует несколько принципиально различающихся конструкций гравиметров. Способы измерения силы тяжести основаны на физических явлениях, на которые она оказывает заметное влияние: свободное падение тел, колебание маятника или нагруженной струны, прецессия тяжелого гироскопа, искривление поверхности вращающейся жидкости, парение проводника с током или заряженной частицы в поле постоянного магнита, подъем жидкости в капилляре, равновесие пружинных или крутильных весов. Методы измерения разделяют на динамические, если проводятся наблюдения движение тела в гравитационном поле, и статические, если наблюдают равновесие пробной массы, на которую действуют сила тяжести и некоторая компенсирующая сила. В зависимости от природы компенсирующей силы статические гравиметры разделяют на жидкостные, газовые, электрические (электростатические, индукционные, пьезоэлектрические, электромагнитные, магнитные), механические. Гравитационный каротаж в Кольской сверхглубокой скважине проведен с гравиметром на базе пленочного акселерометра до глубины 5,5 км.

Измерения называют абсолютными, если измеряется полная величина силы тяжести $\boldsymbol{g}$, измерения называются относительными, если измеряется приращение силы тяжести между двумя пунктами наблюдения. «Каждое измерение силы тяжести это тонкий физический эксперимент» (К.Е. Веселов).

1.1 Маятниковые гравиметры

Первое измерение силы тяжести было выполнено баллистическим методом Г. Галилеем в 1590 г. Долгое время измерения абсолютной величины силы тяжести ($\boldsymbol{g}$), проводили маятниковым способом (рис. 1.а). В этом способе измерения основаны на зависимости периода T колебаний маятника от величины поля силы тяжести.

Математическим маятником называют идеальную конструкцию, состоящую из точечной массы m, подвешенной на идеально гибкой, нерастяжимой и невесомой нити длиной l в абсолютном вакууме (рис. 1.б.). Период колебаний математического маятника равен (Гюйгенс):

$$T=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\,[1+(1/4)sin^2(\alpha/2)+(9/64)sin^4(\alpha/2)+\ldots\ldots]. \qquad (1)$$

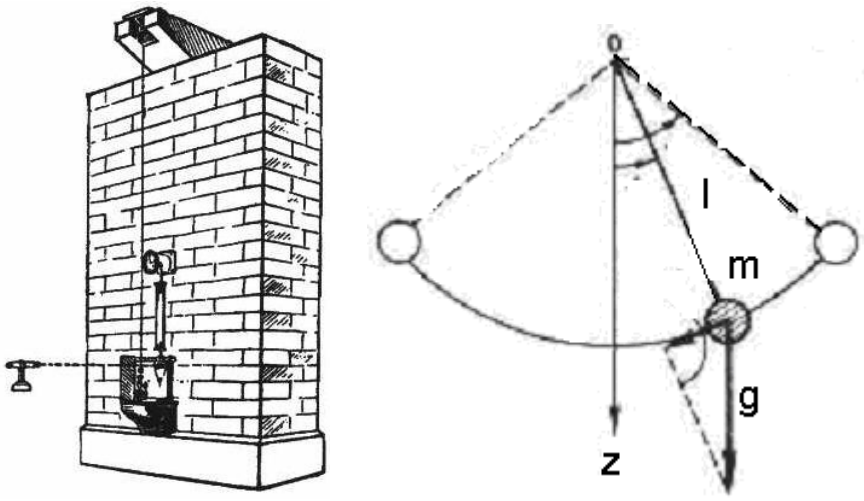
где α - амплитуда колебания.

Математический маятник построить нельзя. Математический маятник - идеальное устройство, практически нереализуемое, в действительности пользуются тяжелыми грузами, висящими на металлическом стержне или проволоке. Формулы расчета g при этом усложняются. Для физического маятника период колебаний определяется той же формулой математического маятника, если под длиной l понимать приведенную длину маятника.

Приведенная длина физического маятника равна длине математического маятника, имеющего тот же период колебаний, что и физический маятник. Ее величина определяется выражением:

$$l=J/(aM), \qquad (2)$$

где $J=\int r^2 dm$ – момент инерции маятника относительно оси вокруг, которой происходят колебания маятника, a – расстояние от центра тяжести маятника до оси колебаний.



а б

Рис.2 Маятниковый гравиметр Ж. Ш. Борда (1790) - а. К выводу формулы периода колебаний математического маятника - б

При наблюдениях угол α не превышает 0.5^0 второе слагаемое в (1) не превосходит $7\cdot10^{-7}$, поэтому период колебаний можно вычислить по формуле (рис. 1.б):

$$T=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad (3)$$

Таким образом, измеряя период колебаний маятника T, находят g. Если от оси качания физического маятника через центр тяжести отрезок равный приведенной длине получим точку, которую называют центром качаний. Измеренное значение силы тяжести относят к центру качаний.

В 1818 г. Х Кэтер для определения абсолютных значений силы тяжести предложил пользоваться стержневыми маятниками, которые в ходе измерений переворачивают. В результате получают периоды колебаний T_1 и T_2, по которым вычисляют T.

Абсолютные маятниковые измерения крайне трудоемки. Одно измерение может проводиться в течение суток. На результаты маятниковых определений влияют ошибки измерения длины маятника и времени. Измерения должны проводиться с точностью 0.025 мкм и 0.05 мкс. Ошибки вносят упругие деформации лезвия опорной призмы маятника, изменения температуры которые приводят к изменению длины маятника, сокачание штатива на котором укреплен маятник, изменения магнитного поля, трение маятника о воздух. Искажения вносит разная амплитуда колебаний. При измерениях на

подвижном основании необходимо учитывать влияние возмущающих горизонтальных и вертикальных ускорений.

Ф.В. Бессель предложил во избежание ошибок определения длины маятника измерять периоды колебаний маятника T_1 и T_2 при разных длинах нити l_1 и l_2. В этом случае расчетная формула принимает вид:

$$g=4\pi^2(l_1 - l_2)/(T^2_1 - T^2_2) \qquad (4)$$

При измерениях по способу Бесселя достаточно знать разность длин маятников, а этот параметр определяется значительно точнее, чем длина маятника. Существенно уменьшаются систематические ошибки, связанные с подвесом маятника.

До 70-х годов XX века существовала сеть физических лабораторий, в которых силу тяжести определяли с помощью стационарных маятниковых приборов. Нитяной маятник Финского геодезического института (1970 г.) представлял собой груз 12×12 см, подвешенный на нити диаметром 0.6 мм на стержне вмурованном в скалу. Регулируемый подвес позволял менять длину маятника с 7.8 м на 3.8 м при неизменной оси качания. Разность длин маятников измерялась интерференционным методом с точностью 1 мкм, единичный период колебаний измеряли с точностью 0.02мкс.

Со времен Ф. В. Бесселя до 70 гг. XX века определение абсолютного значения ускорения свободного падения было крайне сложным экспериментом. Всего за этот промежуток времени выполнено несколько десятков таких определений. Точность определений силы тяжести маятниковым способом составила 0,3 мГал. Существенного повышения точности измерений g удалось достичь баллистическим способом.

1.2 Баллистические гравиметры

Создание транспортабельных баллистических гравиметров стало переломным в гравиметрии. С 1967 г. определения силы тяжести на пунктах государственной гравиметрической сети стали абсолютными. Разработки маятниковых приборов прекращены.

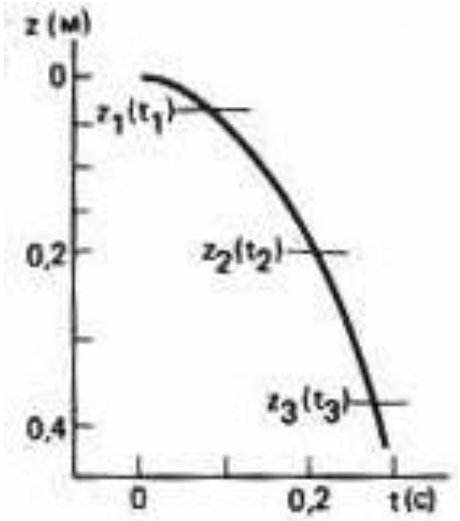


Рис. 2 К выводу формулы определения силы тяжести баллистическим методом

Абсолютное значение поля силы тяжести в настоящее время измеряют с помощью баллистических гравиметров. Метод измерения абсолютных значений силы тяжести основан на регистрации времени свободного падения пробной массы *m*, свободно падающей в гравитационном поле в вакуумированной камере с известной высоты. Уравнение движения свободно падающего тела за время *t* определяется формулой (рис. 2):

$$m \cdot d^2z/dt^2 = mg(z) \qquad (5)$$

Откуда

$$z = z_0 + V_0 t + gt^2/2 \qquad (6)$$

где V_0 - начальная скорость.

Величины z_0, V_0 точно неизвестны, g можно найти наблюдая тело по крайней мере в трех положениях, т. е. измеряя каждый раз пройденный путь и время (рис. 2):

$$\begin{aligned} z_1 &= z_0 + V_0 t_1 + g t_1^2/2 \\ z_2 &= z_0 + V_0 t_2 + g t_2^2/2 \\ z_3 &= z_0 + V_0 t_3 + g t_3^2/2 \end{aligned} \qquad (7)$$

Откуда

$$g = \frac{2\{(z_1 - z_2)(t_1 - t_3) - (z_1 - z_3)(t_1 - t_2)\}}{(t_1 - t_2)(t_1 - t_3)(t_2 - t_3)} \qquad (8)$$

С учетом неоднородности гравитационного поля уравнение движения пробной массы имеет вид более сложный вид:

$$z_i = z_0 + V_0 t_i + \frac{1}{2} g t_i^2 + \frac{1}{6}\gamma V_0 t_i^3 + \frac{1}{24}\gamma g t_i^4 + \varepsilon, \qquad (9)$$

где γ вертикальный градиент силы тяжести в пункте наблюдения. В результаты вводится поправка за конечность скорости света.

Фактически во время одного броска количество измерений траектории z и t достигает нескольких сотен. После N измерений во время падения пробной массы методом наименьших квадратов получим формулу определения силы тяжести:

$$g = \frac{2}{\Delta}\begin{vmatrix} N & \sum t_i & \sum S_i - \frac{1}{6}\gamma(V_1 t_i^3 + \frac{1}{4} g_1 t_i^4) \\ \sum t_i & \sum t_i^2 & \sum [S_i - \frac{1}{6}\gamma(V_1 t_i^3 + \frac{1}{4} g_1 t_i^4)] t_i \\ \sum t_i^2 & \sum t_i^3 & \sum [S_i - \frac{1}{6}\gamma(V_1 t_i^3 + \frac{1}{4} g_1 t_i^4)] t_i^2 \end{vmatrix}, \qquad (10)$$

где $\Delta = \begin{vmatrix} N & \sum t_i & \sum t_i^2 \\ \sum t_i & \sum t_i^2 & \sum t_i^3 \\ \sum t_i^2 & \sum t_i^3 & \sum t_i^4 \end{vmatrix}$.

Точность определения g зависит от точности измерения пространственных и временных интервалов. При обработке вводят поправки за остаточное давление в вакуумированной камере и неоднородность гравитационного поля. Главным источником погрешности измерений при измерении методом свободного падения оказываются микросейсмы.

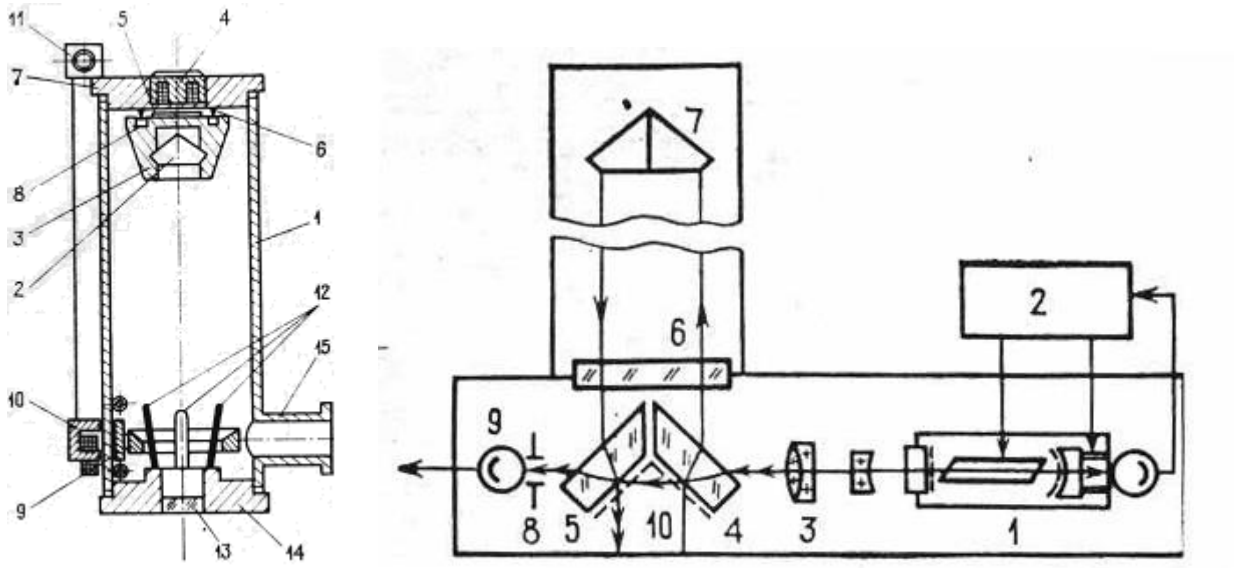
Первый баллистический гравиметр JILLA построен в Университете Весли (США) Фаллером и Хэмондом в 1968 г. Его главной частью был лазерный интерферометр для наблюдения свободного падения уголкового отражателя. Конечным результатом измерений были величина силы тяжести и значение ее вертикального градиента. При поддержке ВВС США разработка и совершенствование гравиметра проводились до 1980 г. В настоящее время гравиметр совершенствуется далее. Баллистический гравиметр создан в Объединенном институте астрономических исследований (США, Колорадо). Только в 196 – 1994 гг. построено 10 приборов FG5. В настоящее время число гравиметров FG5 достигает нескольких десятков, он применяется во многих странах – Австрии, Франции, Германии, Испании. В России FG5 установлен в подземной геодинамической Баксанской обсерватории для мониторинга территории Северного Кавказа.

В Европе совместными усилиями Италии, Франции и японского геофизика Сакумы также создан транспортабельный баллистический гравиметр, который в усовершенствованном виде с 1980 г. стал выпускаться под маркой А-40. Транспортабельный баллистический гравиметр создан в Институте метрологии Украины (Харьков). Портативный баллистический гравиметр PBGM-97 создан в Польше. Его вес не превышает 50 кг.

В нашей стране в Институте автоматики и электрометрии СО РАН в Новосибирске подруководством Г. П. Арнаутова создан баллистический гравиметр ГАБЛ, основанный на способе наблюдения свободно падающего тела (рис. 3). Гравиметр состоит из вакуумированной камеры, где происходит падение пробной массы, электронно-счетного блока с кварцевым генератором для измерения времени, лазерного интерферометра для измерения пути,

устройства автоматического управления и регистрации результатов измерений. Мерой длины является длина волны излучения гелий-неонового лазера. Мерой времени является рубидиевый стандарт частоты.

Физически гравиметр состоит из вакуумной камеры цилиндрической формы, в верхней части которой укреплен электромагнит удерживающий пробную массу – уголковый отражатель (рис. 3.а). Уголковый отражатель в верхнем положении удерживается с помощью ферритовой пластины, закрепленной в корпусе отражателя и трех игл, укрепленных в корпусе цилиндра.



а б

Рис. 3 Схема баллистического гравиметра ГАБЛ (а):
1 – вакуумированная камера, 2 – уголковый отражатель, 3 – корпус, 4 – электромагнит, 5 – ферритовая пластина, 6 – иглы, 7 – цилиндр, 8 – опоры, 9 - каретка, 10 – электромагнит, 11- электромотор, 12 – трехлепестковый пружинный клин
Регистрирующее устройство гравиметра ГАБЛ (б):
1 – многочастотный гелий-неоновый лазер, 2 – система стабилизации частоты излучения и питания лазера, 3-7 – двухлучевой интерферометр, 8 и 9 – выходное регистрирующее устройство

Корпус прибора изготовлен из немагнитной нержавеющей стали. При размыкании контактов электромагнита уголковый отражатель свободно падает, а в нижней части цилиндра улавливается трехлепестковым пружинным клином. Подъем пробной массы производится с помощью электромагнита, укрепленного с внешней стороны вакуумной камеры. Электромагнит, управляемый электромотором движется по внешней стороне камеры и поднимает пробную массу в исходное положение. Падение регистрируется лазерным двухлучевым интерферометром Майкельсона, который позволяет проводить измерения с точностью до 10^{-9} измеряемой длины (рис. 3.б). Для измерения силы тяжести с требуемой точностью необходимо расстояния

измерить с точностью ±0.5 нм, - время с точностью 0.2 нс. Искажения, возникающие вследствие взаимодействия с электромагнитными полями, ослабляют экранированием.

Измерения начинаются спустя 0.08 секунды после начала падения. Процесс измерений полностью автоматизирован. Подготовка прибора к измерениям требует 12 часов. При измерениях проводится серия падений пробной массы. Наблюдения проводят не в трех, а в большем числе положений (до 600) и в результате обработки наблюдений методом наименьших квадратов находят наиболее вероятное значение силы тяжести.

Прибор ГАБЛ как транспортабельный используется с 1976 г. Комплект гравиметра ГАБЛ состоит из 18 ящиков общим весом 700 кг, высота прибора 2 м. Его модификация середины 80-х годов ГАБЛ-М обладает весом 250 кг и позволяет проводить измерения с погрешностью ±10 мкГал.

Одновременные испытания прибора ГАБЛ и его зарубежных аналогов (сличения, ICAG), проведенные в Международном бюро мер и весов (МБМВ, BIMP, г. Севр) в 1981 , 1997, 2001, 2005 и другие годы, подтвердили паспортные характеристики приборов. В 2005 г. в сличении участвовали 19 гравиметров из разных стран, 12 из них гравиметры FG5 (рис. 4). В нем принимали участие Украина с прибором TBG, Канада с прибором JILA, США с приборами FGC-1 и A-10, Италия с прибором IMGC-2 и другие.

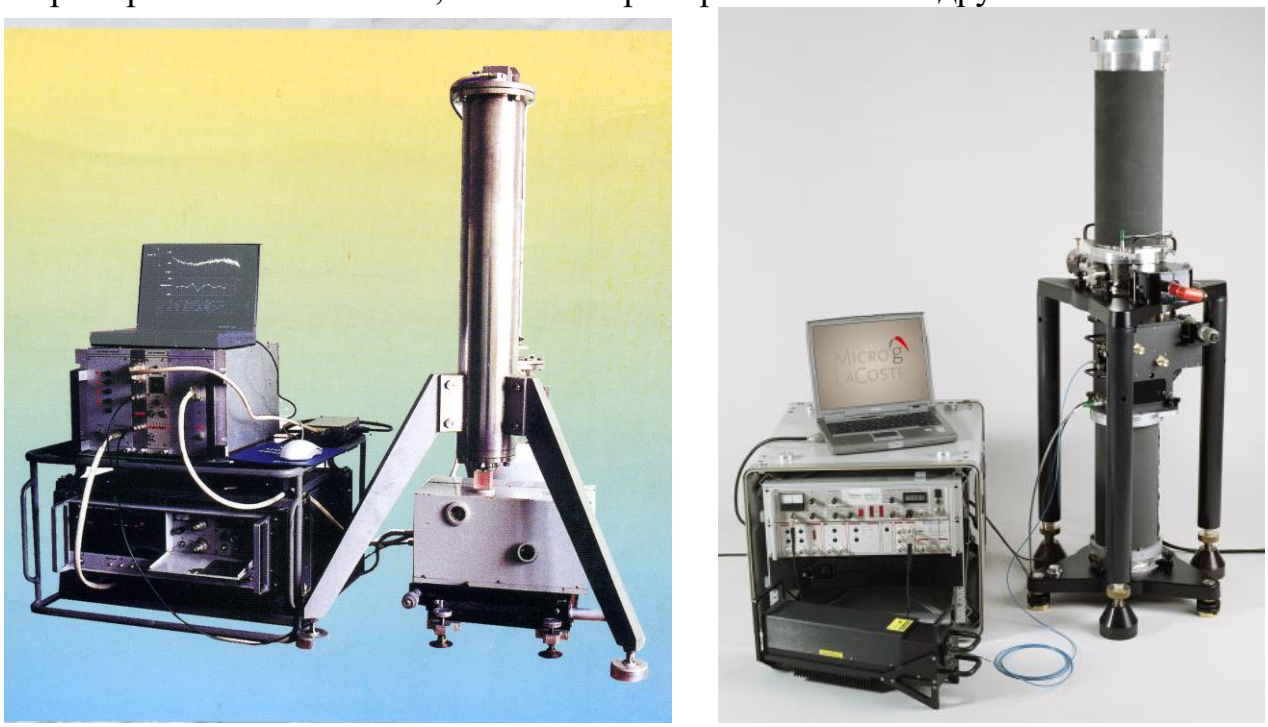


Рис. 4 Баллистические гравиметры ГАБЛ-Э (слева) и FG5 (справа)

Последнее сличение состоялось в сентябре – октябре 2009 г. с участием 25 приборов. К настоящему времени проведено семь таких сличений. Подобные сличения проводятся в нашей стране для отечественных приборов.

Для Федеральной службы геодезии и картографии России изготовлено 6 баллистических приборов. В 1983 – 1994 гг. баллистическими гравиметрами в нашей стране были определены шесть фундаментальных пунктов с точностью

0,01 – 0,005 мГал. Приборы применялись для изучения особенностей лунно-солнечных вариаций поля и неприливных изменений силы тяжести.
В настоящее время измерения силы тяжести проводятся с прибором ГАБЛ–Э (гравиметр абсолютный баллистический лазерный эталонный, рис. 4).

Технические характеристики ГАБЛ–Э

1) Погрешность измерения 5 мкГал;
2) Вес 180 кг.
3) Габариты: оптико-механический блок 1200×700×700 мм
   Электронный блок 620×560×660 мм
4) Потребляемая мощность 2 кВт

В ЦННИГаК малой серией выпускался гравиметр близкой конструкции под маркой ГБЛ с погрешностью измерений лучше 0.01 мГал. Дальнейшим совершенствованием баллистических гравиметров явилась разработка тем же институтом полевого варианта прибора ГБЛ-П.

Метрологическими сравнениями, проведенными в Международном бюро мер и весов в Париже в подтверждено, что ГАБЛ-Э по точности и надежности измерений находится на уровне лучших мировых аналогов, разработанных в США, Франции и Италии. ГАБЛ-Э по весу и габаритам вдвое превосходит зарубежные аналоги.

В настоящее время в нескольких странах ведется работа по разработке баллистического гравиметра с небольшим весом и габаритами для проведения рядовой съемки.

2. Гравиметры для относительных измерений силы тяжести
2.1 Маятниковые гравиметры

Намного производительнее относительные измерения, при проведении которых один и тот же маятник переносится из одного пункта наблюдения (А) в другой (В) и сравниваются периоды колебаний маятника. Для проведения относительных измерений не нужно знать параметры маятника.

$$T_A=2\pi(l/g_A)^{1/2},\quad T_B=2\pi(l/g_B)^{1/2},\ g_A/g_B=T^2_B/T^2_A, \qquad (10)$$

Маятниковый прибор Штюкарта был предназначен для относительных измерений. Маятниковые комплексы «Агат», разработанные ЦНИИГАиК, широко применялись при проведении мировой морской съемки. Комплекс состоит из трех комплектов двухмаятниковых приборов, пульта управления, блоков регистрации и питания, вакуумного насоса, стандарта частоты и др. Повышение точности прибора достигается увеличением кратности измерений. Кварцево-металлические полусекундные маятники представляют собой кварцевый стержень, к нижнему концу которого приварен цилиндрический груз из вольфрамо-никелево-медного сплава. Два маятника в одном приборе качаются в противофазе. Корпус прибора герметичен и в нем с помощью сосуда Дьюара и активного термостата поддерживается постоянная температура. Регистрация колебаний маятников осуществляется

фотоэлектронным регистратором. Погрешность измерения 0,1 мГал, вес прибора 8 кг.

В странах, где значительные микросейсмические помехи, например, Японии и Голландии, применялся трехмаятниковый прибор.

2.2 Гравиметры с кварцевой чувствительной системой

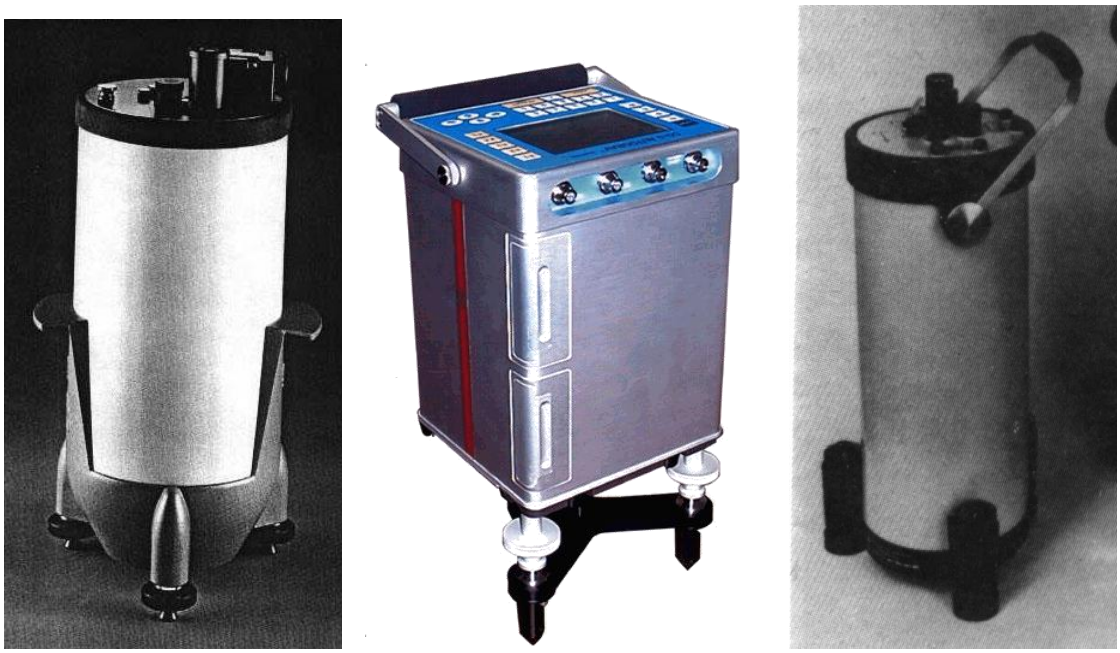


Рис. 5 Гравиметры (слева направо) Содин, CG-5, ГНУК-С

УСТРОЙСТВО ГРАВИМЕТРА ГНУ-КС

Гравиметр наземный узкодиапазонный с кварцевой чувствительной системой класса точности С (ГНУ-КС) предназначен для относительных измерений силы тяжести в наземных и подземных условиях. Измерение силы тяжести основано на принципе пружинных весов; способ измерения - компенсационный. Гравиметр применяется для гравиметрической съемки при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых и геологическом картировании (рис. 5).

Технические характеристики гравиметра ГНУ-КС приведены ниже:

Верхний предел измерений без перестройки диапазона, мГал	80
Верхний предел измерений с перестройкой дипазона, мГал	6000
Чувствительность (оценивается по окулярной шкале), дел./мГал	2.5
Смещение нуль-пункта за сутки, не более, мГал	2.0
Длительность переходного процесса, не более, мин.	3
Средняя квадратическая величина погрешности единичного измерения, мГал	±0.060
Габариты гравиметра (без упаковки):	
а) высота, мм	470
б) диаметр (с треногой), мм	210
Масса гравиметра (без упаковки), кг	5
Цена деления, мГал/об	- (5.0 - 8.5)
Время наблюдения на пункте, мин.	3
Температурный коэффициент, мГал/ град.	0.0002 – 0.0015

Гравиметры типа ГНУ-КС характеризуются высокой точностью измерений силы тяжести, компактностью, простотой в обращении, высокой производительностью. Недостатками кварцевых гравиметров являются: отсутствие арретира для основного индикатора кварцевой системы, незакономерное смещение нуль-пункта в зависимости от температуры и условий эксплуатации, главным образом режима транспортировки. Основными элементами гравиметра являются чувствительная система и индикаиор малых перемещений.

Устройство чувствительной системы гравиметра ГНУ-КС

Упругая кварцевая система (рис. 6) изготовляется из химически чистого плавленого кварца и состоит из трех основных частей: чувствительного элемента - вертикального сейсмографа Голицына; измерительного устройства и приспособления для температурной компенсации. Князь Борис Борисович Голицын разработал сейсмограф для регистрации упругих колебаний возбуждаемых при землетрясениях в 1913 г. Чувствительный элемент системы - астазированный вертикальный сейсмограф Голицына состоит из маятника (рычага) (5), удерживаемого в равновесии силой закручивания нитей подвеса (9) и упругой силой главной пружины (1).

Основой крепления деталей чувствительной упругой системы является кварцевая рамка сложной формы. На концах рамки крепится тонкая кварцевая нить (9). В центральной части нити крепится маятник с платиновым грузиком массой 0.03 г и тонким кварцевым волоском (индексом) на конце. Маятник с грузиком является основным чувствительным элементом-индикатором, на который действует сила тяжести.

Главная пружина своим верхним концом крепится к основанию прибора, а нижним - к отростку маятника.

Измерительное устройство системы состоит из рамки (8), которая вращается на нитях (9). На конце рамки имеется стержень, к которому прикреплена измерительная пружина (2). Верхний конец пружины (2) прикрепляется к подвижному штоку измерительного устройства. Диапазонная пружина (3) своим нижним концом прикреплена к отростку маятника, верхним - к подвижному штоку диапазонного устройства.

Принцип действия системы заключается в следующем: при изменении силы тяжести маятник (5) будет отклоняться от первоначального положения равновесия до тех пор, пока силы, вызванные деформацией пружины (1) и нитей подвеса маятника (9), не уравновесят силу тяжести. Угол этого отклонения является мерой силы тяжести.

Главная пружина (1) соединена с маятником (5) таким образом, что при изменении силы тяжести возникает дополнительный упругий момент сил главной пружины, знак которого совпадает со знаком изменения силы тяжести. Поэтому малые изменения силы тяжести вызывают относительно большие деформации пружины (1) и, следовательно, большие углы поворота маятника. Такие системы называются **астазированными** (неустойчивыми).

Уравнение равновесия чувствительной системы:

$$M_1(\varphi)g + M_2(\varphi) = 0, \qquad (12)$$

где $M_1(\varphi)$ – момент силы тяжести, $M_2(\varphi)$ – момент упругих сил кварцевой чувствительной системы.

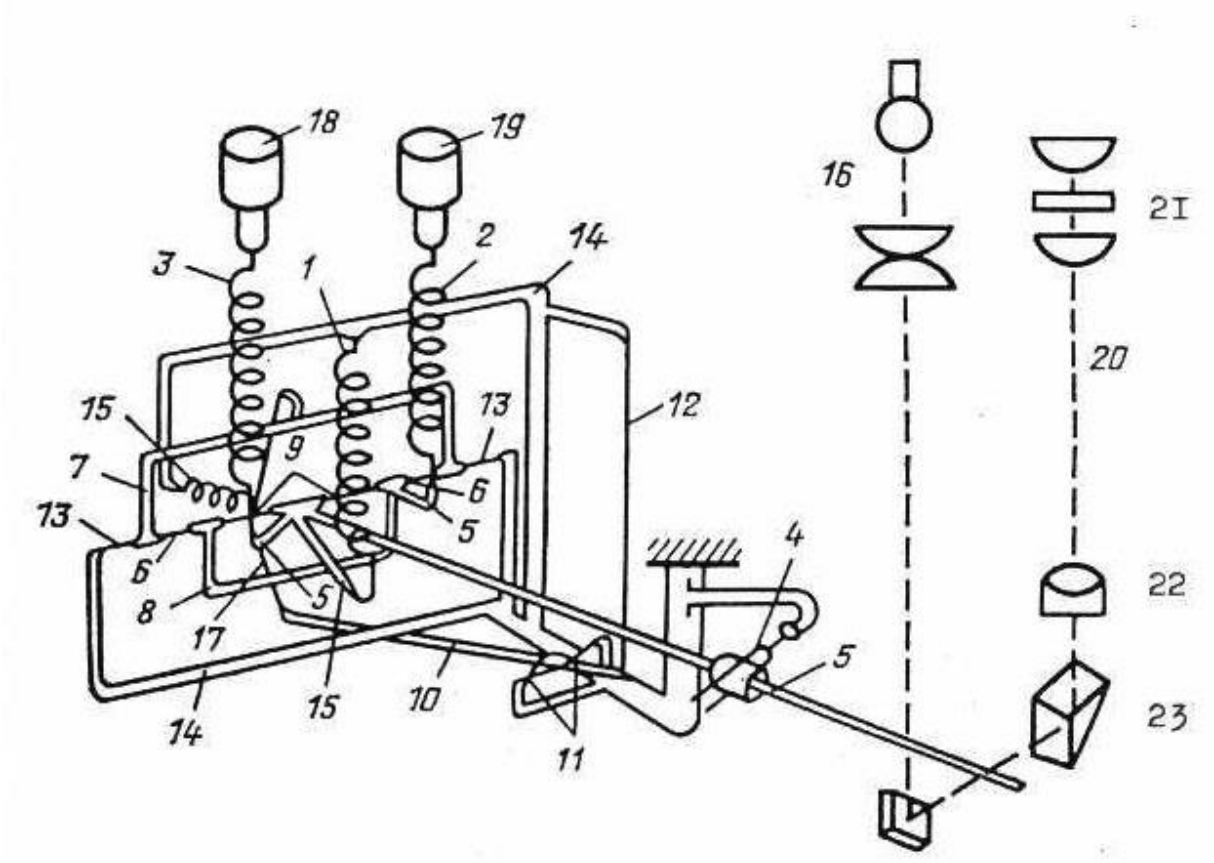


Рис. 6. Схема кварцевой системы гравиметра ГНУ-КС:
1 - главная пружина; 2 - измерительная пружина; 3 - диапазонная пружина; 4 - ограничитель; 5 - рычаг; 6 - нити подвеса измерительной рамки; 7 - подвижная рамка температурного компенсатора (ТК); 8 - измерительная рамка; 9 - нити подвеса рычага; 10 - рычаг ТК; 11 - нити подвеса рычага ТК; 12 - металлическая нить ТК; 13 - нити подвеса подвижной рамки ТК; 14 - каркас кварцевой системы; 15 - пружина компесатора криволинейности; 16 - осветитель; 17 - лукообразная нить компенсатора криволинейности; 18 - диапазонное устройство; 19 - измерительное устройство; 20 - микроскоп; 21 - стеклянная пластинка со шкалой; 22 - объектив; 23 - трехгранная призма

Кварцевая система гравиметра помещена в корпус цилиндрической формы и тщательно изолирована от внешней среды. Крышка цилиндрического корпуса и выводные отверстия для оптической системы и измерительного механизма изолированы при помощи резиновых прокладок и специальных приспособлений (сильфонов). Из корпуса откачивается воздух. Таким образом, кварцевая система находится в вакууме, что повышает ее

чувствительность и устраняет влияние механических частиц и водяных паров на положение равновесия маятника.

Оптическая система и измерительный механизм

В гравиметрах ГНУ-КС и ГНУ-КВ для измерения угла отклонения маятника применяется так называемый **компенсационный способ**, суть которого заключается в следующем. Допустим, что под действием силы тяжести в точке измерения маятник отклонился от горизонтального положения. Меняя натяжение измерительной пружины (2), можно установить маятник кварцевой системы в горизонтальное «нулевое» положение, которое фиксируется в окуляре зрительной трубы. Мерой угла отклонения маятника от горизонтальной плоскости будет отсчет в оборотах микрометренного винта, при помощи которого меняется натяжение измерительной пружины. Компенсационному способу измерения подчинена конструкция оптической системы и измерительного механизма.

В качестве индикатора малых перемещений в ГНУ-КС используется микроскоп. Детали оптической системы смонтированы в двух трубках, нижние концы которых вставляются в верхнюю крышку корпуса кварцевой системы, а верхние - выведены на внешнюю панель гравиметра. В одной из трубок смонтирован осветитель (27 на рис.7), в другой - микроскоп (30). Осветитель состоит из лампочки 2.5-3.5 В, конденсора (27) и призмы (25). В верхней части микроскопа находится окуляр, состоящий из системы линз и стеклянной пластинки, на которую нанесена шкала с нулевым штрихом посредине (21, см. рис. 8). В нижней части микроскопа имеется объектив (22) и трехгранная призма (21). Индекс рычага кварцевой системы располагается между наклонным зеркалом осветителя и трехгранной призмой.

Определение положения равновесия рычага кварцевой системы осуществляется следующим образом. Луч света от лампочки проходит через конденсор и узким пучком попадает на наклонное зеркало. После отражения от наклонного зеркала, луч света проходит через индекс и попадает на трехгранную призму. Преломляясь в трехгранной призме, луч переносит изображение индекса через объектив в окуляр микроскопа. Вследствие интерференции изображение индекса получается в виде двух широких темных полос, разделенных светлой полосой, в средней части которой расположен узкий темный штрих (рис. 8). При горизонтальном положении рычага темный штрих индекса совпадает с нулевой линией шкалы окуляра, а наклонное положение рычага фиксируется отклонением изображения индекса вправо (если рычаг отклонился вверх) или влево от нулевого деления шкалы. Таким образом, оптическая система позволяет только следить за положением рычага, а угол его отклонения определяется при помощи измерительного механизма.

Управление положением рычага в гравиметрах ГНУ-КС осуществляется при помощи двух кварцевых пружин: диапазонной 3 и измерительной 2 (см. рис. 6). В гравиметрах ГНУ-КС диапазонная пружина нижним концом жестко связана с рычагом, а верхний конец через герметизирующее

устройство (сильфон) выведен к специальным гайкам 2 и 3 (см. рис. 7) и 18 (см. рис. 5). Вращением гаек можно менять натяжение диапазонной пружины и перемещать рычаг.

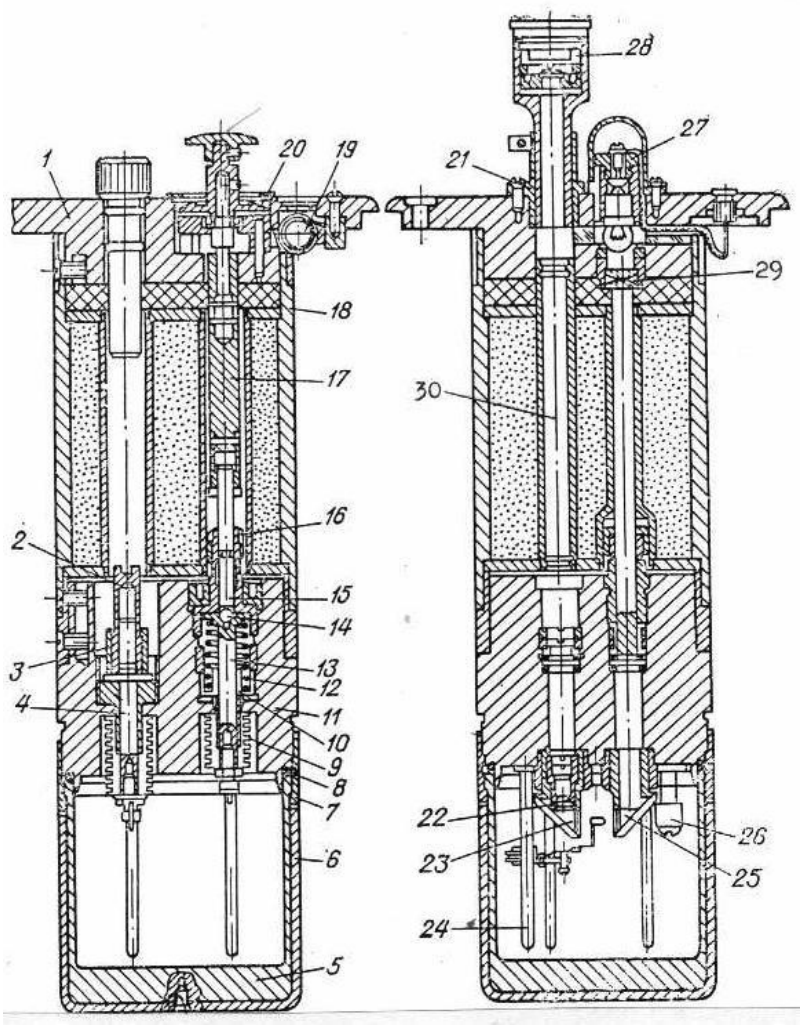


Рис. 7 Разрез средней части гравиметра:
1 - верхняя панель; 2 и 3 – гайки; 4 - шток диапазонного винта;
5 и 6 - защитные металлические цилиндры; 7 - стопорное кольцо; 8 - резиновая прокладка; 9 – сильфон; 10 – втулка; 11 - корпус кварцевой системы; 12 - люфтовыбирающая пружина; 13 – шток; 14 – шарик; 15 - микрометренный винт; 16 - микрометренная гайка; 17 - стержень микрометренного винта; 18 - текстоитовый цилиндр; 19 – уровень; 20 - отсчетное устройство; 21 - держатель окуляра; 22 - объектив микроскопа; 23 и 25 - призмы осветителя; 24 - защитные стойки; 26 - стойка для крепления кварцевой системы; 27 – осветитель; 28 – окуляр; 29 - конденсор

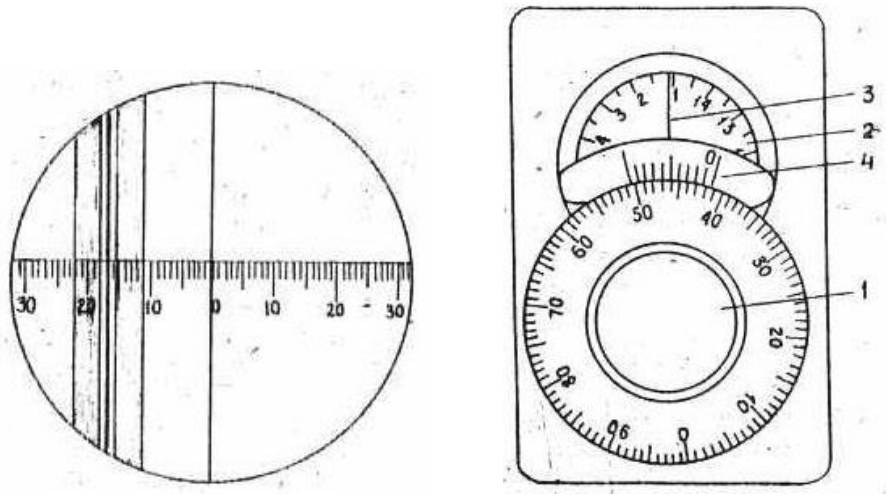
Герметизирующее устройство (сильфоны 9, см. рис. 7) представляет собой трубку с гофрированными стенками, которая нижним концом соединяется с кварцевой пружиной (диапазонной или измерительной) и вставляется во внешнюю трубку. Между этими трубками закачивается под давлением трансформаторное масло. Нижний конец сильфона приваривается к штоку, к

которому крепится верхний конец кварцевой пружины. Верхний конец сильфона приварен к гайке, которая прочно крепится к корпусу прибора.

Диапазонная пружина служит только для установки диапазона предполагаемых изменений силы тяжести перед началом полевых измерений. С ее помощью индекс рычага выводится в поле зрения окуляра микроскопа (рис. 8), потом диапазонная пружина закрепляется и не участвует в процессе измерения угла наклона рычага.

Измерительная пружина (2, см. рис.6) нижним концом через стержень жестко связана с измерительной рамкой 8, которая крепится на кварцевой нити. Верхний конец измерительной пружины крепится к стержню, который через сильфон и втулку (10, см. рис.7) соединяется со штоком (13). При вращении микрометренного винта, укрепленного на внешней панели гравиметра, поступательное движение винта (15) передается через шарик (14) на шток (13), что приводит к изменению натяжения измерительной пружины. Для исключения люфта измерительного механизма на втулку (10) надета люфтовыбирающая пружина (12), верхний конец которой упирается в головку штока (13).

Отсчетное устройство представляет собой счетчик оборотов микрометренного винта. Оно состоит из двух подвижных дисков с делениями и двух неподвижных индексов, на одном из которых нанесены деления (нониус). С ручкой микрометра (1 на рис. 8) жестко связан диск с делениями от 0 до 99. При вращении микрометра одновременно двигается соседний диск 2 , на котором нанесены деления от 0 до 15 с интервалами через 0.5 деления. Отсчет берется следующим образом: против неподвижного индекса (3) отсчитывается число оборотов в целых единицах, по положению 0-штриха нониуса (4) берется отсчет десятых и сотых долей оборота и по нониусу отсчитываются тысячные доли оборота микрометренного винта.



а б

Рис. 8 Поле зрения окуляра и отсчетное устройство гравиметра:
1 - ручка микрометра, 2 - диск целых делений шкалы, 3 - индекс отсчета целых делений, 4 – нониус

Температурная компенсация

Испытания кварцевых систем в специальных термостатах показывают, что наблюдается нелинейная зависимость показаний гравиметра от изменения температуры. Приближенно эту зависимость можно выразить следующим образом:

$$\Delta g_t = C_0 * t + C_1 * t^2 \qquad (13),$$

где Δg_t -изменение отсчета в мГал в зависимости от температуры t; C_0 и C_1 - постоянные коэффициенты, характеризующие тепловые свойства кварца, из которого изготовлена система. Значения этих коэффициентов в среднем составляют:

$C_0 \approx$-120 мГал на 1 ^{0}C; $C_1 \approx$0.15 мГал на 1 ^{0}C.

Для устранения влияния температуры при работе с кварцевым гравиметром используются разные способы термозащиты: термокомпенсатор, сосуд Дьюара, теплоизолирующие средства, вакуумированный сосуд, отражающая солнечные лучи поверхность гравиметра.

Автоматический температурный компенсатор должен обладать температурной характеристикой, соответствующей уравнению (1), но с обратным знаком. Основную роль в температурном компенсаторе играет металлическая нить (12, см. рис. 6). Нить изготовляется из меди, обладающей значительным коэффициентом теплового расширения. Нижний конец металлической нити крепится к рычагу температурной компенсации (10), который может вращаться вокруг оси, представляющей собой укрепленную в рамке кварцевую нить (11). Другой конец рычага температурной компенсации через прогнутую нить (17) и кварцевую пружину (15) связан с подвижной рамкой температурной компенсации (7), которая крепится на основной нити кварцевой системы. Пружина (15) и прогнутая нить (17) обеспечивают нелинейный режим работы температурного компенсатора.

При повышении температуры среды, в которой находится кварцевая система, маятник отклоняется вверх. Повышение температуры среды приводит к удлинению металлической нити (1 на рис. 9), которая отклоняет рычаг температурной компенсации вниз. Рычаг температурной компенсации имеет ось вращения O_1 (см. рис. 2.6) в виде кварцевой нити (11, см. рис.6). Вращение рычага вокруг оси O_1 через упругий элемент (4) и пружину (3) передается на рамку температурной компенсации (6, см. рис. 9), которая закручивает основную кварцевую нить О (см. рис. 9). В результате закручивания нити маятник отклонится вниз. Таким образом, создается вращающий момент противоположного знака по сравнению с моментом, обусловленным влиянием температуры. Типичный график температурного влияния на показания прибора приведен на рис. 10.

Отношение перемещения маятника к вызывающему его изменению силы тяжести называется механической чувствительностью.

Для того, чтобы предохранить кварцевую систему от резких изменений температуры, система тщательно изолируется. На верхнюю часть корпуса

кварцевой системы надевается и крепится текстолитовый полый цилиндр (18, см. рис. 6), внутри которого помещается кран для откачки воздуха из корпуса кварцевой системы, и четыре трубки. В трубках находятся сильфоны, детали диапазонного и измерительного механизмов, осветитель и микроскоп. На текстолитовый цилиндр вместе с корпусом кварцевой системы надеваются шерстяной и пенопластовый чехлы. Все вместе помещается в сосуд Дьюара, который находится во внешнем цилиндрическом корпусе прибора. Пространство внутри текстолитового цилиндра, а также между сосудом Дьюара и внешним металлическим корпусом заполняется слоем ваты или иных теплоизоляционных материалов. Хромированный металлический корпус служит для отражения солнечных лучей, т. е. позволяет избежать нагревания прибора солнечными лучами.

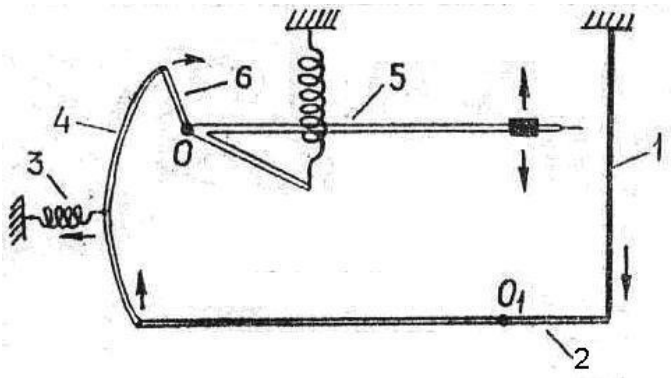


Рис.9. Схема температурного компенсатора гравиметра:
1 - металлическая нить, 2 - рычаг температурного компенсатора,
3 - пружина нелинейного компенсатора, 4 - прогнутая нить, 5 - рычаг,
6 - рамка температурного компенсатора, O_1 - нить подвеса температурного рычага компенсатора, O - нить подвеса рычага и рамок

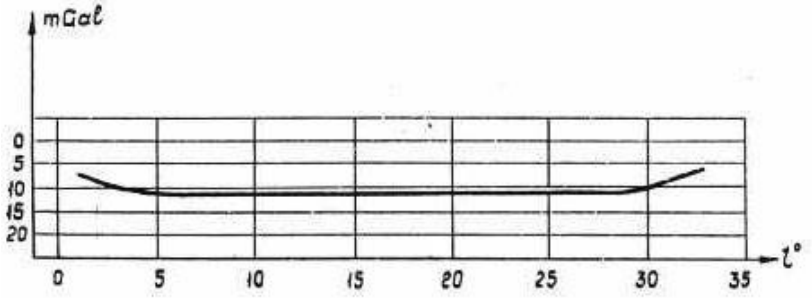


Рис. 10 График температурного влияния

Теплоизоляция позволяет работать с гравиметром в различных температурных условиях, и колебания температуры практически не оказывают влияния на результаты измерений.

ГРАВИМЕТР ГНУК-В

Гравиметр ГНУК-В предназначен для высокоточных измерений. В этом приборе компенсирующий момент термокомпенсатора подается на главную пружину, а не на подвижную рамку. В микроскопе применен объектив с большим увеличением. Уравнение равновесия (4) примет вид (рис. 11):

$$mgl\cos(\alpha+\beta)+\tau_1(\alpha_0+\alpha)-f_1r_1(y\cos\alpha-x\sin\alpha)(1-\frac{Z_0}{S})=0, \quad (14)$$

$$S=\sqrt{x^2+y^2+r_1^2-2r_1(x\cos\alpha+y\sin\alpha)},$$

где Z_0 - первоначальная длина главной пружины, f_1 – линейная упругость главной пружины, τ_1 – крутильная жесткость нитей подвеса рычага, β – угол наклона системы, α_0 – начальный угол закручивания нитей подвеса рычага, α – угол наклона плоскости, в которой лежит центр тяжести рычага и ось его вращения в исходном положении.

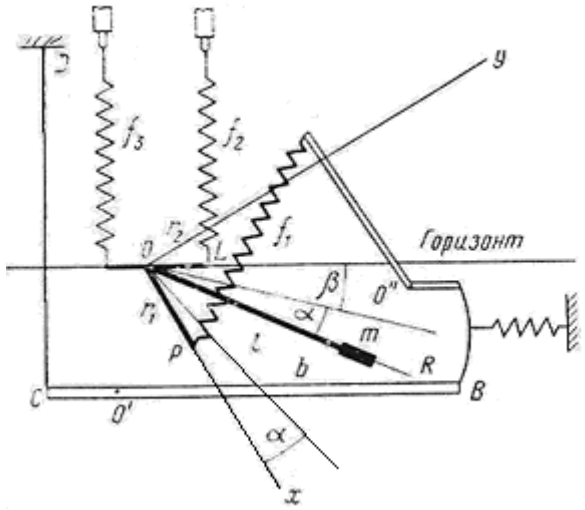


Рис. 11 Схема устройства упругой системы кварцевого астазированного гравиметра (ГНУК-В)
m – пробная масса, f_1 – главная астазирующая пружина, f_2, f_3 – измерительная и диапазонная пружины, l – рычаг.

ГРАВИМЕТР СОДИН

Работа с гравиметром

Для измерений гравиметром возле пикета заранее готовится ровная площадка диаметром 30 см, при этом почвенный слой для улучшения условий измерения снимается. Гравиметр устанавливается либо на эту площадку, либо - если грунт рыхлый - на специальный диск с тремя шипами, вдавливаемыми в почву. Включается освещение, и с помощью подъемных винтов (см. рис. 2.1) пузырьки уровней выводятся на середину. Отклонение пузырьков во время измерения не должно превышать 0.5 деления.

Наблюдая в окуляр гравиметра ГНУК-С
за перемещением индекса, плавным вращением микрометренного винта совмещают блик с нулевым делением шкалы. Совмещение производят так, чтобы нулевой штрих шкалы был как раз в середине световой полосы. Для устранения погрешностей за счет люфта в соединениях микрометренного винта совмещение следует производить при одинаковом направлении вращения винта.

На каждом пункте необходимо делать несколько совмещений, записывая каждый раз показания счетчика. В журнал, кроме показаний счетчика, записывают время наблюдений.

Гравиметры с кварцевой чувствительной системой применяют при съемке на море и в скважинах. Например, морской гравиметрический комплекс ГМН «Флагман» состоит из 3 гиростабилизированных гравиметров с кварцевой чувствительной системой и автоматизированного компенсационного устройства. Комплекс предназначен для проведения гравиметрической съемки масштаба 1:200000 и 1:50000 на шельфе, озерах, лиманах на судах водоизмещением 500 т. и более. Погрешность измерений с комплексом 0,3 – 0,5 мГал.

Гравиметр CG-5

В настоящее время широкое распространение получили автоматизированные гравиметры, использующие микропроцессорную технологию отечественного и зарубежного производства. В нашей стране к 2010 г. насчитывается более 60 гравиметров CG-3, CG-3M, CG-5 фирмы Scintrex. Модернизация прибора сопровождалась уменьшением веса, размеров, энергопотребления, совершенствованием программного обеспечения. Чувствительный элемент автоматизированного гравиметра CG-5 - та же упругая система из плавленого кварца. Автоматизированный гравиметр состоит из кварцевой чувствительной системы и индикатора малых перемещений с электростатической компенсационной системой измерений, размещенных в термозащитном корпусе, и электронного блока, на базе микро-ЭВМ, для управления гравиметром и предварительной обработки данных. Нивелирование прибора осуществляется по двум электронным уровням. Автоматически компенсируются изменения наклона до 200 секунд, в том числе обусловленные микросейсмами..

В автоматизированном гравиметре CG-5 сила тяжести, действующая на пробную массу, уравновешивается кварцевой пружиной и небольшим по величине электростатическим полем (рис. 2.8). Смещение пробной массы под действием силы тяжести фиксируется емкостным преобразователем смещения. Через цепь обратной связи напряжение подается на пластины конденсатора, электрическое поле которого действует на пробную массу, возвращая ее в нулевое положение. Напряжение в цепи обратной связи является мерой поля силы тяжести. Оно преобразуется в цифровой сигнал, передается в систему сбора данных прибора для обработки, вывода на дисплей и сохранения. Гравиметр CG-5 позволяет измерить изменение силы тяжести 0.005 мГал, которое вызывает смещение пробной массы по вертикали на 10^{-10} м. Диапазон работы гравиметра без перестройки 8000 мГал. Остаточный долговременный дрейф нуль-пункта после автоматической коррекции не превышает 0.02 мГал/сутки. Во внутренней твердотельной памяти гравиметра CG-3M записывается данные 1290 результатов наблюдений.

После включения гравиметра проводится автоматическая диагностика прибора. Отсчеты берут нажатием клавиши, они получаются как среднее из показаний по секундным интервалам; время усереднения выбирается в зависимости от местных микросейсмических условий (обычно 20 сек.). Хранимая информация содержит показания гравиметра, исправленные за влияние приливов, величины наклона, внутреннюю температуру прибора, дату, время, длительность измерений, данные о пункте наблюдений.

Автоматический гравиметр CG-5 обладает высокой разрешающей способностью (0.01 - 0.005 мГал), небольшим временем измерения на точке (2 - 5 мин.), полной автоматизацией процесса измерения. Масса гравиметра с аккумуляторами 8 кг. Вся информация отображается на жидкокристаллическом дисплее (80 символов, 4 строки, для CG-3M), одновременно обеспечивается сохранение данных в памяти, что позволяет

впоследствии вывести их на печать, модем или компьютер. Вместе с прибором изготовитель поставляет программное обеспечение для обработки результатов измерений. В России аналогичные автоматизированные гравиметрические комплексы созданы для морских и аэрогравиметрических измерений.

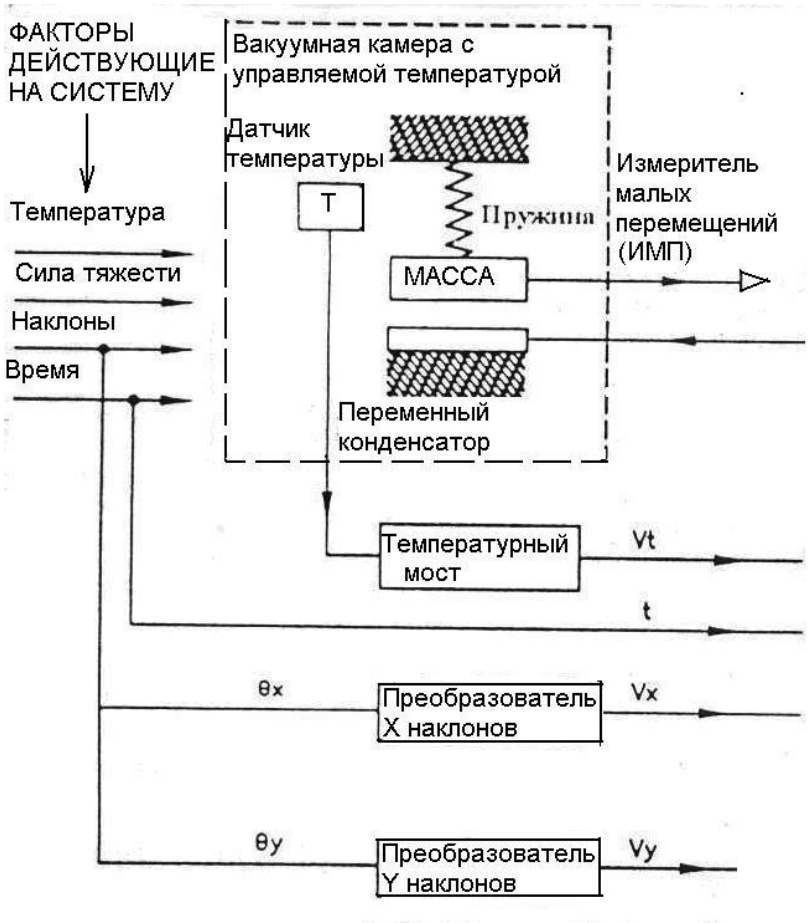


Рис. 12. Схема чувствительной системы автоматического гравиметра.

Техническая характеристика гравиметра CG-5 AutoGrav:

Чувствительная система помещена в двойной вакуумированный отсек стабилизированный по температуре

Точность измерения	1 мкГал
Размеры, см	30×21×22
Вес с аккумуляторами, кг	8
Энергопотребление, Вт	4,5
Емкость литиевых аккумуляторов, А·ч	2×6 (10,8 В)
Рабочая температура, град.	от –40 до + 45

Внутренние часы фиксируют день, месяц, год, час, минута, секунда

Ленточный регистратор

Дисплей	¼ VGA 320×240
Клавиатура	27 клавиш
Память	Flash. 1МБ, (до 12 МБ)

Прибор фиксирует: измеренные значения силы тяжести, исправленные значения силы тяжести, наклоны чувствительной системы относительно осей X и Y, температуру чувствительной системы, время, поправки за лунно-солнечные вариации, координаты точки наблюдения. Гравиметры применяют в качестве набортных приборов при морской и воздушной съемке. После удара равносильного 20g изменение отсчета не превышает 5 мкГал.



Рис. Подготовка гравиметров CG-5 к измерениям

2.3 Гравиметры с металлической чувствительной системой

1. Устройство гравиметров Ла Коста Ромберг





Рис. Внешний вид и верхней панели гравиметра Ла Коста Ромберг

Главным отличием гравиметров Ла Коста Ромберг (La Coste&Romberg, L&R) от многих распространенных моделей отечественных и зарубежных приборов является то, что их чувствительная система изготовлена из металлических сплавов. Это обстоятельство определяет многие особенности

как свойств аппаратуры так и работы с ней., в первую очередь значительно более высокую в сравнении с кварцевыми гравиметрами механическую прочность, В основу устройства гравиметра L&R положен принцип вертикального сейсмографа Голицына.

Принципиальная схема гравиметра относительно проста и отличается высокой надежностью. Коромысло с пробной массой около 10 г удерживается в горизонтальном положении металлической пружиной нулевой начальной длины, расположенной под углом примерно 45° к горизонтали. Сила натяжения пружины пропорциональна ее длине. Осью подвеса коромысла служат две симметричные расположенные горизонтальные пружины, связанные с корпусом прибора.

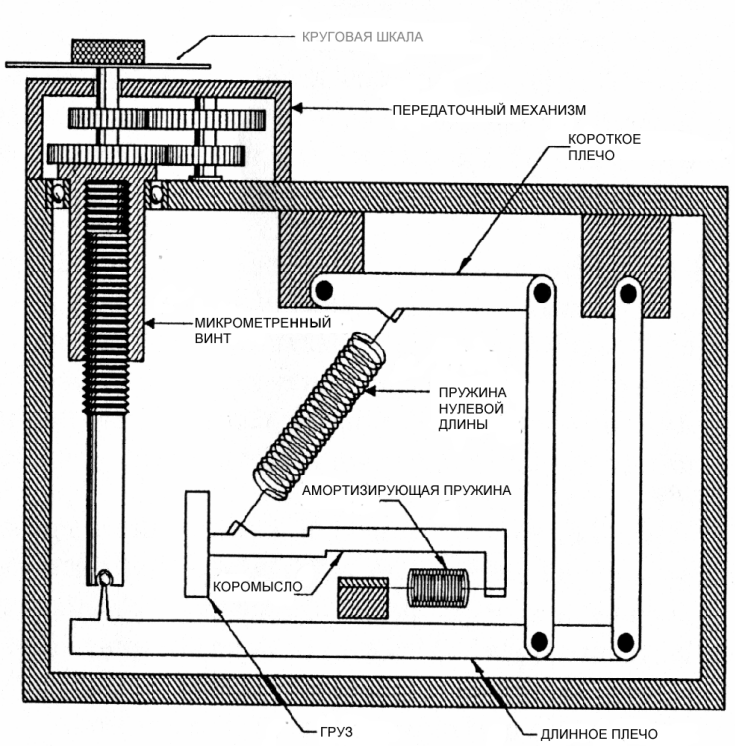


Рис. . Принципиальная схема устройства гравиметров L&R

Измерение силы тяжести выполняется компенсационным способом и заключается в приведении коромысла горизонтальное положение. Компенсация достигается перемещением верхней точки подвеса удерживающей пружины, но не посредством измерительной и диапазонной пружин, как у кварцевых гравиметров, а при помощи присущей только приборам L&R рычажной системы. Рычаги перемещаются с помощью высокоточного винта, который в свою очередь приводится во вращение от микрометренного винта передаточным механизмом. В результате такого устройства чувствительной системы цена деления, зависит главным образом не от механических качеств измерительных пружин, а от свойств и точности исполнения деталей рычажной системы и микрометренного винта. Благодаря этому коэффициенты калибровки гравиметров L&R изменяются со временем незначительно. Амплитуда свободного хода рабочих элементов гравиметра

не превышает 0.1 мм, и при ударах, толчках, сотрясениях они не могут набрать инерцию, достаточную для возможного их повреждения. Чувствительная система прибора во время его хранения и транспортировки до места работы и между пунктами наблюдений арретируется, что является существенным преимуществом по сравнению с кварцевыми приборами. Фиксация системы происходит таким образом, что основная пружина не растягивается; вследствие чего не происходит значительного изменения физико-механических свойств ее металла, что также способствует стабильности характеристик прибора.

Для защиты от воздействия перепадов атмосферного давления чувствительная система гравиметра изолирована от внешней воздушной среды, кроме того, в качестве дополнительной меры на рычаге установлен барометрический компенсатор.

Изготовленная из металла с большим коэффициентом температурного расширения, чувствительная система гравиметра требует поддержания постоянной температуры внутри прибора. Это достигается с помощью встроенного термостата. Температура термостатирования прибора не регулируется, а остается постоянной для каждого прибора, установленной на заводе-изготовителе, и составляет, как правило, 50-54°С.

Внешне гравиметр L&R моделей D и G представляет собой параллелепипед с размерами 18×20×25 см, весом 3.2 кг. На верхней панели расположены микрометренный винт (круговая шкала), счетчик оборотов, жидкостные и (если установлены) электронные уровни, окуляр микроскопа, винт перестройки диапазона измерений, выключатель подсветки микроскопа и индикации напряжения аккумулятора и температуры прибора, винт арретира чувствительной системы, шнур подключения внешнего электропитания. Головки нивелировочных винтов прибора в отличие от многих других типов гравиметров расположены над верхней панелью. Внизу лапки заканчиваются остриями, поэтому работа с прибором возможна только при установке на твердую подставку – металлическую или деревянную.

В дополнение к обычным жидкостным уровням гравиметры могут оборудоваться электронными уровнями. Точность установки жидкостных уровней порядка 10 секунд, электронных – около 0.5 секунды дуги. Последние предпочтительнее не только в силу высокой точности установки прибора, но еще и тем, что на электронные уровни значительно более устойчивы к влиянию низких температур.

Подготовка приборов к работе.

*Температурный режим***.** Соблюдение температурного режима следует считать одним из важнейших залогов достижения высокого качества измерений. В инструкции фирмы-изготовителя по эксплуатации гравиметра указано, что прибор должен быть подключен к электрическому питанию для прогрева до рабочей температуры не менее, чем за 4 часа до начала работы. Опыт доказывает необходимо, чтобы приборы в течение всего полевого сезона вообще не отключались от источников питания и всегда были в состоянии рабочей температуры, даже в период переездов. Данное условие

определяет линейность смещения нуль-пункта (и, в конечном итоге, качество съемки) на период всего полевого сезона.

В холодное время года прибор не менее, чем за 1 час до начала работы должен быть вынесен из помещения для адаптации к температуре внешнего воздуха.

Производство измерений на пункте. Гравиметр устанавливается на подставке, выводится в горизонт. Разарретировать прибор (для L&R), повернув закрепительный винт арретира против часовой стрелки до упора). Световой индекс вращением круговой шкалы (микрометренного винта) выводится в нулевое положение. Для гравиметров это L&R - своя характерная линия отсчёта, которая обозначена на этикетке, расположенной на верхней панели прибора.

На каждом пункте при работе с гравиметрами L&R с механической системой и гравиметрами ГНУ берутся и записываются три отсчета с точностью 0.1 наименьшего деления шкалы, т.е. до третьего знака после запятой целого оборота (по образцу 67.486 для гравиметров L&R или 9.478 для гравиметров ГНУ). Третья значащая цифра после запятой определяется по нониусу (гравиметр ГНУ) или по круговой шкале (L&R). Расхождение между отдельными отсчетами не должно превышать наименьшего деления шкалы; из трех отсчетов выводится среднее значение с записью в журнал, в соответствующую графу. Кроме того, записывается номер пикета, время, температура прибора.

При взятии отсчетов вследствие возможного люфта механических деталей отсчетной системы окончательное подведение индекса к нулевой риске необходимо выполнять всегда с одной стороны. При работе с гравиметрами L&R с системой Aliod записывается один отсчет с дисплея прибора после окончательной стабилизации отсчета.



Рис. Измерение с гравиметром CG-5 и подготовка приборов L&R к работе

При подготовке гравиметра к процессу измерений следует настроить прибор на диапазон, соответствующий измеряемым величинам силы тяжести. Ожидаемые значения рассчитываются с учетом расположения участка по широте (т. е. по нормальному полю), высот измеряемых пунктов (приближенно, по топографической карте), возможных амплитуд

предполагаемых аномалий. Для гравиметров L&R с механической системой осложнений практически не должно быть, так как диапазон измерений у них порядка 200 мГал, что более чем достаточно при детальной съемке. Для настройки рабочего диапазона на пункте по счетчику выставляется необходимый отсчет с помощью круговой шкалы (микрометренного винта), затем вращением диапазонного винта отверткой индекс выводится в нулевое положение. Один полный оборот диапазонного винта соответствует приближенно 74 мГал. После перестройки диапазона необходимо провести ввод прибора в динамический режим.

Все приборы ежегодно должны проходить поверку и калибровку на полигоне одного из действующих специализированных гравиметрических предприятий (СГП), которые по результатам эталонирования выдают на каждый прибор сертификат. К 2010 г. В нашей стране существует единственный аттестованный полигон в России. Он расположен в Свердловской области (Нижнетагильский гравиметрический полигон, Баженовская экспедиция, СГП № 4).

Оператор должен помнить!

Перед началом работы (снятием отсчёта) аппаратура должна быть введена в температурный и динамический режимы; уровни должны быть поверены и отъюстированы в соответствии с моделью прибора. Поверки уровней выполняются в начале и по окончании рейса с обязательной записью в журнал.

Гравиметрические измерения выполняются отдельными рейсами, представляющими собой совокупность последовательных наблюдений, объединенных общим учетом смещения нуль-пункта гравиметра, полученного по результатам измерений на опорных точках. Отрезки гравиметрического рейса, заключенные между двумя опорными пунктами, называются звеньями. Так как общее смещение нуль-пункта по всему рейсу практически никогда не является линейным, учет нуль-пункта производится по отдельным звеньям.

Гравиметрический рейс начинается и заканчивается на пунктах опорной сети. При ударе или сотрясении гравиметра необходимо вернуться на 3 пункта назад и повторить измерения с соответствующими отметками в полевом журнале.

Во время производства наблюдений запрещается любая регулировка оптической системы – фокусировка шкалы окуляра, а также замена лампочки (у гравиметров ГНУ), так как любые действия подобного рода изменяют характер взаиморасположения светового индекса и шкалы и ведут к искажению отсчетов. Поэтому при необходимости регулировки следует выполнять или перед началом рейса, или на опорных пунктах с обязательным повторением отсчета.

Необходимо тщательно исследовать и учитывать при обработке данных гравиметрических измерений смещение нуль-пункта. Подготовка приборов к работе и процесс полевых измерений должны быть всецело направлены на

то, чтобы смещение нуль-пункта было минимальным по величине и максимально приближенным к линейному в течение всего рейса.

На основе наземного гравиметра «Ла Коста-Ромберг» построен лунный стационарный гравиметр. В декабре 1972 г. гравиметр доставлен на Луну экспедицией «Апполон-17» для изучения приливных явлений на Луне.

Современные гравиметры для наземной съемки позволяют определять аномалии 0,005 мГал и на первый взгляд исчерпаны возможности дальнейшего повышения точности, поскольку такие же по интенсивности помехи, создаются неоднородностями приповерхностного слоя. С нашей точки зрения именно для изучения поверхностного слоя следует добиваться дальнейшего повышения точности гравиметров, что позволит применять гравиразведку для решения инженерно-геологических задач. В современной гравиразведке применяются навигаторы для вынесения проектных пунктов наблюдения на местность и мобильные спутниковые средства определения координат (рис.). Современные гравиметры обладают малым смещением нуля, что влечет значительное сокращение затрат на создание опорных сетей. Это сделало гравиразведку высокопроизводительным методом, который может применяться для решения задач гидрогеологии геологии и горно-технических задач.



Рис. Измерения с гравиметром Содин. Прибор установлен на подставку, которая обеспечивает уменьшение влияния микросейсм.

2.4 Инерциальные гравиметры

Инерциальной гравиметрией называется определение вектора ускорения силы тяжести по результатам измерений с инерциальной системой на подвижном носителе. В качестве инерциальных датчиков используются прецизионные весы, акселерометры, гироскопические устройства. Инерциальная гравиметрия базируется на том же уравнении, что и инерциальная навигация:

$$m \cdot d^2\mathbf{r}/dt^2 = m\boldsymbol{g}_1 + \boldsymbol{F}$$

где $\mathbf{r}$ – радиус-вектор точечной пробной массы m, $m\mathbf{g}_1$ – вектор силы тяготения, $\boldsymbol{F}$ – вектор-сила, с которой опора действует на пробную массу.

Основная задача инерциальной навигации – определение вектора $\mathbf{r}$ по заданному вектору тяготения $m\mathbf{g}_1$ и измеренному вектору $\boldsymbol{F}$. Задача инерциальной гравиметрии – определение силы тяжести (суммы силы тяготения и центробежной силы, обусловленной вращением Земли) по траекторным измерениям вектора $\mathbf{r}$ и измеренному вектору $\boldsymbol{F}$:

$$\mathbf{g}_1 = d^2\mathbf{r}/dt^2 - \boldsymbol{F}/m.$$

$\mathbf{F}/m$ – удельная негравитационная сила, действующая на точечную пробную массу, имеет размерность ускорения. Поэтому удельную силу $\boldsymbol{F}/m = \boldsymbol{w}_к$, измеряемую акселерометрами, называют кажущимся ускорением, а $\mathbf{g}_1$ – ускорением силы тяготения. $\boldsymbol{w}_к$ – удельная упругая сила, действующая со стороны корпуса прибора на пробную массу. Величину $\mathbf{w}_a = \mathbf{g}_1 + \mathbf{w}_к$ называют абсолютным ускорением

Обозначим угловую скорость вращения Земли $\boldsymbol{\omega}$. Если пробная масса неподвижна на поверхности Земли и совершает с ней суточное вращение вокруг оси, абсолютное ускорение $\mathbf{w}_a$ есть центростремительное ускорение. Тогда

$$\mathbf{w}_a = \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r})$$

$$\mathbf{g}_1 = \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) - \mathbf{w}_к.$$

Векторную величину $\mathbf{g} = \mathbf{g}_1 - \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r})$ называют силой тяжести (удельной силой тяжести).

Для неподвижного относительно Земли тела $\mathbf{g} + \mathbf{w}_к = 0$. Обозначим $g_к = -w_к$, получим **основное уравнение навигации**:

$$\mathbf{w}_a = \mathbf{g}_1 + \mathbf{w}_к = \mathbf{g} + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) - \mathbf{g}_к.$$

Тиль А.В. предложил использовать гравитационное поле Земли для определения координат подводных лодок. Для этого он разработал высокоточный быстродействующий морской гравиметр «Стен» с магнитным подвесом инерциального тела. Прибор прошел испытания в 1982 г. и был включен в состав навигационного комплекса подводных лодок «Тайфун».

Основное уравнение инерциальной гравиметрии:

$$\mathbf{g} = \mathbf{g}_к + \mathbf{w}_a - \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r})$$

В ходе проведенных испытаний Тиль А.В выполнил попутную гравиметровую съемку акватории Белого моря, в ходе которой выявил аномалии перспективные на наличие полезных ископаемых.

Абсолютное ускорение w_a заменим относительным, поскольку все траекторные измерения выполняются относительно Земли.

$$\mathbf{w}_a=\mathbf{w}+2(\boldsymbol{\omega}\times\mathbf{v})+(\boldsymbol{\omega}\times\mathbf{r}),$$

где **v** и **w** – скорость и ускорение пробной массы во вращающейся с угловой скоростью системе координат.

Основное уравнение инерциальной гравиметрии в векторной форме примет вид:

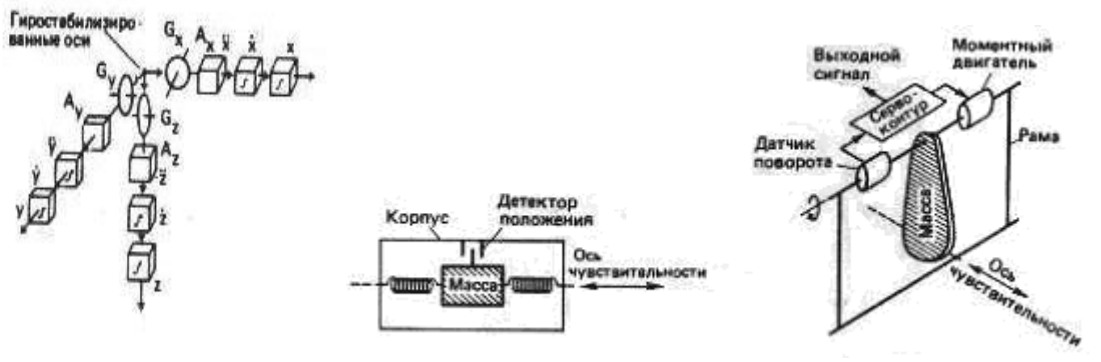
$$\mathbf{g}=\mathbf{g}_к+\mathbf{w}+2(\boldsymbol{\omega}\times\mathbf{v}).$$

Совместим начало системы отсчета с подвижной точкой наблюдения – положением центра пробной массы. Вертикальная ось направлена по внутренней нормали к поверхности земного эллипсоида (Z), горизонтальные оси направлены на север (N) и восток (E). Уравнение инерциальной гравиметрии в координатах примет вид:

$$g_N=g_{кN}+2\omega v_E \sin B$$
$$g_E=g_{кE}+w_E+2\omega(v_N \sin B+v_Z \cos B)$$
$$g_Z=g_{кZ}+w_Z+2\omega v_E \cos B,$$

где B – геодезическая широта точки наблюдения.

Инерционное измерительное устройство состоит из трех ортогональных акселерометров, ориентация которых непрерывно контролируется системой гироскопов. Измерительное устройство снабжено компьютером, источником питания, блоками хранения, контроля и вывода данных.



а б в

Рис. 11.1 Инерциальная система, состоящая из гироскопов, акселерометров, и интеграторов (а). Инерциальные системы с поступательным перемещением массы (б) и вращательным движением массы (в)

Акселерометры измеряют составляющие вектора удельной силы, действующие на пробную массу в направлении измерительных осей. Они могут быть выполнены в виде систем с поступательным или вращательным перемещением массы. Выходной сигнал акселерометра содержит информацию о местоположении носителя в гравитационном поле. Из-за эквивалентности инерциального и гравитационного ускорений их разделение возможно лишь с привлечением дополнительной информации. Учет гравитационного поля и двойное интегрирование позволяют определить местоположение инерционным способом.

Чтобы оценить величины измеряемых ускорений, необходимо знать в любой момент времени соотношение между тремя системами координат:

- инерциальной системой отсчета, положение координатных осей в которой определяется осью вращения Земли и направлением на точку весеннего равноденствия;
- приборной системой координат фиксированной относительно носителя;

фиксированной относительно Земли местной топоцентрической системой.

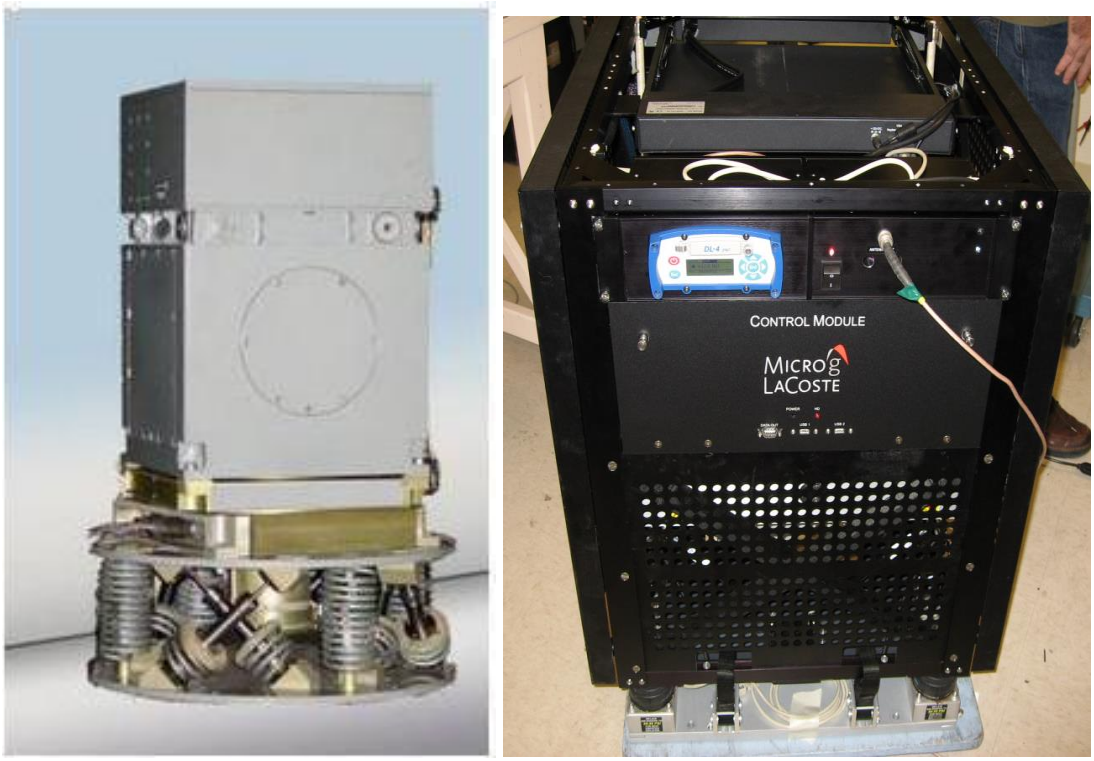


Рис. Гравиметр ГИ-1 (а). Аэрогравиметрический комплекс фирмы Scintrex (б)

В зависимости от вида измерительной системы и способа сохранения ориентировки различают следующие системы:

- систему (связанную с носителем), ориентировка осей которой рассчитывается аналитически на основе сигналов, полученных в результате обработки некоторой исходной информации;
- систему, находящуюся на карданной платформе, положение которой стабилизировано в пространстве или же сохраняется неизменная ориентировка в локально-уровенной системе координат.

Измерения с инерциальной системой, установленной на вертолете или автомобиле, проводятся в следующем порядке:

- прогрев измерительного блока до рабочей температуры и ориентирование платформы в начальной точке маршрута;
- переезд на новую точку с определением ускорений и углов поворота не реже чем через 20 мс, интегрирование для определения скорости на интервалах времени не более 10 сек;

- остановка на новой точке, определение координат, возмущения силы тяжести и уклонения отвеса с одновременным измерением на контрольном пункте;
- дальнейшее следование по маршруту;
- привязка к опорным пунктам через 1 – 2 часа;
- в некоторых случаях повторное прохождение маршрута.

2.5 Криогенные гравиметры

Сверхпроводящий (криогенный) гравиметр. Явление сверхпроводимости заключается в том, что при температуре ниже критической сопротивление материала резко падает до величины, которую не удается измерить. В настоящее время интенсивно ведутся работы по созданию высокотемпературных сверхпроводников с критической температурой близкой к температуре жидкого азота.

Если сверхпроводящий объект поместить в магнитное поле, то в его поверхностном слое возникает электрический ток, магнитное поле которого противоположно приложенному полю. Если над кольцом, в котором циркулирует ток, поместить сверхпроводящую сферу, то на ее поверхности индуцирует ток. Это приводит к появлению сил отталкивания между сферой и кольцом. В результате сфера повисает (левитирует) над кольцом на высоте зависящей от величины силы тяжести.

Пробная масса представляет собой алюминиевую сферу диаметром 25 мм покрытую тонким слоем свинцом. Критическая температура алюминия 1.2 К, свинца – 7.2 К. В отличие от ранее рассмотренных гравиметров в данном случае пробная масса удерживается в положении равновесия магнитной силой. Сила, действующая на единицу поверхности пробной массы, охлажденной до температуры ниже критической равна

$$F=-B^2_{эфф.}\mathbf{n}/8\pi$$

где $B_{эфф.}$ сумма приложенного магнитного поля и поля, возбуждаемого во внешнем пространстве циркулирующими по поверхности сверхпроводника токами.

Пробная масса представляет собой сверхпроводящую сферу, подвешенную в поле двух соосных соленоидов. Уравнение равновесия пробной массы

$$Mg_z \le -1/8\pi \int B^2_{эфф.} n_z ds$$

где M – масса сферы.

Первый сверхпроводящий гравиметр построен в конце 60-х годов XX века. Чувствительная система такого гравиметра представляет собой камеру внутри которой поддерживается температура ниже критической, внутри камеры находятся сверхпроводящая сфера и сверхпроводящие катушки. Магнитное поле сверхпроводящих катушек электромагнита поддерживается без внешнего источника энергии и стабильно во времени (см. рис. 2.5).

При сверхпроводящем состоянии пробной массы и катушек с током, прибор приобретает долговременную стабильность. Магнитное поле соленоидов поддерживает массу в состоянии левитации. Изменения **g**

вызывают смещения пробной массы от исходного положения. Эти смещения регистрируются емкостным индикатором малых перемещений и с помощью контура обратной связи компенсируются. Компенсирующий ток в цепи обратной связи создает дополнительное магнитное поле, которое непрерывно удерживает сферу в исходном положении. Величина компенсирующего тока в управляющей катушке является мерой силы тяжести.

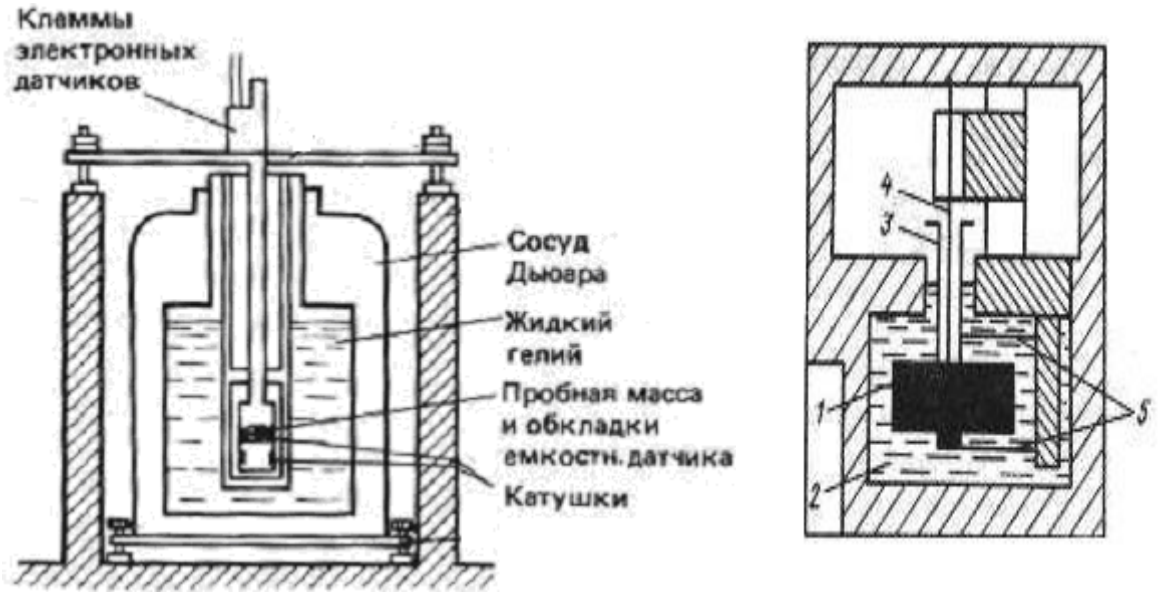


Рис. 2.5 Схема сверхпроводящего гравиметра GWR (слева). Схема струнного гравиметра (справа):
1 – груз, 2 – вязкая жидкость, 3 – трубка, 4 – струна, 5 –пружины, ограничивающие горизонтальные перемещения груза.

Температура внутри камеры с пробной массой поддерживается неизменной до нескольких миликельвинов. Эта камера помещена в медный контейнер с дополнительным магнитным экраном. Наклон прибора контролируется криогенными наклономерами. Градуировку прибора проводят с помощью стального шара наполненного ртутью (325 кг), помещаемого на расстоянии 25 – 50 см от гравиметра. Гравиметр не имеет смещения ноля.

Сверхпроводящие гравиметры используются для изучения долгопериодических изменений силы тяжести в Калифорнийском университете, Институте прикладной геодезии во Франкфурте-на-Майне, Бельгийской королевской обсерватории в Брюсселе.

Сверхпроводящий гравиметр SG C024 установлен в гравиметрической обсерватории Тейбл – Маунтин в Боудлере (шт. Колорадо, США). В результате испытаний из 208100 бросков точность гравиметрических измерений оказалась равной 2 нГал за 3 часа наблюдений. В Боудлере проводятся непрерывные измерения временных изменений силы тяжести.

Сверхпроводящий гравиметр GWR выпускается фирмой GWR-Instrumtnts (Сан-Диего, Калифорния, США). В Мацусиро (Япония) сверхпроводящий гравиметр GWR TT70 установлен в старом туннеле, пробитом в скальных породах. Показания гравиметра, GPS-приемника, атмосферное давление,

температура и дру Сверхпроводящий (криогенный) гравиметр. Явление сверхпроводимости заключается в том, что при температуре ниже критической электрическое сопротивление материала резко падает до величины, которую не удается измерить. Критическая температура алюминия 1.2 К, свинца – 7.2 К. В настоящее время интенсивно ведутся работы по созданию высокотемпературных сверхпроводников с критической температурой близкой к температуре жидкого азота.



Рис. Криогенный гравиметр GWR

В отличие от ранее рассмотренных гравиметров в данном случае пробная масса удерживается в положении равновесия магнитом. В криогенных гравиметрах в качестве чувствительного элемента используется сверхпроводящая сфера, находящаяся во внешнем постоянном магнитном поле двух соосных соленоидов. Сверхпроводящая масса m удерживается в воздухе, если выполняется условие:

$$mg < -\frac{1}{8\pi}\int_S T_n ds', \qquad (4.14)$$

где n - проекция единичного вектора к поверхности сверхпроводящей сферы на вертикальную ось, T - индукция магнитного поля.

Первый сверхпроводящий гравиметр построен в конце 60-х годов XX века. Сверхпроводящие гравиметры используются для изучения долгопериодических изменений силы тяжести в Калифорнийском университете, Институте прикладной геодезии во Франкфурте-на-Майне, Бельгийской королевской обсерватории в Брюсселе и в других обсерваториях.

2.6 Струнные гравиметры

Идея струнного гравиметра высказана советским физика Л.Н. Мандельштаму и Н.Д Папалекси. Струнные гравиметры применяют при измерениях в движении, так как они практически безинерционные. Преимущество струнных гравиметров по сравнению с другими в том, что у них малое смещение ноля, высокая помехоустойчивость и острая направленность оси чувствительности.

Первый струнный гравиметр испытан на английской подводной лодке в 1949 г. В нашей стране первый струнный гравиметр, разработанный А.М. Лозинской в ВНИИГеофизике, испытан на надводном судне в 1956 г. Ею же создан гравиметр ГСД (гравиметр струнный с сильным демпфированием) в 1969 г. также для морских измерений. Рабочий диапазон ГСД 1,5 Гал, точность измерений 1,2 мГал.

Схема струнного гравиметра приведена на рис. 9.2. Масса 1 подвешена на струне 2. Струна, изготовленная из специального сплава, помещена между полюсами постоянного магнита и включена в колебательный контур с положительной обратной связью. Если на конец струны подать переменное напряжение, то струна начинает колебаться. Уравнение движения имеет вид:

$$Mgd\alpha - \sigma dz\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 0,$$

где M – масса груза, σ-плотность, α – угол между вектором силы натяжения и вектором силы тяжести. В силу малости угла α:

$$\frac{d\alpha}{dz} = \frac{\partial^2 x}{\partial z^2}.$$

Частота колебаний *f* идеально гибкой струны:

$$f = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{mg}{\sigma S}},$$

где *S* –площадь поперечного сечения струны, *m* – масса груза, σ - объемная плотность струны.

$$\frac{df}{f} = \frac{1}{2}\frac{dg}{g}$$

Для реальной струны в формулу вводится поправочный коэффициент. Для подавления колебаний инертной массы используется магнито-индукционный демпфер.

Преимущества струнного гравиметра – удобство для дистанционных измерений, неограниченный диапазон измерений и независимость результатов измерений от температуры, поскольку частота колебаний струны практически не зависит от упругих свойств материала, из которого она изготовлена. Недостаток струнных гравиметров слабая устойчивость к вибрациям и другим возмущающим ускорениям.

В приборе Томоды длина струны 25 мм, ширина 0,1 мм, толщина 0,01 мм изготовлена из сплава меди с бериллием Масса груза 20 г, частота колебаний струны 1,5 КГц.

Струнный гравиметрический комплекс «МАГИСТР» создан во ВНИИГеофизике для морской съемки. Он обеспечивает точность измерений 0,5 мГал.

Отечественный аэрогравиметрический комплекс «Гравитон – М» включает струнные гравиметры ГСД с жидкостным демпфированием, инерциальную систему для стабилизации гравиметров, систему радиовысотомеров и барометров, спутниковые системы для точных траекторных определений с дифференциальными фазовыми измерениями. Совместное использование гравиинерциальной измерительной системы, радиовысотомерных систем, современных ИНС и СНС, интегрированных в единый комплекс, позволяет получить поправку за вертикальные ускорения с погрешностью 0.4 – 0.5 мГал и проводить измерения с погрешностью 0.7 мГал в интервале осреднения 1 – 2 мин. Комплекс устанавливается на вертолеты Ми – 8 и Ка – 32 и самолет Ан –12. Завершение Государственной гравиметрической съемки масштаба 1:200000 в труднодоступных районах нашей страны планируется с применением этого комплекса.

При выполнении программы полета Космического аппарата «Апполон-17» с помощью струнного гравиметра были выполнены измерения на гравиметрическом профиле протяженностью 12 км насчитывающем 11 пунктов.

Струнные чувствительные системы использовались в гравиметрических комплексах «Чита», «ГМН», «Флагман», «Чекан», «Скалочник», «Гамс», «Гравитон» предназначенных для проведения для измерений на море и аэросъемки.

3. Скважинные гравиметры

в 1943 г. П.И. Лукавченко впервые в мире предложил проводить измерения силы тяжести в скважинах. Результаты своих теоретических исследований П.И. Лукавченко опубликовал в 1948 г. не смотря на то, что скважинные гравиметры еще не были созданы. Первые измерения были проведены только в 1954 г. С тех пор интерес к скважинной гравиметрии то иссякал, то возобновлялся вновь. В 1966 – 1967 гг. был проведен гравитационный каротаж (ГрК) в скважинах нефтяного месторождения Узень Южного Мангышлака. В 1970 г. гравитационный каротаж проводился на Краснокамском месторождении (Пермское Прикамье).

Гравитационный каротаж может применяться для решения следующих задач (Лукавченко П.И., 1975):

- определения плотности горных пород в условиях их естественного залегания,
- решения вопросов структурной и региональной геологии (выявление разломов, прослеживание геологических границ и др.),
- поиска рудных тел,
- контроль за смещением водонефтяного и водогазового контакта,
- определения плотности промежуточного слоя для наземной гравиразведки,

- определения аномального вертикального градиента поля силы тяжести,
- определения механических свойств горных пород.

Первые скважинные гравиметры ГСА-110 и ГСЭ-110 были разработаны во ВНИИгеофизике для скважин диаметром 110 мм. Точность измерений составляла 0.03 – 0.05 мГал. Кварцевая система помещалась в металлический герметический корпус, который в свою очередь находился в сосуде Дьюара. Для сохранения вертикальной ориентации система помещается на корданном подвесе. Контроль за смещением нуль-пункта проводился путем повторных измерений в одних и тех же точках. Гравиметр ГС-110 имел диаметр 110 мм, высоту 1445 мм, массу около 60 кг.С прибором можно было проводить измерения в скважинах глубиной до 2500 м, при температуре до 100° С. Диапазон измерений 200 мГал, с перестройкой 5000 мГал. Погрешность измерения 0,1 мГал.

Скважинные гравиметры должны быть телеуправляемыми, иметь небольшие размеры для спуска в скважину небольшого диаметра, сохранять работоспособность при давлении до 1 КПа и температуре до 300° С. Прибор должен обеспечивать измерения при наклоне скважины до 20° в диапазоне 500 мГал без перестройки. Результаты гравитационного каротажа позволяют определить кажущуюся плотность пластов пород пересекаемых скважиной. Для ее определения можно воспользоваться формулой:

$$\sigma_к = \frac{1}{4\pi k \cos\beta}(g_i - g_j + \frac{\partial g}{\partial z}h + g_i^p - g_j^p + \delta g)$$

β – угол наклона пласта, i, j – индексы точки измерения.

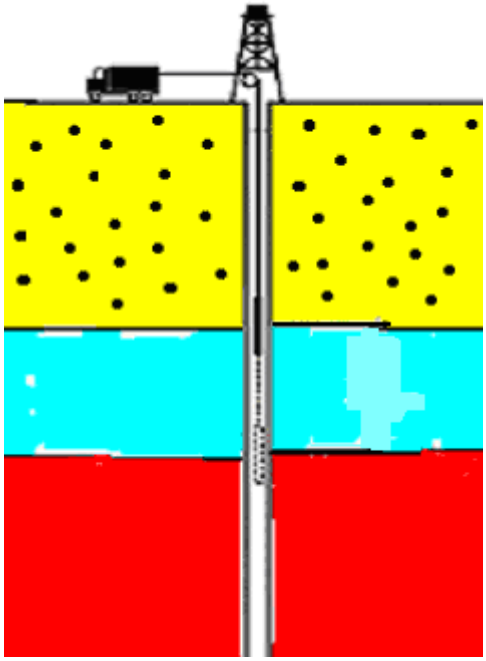


Рис. Схема проведения гравитационного каротажа

Для определения плотности пород в скважинах применяют гамма-гамма каротаж. Данные ГГК- П позволяют определить плотность пород в радиусе 15 см, гравитационный каротаж характеризует породы в блоке радиусом больше чем расстояние между точками наблюдениями. Принято считать, что

дальность исследования в 5 раз превышает расстояние между пунктами наблюдения. При погрешности измерения силы тяжести 0,1 мГал и расстоянии между точками измерения 100 м погрешность определения плотности составит 0,015 г/см^3.

В настоящее время ведется интенсивная разработка скважинных гравиметров фирмами LaCoste&Romberg и Scintrex. Фирма Scintrex в 2009 г. объявила о создании скважинного гравиметра Gravilog и его серийном производстве в 2010 г. В качестве датчика используется кварцевая система. Технические характеристики гравиметра Gravilog:

Погрешность при измерении длительностью 1 мин.	0,005 мГал
Диапазон	7000 мГал
Диаметр зонда	48 мм
Длина зонда	2 м
Максимальная глубина скважины	2000 м
Диаметр скважины	не более 57,2 см
Рабочая температура	от 0° до 70° С
Точность привязки	± 5 см

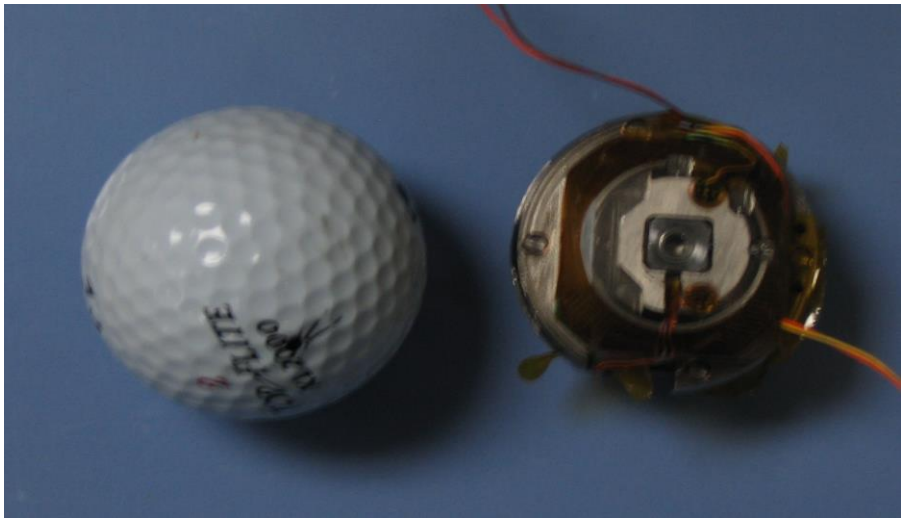


Рис. Корпус датчика скважинного гравиметра Gravilog

Гравиметрический датчик и его электронный блок располагаются ниже скользящего кольца, которое позволяет этой части системы вращаться вокруг вертикальной оси прибора. Остальная часть электронных компонентов и вспомогательные устройства расположены выше скользящего кольца. Наружный диаметр системы Gravilog составляет 48 мм. На Рисунке 5 изображен корпус гравиметрического датчика (гравиметрический шарик), в котором помещается кварцевый чувствительная система. По размеру он меньше мяча для гольфа.

Гравиметрический датчик помещен в шар диаметром 43 мм (рис.), который подвешен на кронштейне с электродвигателями наклона, которые, соединяясь с поворотным кольцом, образуют механизм выравнивания. Управление этим механизмом выравнивания осуществляется оператором, находящимся на поверхности. Углы наклона, измеряемые специально сконструированными

пузырьковыми уровнемерами, установленными на шарике, должны быть известны с точностью до двух угловых секунд. Регулирование температуры внутри шарика осуществляется на уровне микроскопических долей градуса. Для этого предусмотрены обогреватели, установленные по окружности шарика.

Связь прибора Gravilog с поверхностью осуществляется непрерывно с помощью модема. Оператор на поверхности управляет системой с помощью компактного ПК, на котором установлено программное обеспечение Scintrex Gravilog. Экран с графическим пользовательским интерфейсом, на котором отображаются данные моделирования, изображен на рис. 6.

Гравиметрический шарик подвешен на кронштейне с электродвигателями наклона, которые, соединяясь с поворотным кольцом, образуют механизм выравнивания. Управление этим механизмом выравнивания осуществляется оператором, находящимся на поверхности. Углы наклона, измеряемые специально сконструированными пузырьковыми уровнемерами, установленными на шарике, должны быть известны с точностью до двух угловых секунд. Регулирование температуры внутри шарика осуществляется на уровне микронных долей градуса. Для этого предусмотрены обогреватели, установленные по окружности шарика.

Связь прибора Gravilog с поверхностью осуществляется непрерывно с помощью модема. Оператор на поверхности управляет системой с помощью компактного ПК, на котором установлено программное обеспечение Scintrex Gravilog. Экран с графическим пользовательским интерфейсом, на котором отображаются данные моделирования, изображен на рис. 6. Программное обеспечение не соответствует современным достижениям гравиразведки, алгоритмы обработки практически совпадают с содержанием работ П.И. Лукавченко 1948 г.

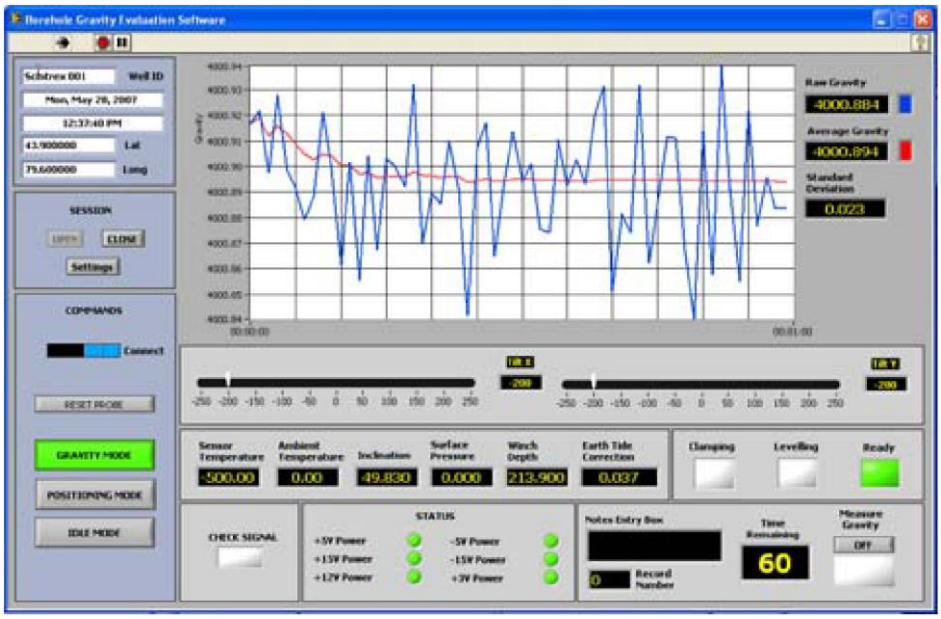


Рис. 6 Графический пользовательский интерфейс программы Scintrex Gravilog

Система Gravilog должна быть объединена с несколькими вспомогательными устройствами. Для эффективной работы гравиметра требуется датчик давления, инклинометр, гамма-локатор муфтовых соединений обсадной колонны, и боковой зажим. Часть системы, которая находится на поверхности, включает в себя барометр и каротажную систему (компактный ПК). Существенным достижением является резкое уменьшение времени измерений на точке. Прибор обладает высокой точностью определения местоположения точки измерения, что обеспечивается применением системы спутниковой привязки.

В 2008 – 2009 гг. разработчики провели успешные испытания прибора на нефтяных месторождениях в Северном море и в штате Мичиган. Проведены работы с целью контроля за изменением положения ВНК и ГНК. Прибор испытан на колчеданном месторождении вблизи г. Садбери (провинция Онтарио) в интервале 1200 – 1800 м с шагом 50 м в безрудной части и 10 м в рудном интервале. Погрешность измерений составила 0,006 мГал. Амплитуда выявленной аномалии силы тяжести 1,5 мГал. К сожалению, при проведении ГрК не проводилась регистрация суточных вариаций поля силы тяжести, не измерен вертикальный градиент силы тяжести. Главным недостатком прибора остается относительно низкая производительность.

Разработки в области гравитационного каротажа (ГрК) поддерживаются нефтедобывающими предприятиями для исследований осадочных разрезов. Результаты ГК традиционно представляют в виде графиков плотности вдоль оси скважины и увязки разрезов. Однако современные вычислительные средства позволяют совместно обрабатывать результаты ГрК по скважинам и результаты наземных измерений силы тяжести. Результатом истолкования комплекса гравиметрических наблюдений должна быть пространственная плотностная модель. Это позволит осуществлять контроль за разработкой месторождений нефти и газа Наблюдение за перемещением газонефтяного контакта такие экспериментальные работы уже проводились в Омане, Аляске и в Северном море. Комплексное применение наземных и скважинных наблюдений имеет большие перспективы в рудной геофизике.

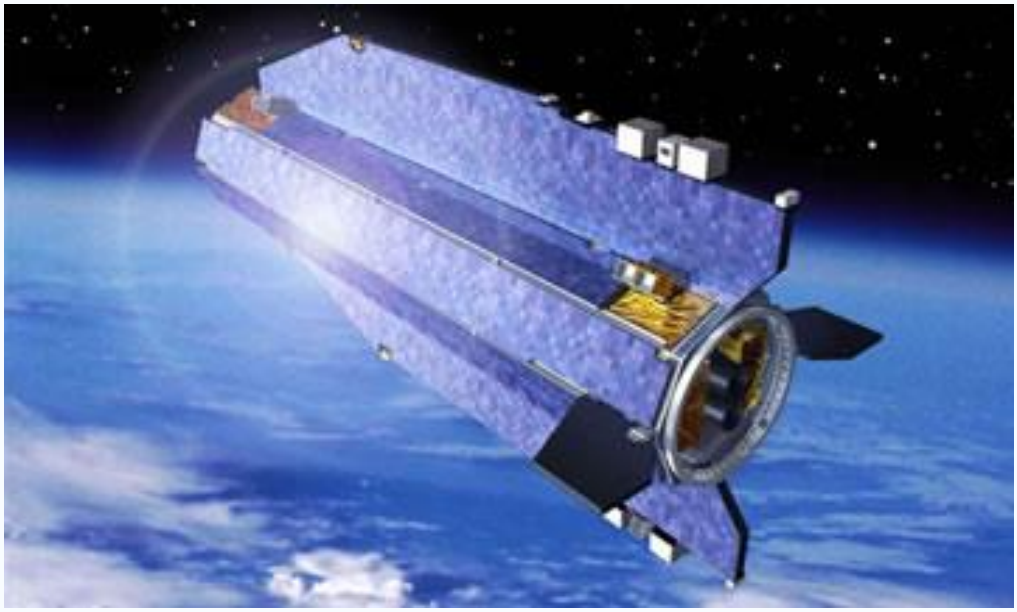
Заключение

Совершенствование гравиметрической аппаратуры продолжается. Совершенствование аппаратуры ведется и по пути разработки высокоточных индикаторов малых перемещений по пути использования иных физических эффектов. Усилия разработчиков направлены на создание переносных баллистических гравиметров для наземной гравиразведки, создание скважинных гравитационных градиентометров, на достижение более высокой точности измерений. Это приведет к увеличению объемов микрогравиразведочных работ, в том числе, для решения задач инженерной геологии.

Широкие перспективы открываются для комплексных высокоточных наземных гравиметрических работ и гравитационного каротажа. По-видимому, следует ожидать появления скважинных гравиметров с непрерывной регистрацией. Крайне необходимо создание пакетов обработки комплексных наземных и скважинных гравиметрических измерений, совершенствование методики исследований.

Большие перспективы в гравиразведке связаны с инерциальными гравиметрами, которые позволяют измерять три компоненты вектора силы тяжести и получить более полную характеристику измеряемых полей. По тем же причинам возможно возобновление производства вариометров, если будет преодолен их главный недостаток – низкая производительность.

Научно-исследовательский спутник **GOCE** (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer — «исследователь гравитационного поля и установившихся океанских течений» запущен в марте 2009 г. Главной полезной нагрузкой спутникаляется электростатический гравитационный градиентометр состоящий из 6 акселерометров и предназначенный для измерения гравитационного поля Земли.



Низкая орбита спутника и высокая точность акселерометров в 10^{-12} м/с^2 позволят улучшить точность определения геоида до 1-2 см. С этой целью спутник помещён на исключительно низкую орбиту. Для коррекции орбитыго торможения на спутнике установлен ионный двигатель.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии
_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению контрольной работы
по дисциплине «Магниторазведка»
для студентов всех форм обучения специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации «Геофизические методы
поисков и разведки МПИ (РФ)»

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
1. Задания контрольной работы
2. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы
   2.1 Оформление контрольной работы
   2.2 Критерии оценки контрольной работы
3. Методические рекомендации по составлению глоссария
4. Рекомендуемая литературы для выполнения контрольной работы

Введение

Данные методические указания разработаны в помощь для выполнения контрольной работы по курсу «Магниторазведка».

В методических рекомендациях содержится: перечень вопросов контрольной работы, методические рекомендации по выполнению контрольной работы, перечень рекомендуемых учебных изданий, интернет-ресурсов, дополнительной литературы.

Внимательно прочитайте задание контрольной работы, подготовьте рекомендуемую вам литературу (при необходимости), ознакомьтесь с рекомендациями по выполнению работы, с критериями оценивания работы.

Прежде чем сдать выполненную контрольную работу преподавателю на проверку, выполните самооценку по заданным критериям.

Контрольная работа является обязательной для каждого обучающегося и определяется учебным планом. Наличие положительной оценки по контрольной работе необходимо для получения промежуточной аттестации по дисциплине «Магниторазведка».

1. Задания для контрольной работы

Вариант № 1

1. История возникновения теории земного магнетизма.
2. Нормальное магнитное поле Земли и гипотезы его происхождения.

Вариант № 2

1. Инверсии магнитных полюсов Земли. Опишите в чем отличие магнитного полюса Земли от геомагнитного?
2. Применение исследований магнитного поля Земли в археологии.

Вариант № 3

1. Роль отечественных ученых в развитии метода магниторазведки.

2. Вариации магнитного поля Земли и их причины. Способы учета вариаций при проведении магниторазведочных работ.

Вариант № 4

1. Природа магнитного поля Земли (рассмотреть гипотезы, в том числе теории гидромагнитного динамо).
2. Палеомагнетизм и археомагнетизм.

Вариант № 5

1. История изучения Курской магнитной аномалии (КМА).
2. Современное состояние развития магниторазведочной аппаратуры и оборудования.

Вариант № 6

1. Магнитные свойства горных пород.
2. Вариации магнитного поля Земли и методы их учета.

Вариант № 7

1. Прямая и обратная задачи магниторазведки.
2. Нормальное магнитное поле Земли и гипотезы его происхождения.

Вариант № 8

1. Единицы измерения магнитных величин в системах СГС и СИ. Напряженность магнитного поля и магнитная индукция.
2. Структура магнитного поля Земли (нормальное и аномальное поля).

Вариант № 9

1. Палеомагнетизм и археомагнетизм. Физическая основа применения этих методов и решаемые задачи.
2. Региональные и локальные магнитные аномалии. Понятие положительной и отрицательной аномалий.

Вариант № 10

1. Применение исследований магнитного поля Земли в археологии.
2. Современное состояние развития магниторазведочной аппаратуры и оборудования.

Вариант № 11

1. Назначение, устройство, принцип действия и область применения протонных магнитометров
2. Магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость горных пород.

Вариант № 12

1. Назначение, устройство, принцип действия и область применения квантовых магнитометров
2. Индукционная и остаточная намагниченность пород и причина их образования. Виды остаточной намагниченности.

Вариант № 13

1. Назначение, устройство, принцип действия и область применения феррозондовых магнитометров
2. Региональные и локальные магнитные аномалии. Понятие положительной и отрицательной аномалий.

Вариант № 14

1. Магнитосфера и радиационные пояса Земли. Способы их изучения.
2. Аналитическое выражение магнитного поля Земли как поля диполя.

Вариант № 15

1. Коэффициент размагничения и его роль в формировании индукционной намагниченности пород.
2. Рассчитать магнитное поле Z_0, H_0 и T_0 для Екатеринбурга.

2. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

Контрольная работа является индивидуальной самостоятельно выполненной работой студента.

Контрольная работа должна содержать следующие структурные элементы:

1. титульный лист;
2. содержание;
3. ответы на контрольные вопросы;
4. список использованных источников;
5. приложения (при необходимости).

Количество источников в списке определяется студентом самостоятельно, рекомендуемое количество от 5 до 10. При этом в списке обязательно должны присутствовать источники, изданные в последние 5 лет.

2.1 Оформление контрольной работы

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

– текст располагается на одной стороне листа белой бумаги формата А-4;

– размер шрифта - 14 Times New Roman, цвет – черный;

– междустрочный интервал – полуторный;

– поля на странице – размер левого поля – 2 см, правого – 1 см, верхнего - 2 см, нижнего – 2 см;

– текст должен быть отформатирован по ширине листа;

– на первой странице необходимо изложить план (содержание) реферата;

– в конце работы необходимо указать источники использованной литературы.

Список использованных источников должен формироваться в алфавитном порядке по фамилии авторов.

Включенная в список литература нумеруется сплошным порядком от первого до последнего названия. По каждому литературному источнику указывается: автор (или группа авторов), полное название книги или статьи, место и наименование издательства (для книг и брошюр), год издания; для журнальных статей указывается наименование журнала, год выпуска и номер. По сборникам трудов (статей) указывается автор статьи, ее название и далее название книги (сборника) и ее выходные данные. На использованные источники в тексте работы должны быть ссылки

2.2 Критерии оценки контрольной работы

Срок сдачи готовой контрольной работы определяется утвержденным графиком. В случае отрицательного заключения преподавателя студент обязан доработать или переработать контрольную работу. Срок доработки контрольной работы устанавливается преподавателем с учетом сущности замечаний и объема необходимой доработки.

Контрольная работа оценивается по системе:

Оценка "отлично" выставляется за контрольную работу, которая носит исследовательский характер, содержит грамотно изложенный материал, с соответствующими обоснованными выводами.

Оценка "хорошо" выставляется за грамотно выполненную во всех отношениях контрольную работу при наличии небольших недочетов в его содержании или оформлении.

Оценка "удовлетворительно" выставляется за контрольную работу, которая удовлетворяет всем предъявляемым требованиям, но отличается поверхносностью, в ней просматривается непоследовательность изложения материала, представлены необоснованные выводы.

Оценка "неудовлетворительно" выставляется за контрольную работу, которая не носит исследовательского характера, не содержит анализа источников и подходов по выбранной теме, выводы носят декларативный характер.

Обучающийся, не представивший в установленный срок готовую контрольную работу, которая была оценена на «неудовлетворительно», считается имеющим академическую задолженность и не допускается к сдаче экзамена или зачета.

3. Составление глоссария

Выполнить подбор и систематизации терминов, непонятных слов и выражений, встречающихся при выполнении контрольной работы. Расположить после основной части контрольной работы название и значение терминов, слов и понятий в алфавитном порядке.

Роль студента: прочитать материал источника, выбрать главные термины, непонятные слова; подобрать к ним и записать основные определения или расшифровку понятий; критически осмыслить подобранные определения и попытаться их модифицировать (упростить в плане устранения избыточности и повторений.

4.Рекомендуемая литературы для выполнения контрольной работы

Основная литература

1. Виноградов В.Б., Болотнова Л.А. Магниторазведка: Практикум, Часть I. Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2012.- 100 с.
2. Инструкция по магниторазведке: наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка /Под ред. Ю.С.Глебовского и В.Е.Никитского. Л.: Недра, 1981. 364 с.
3. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. Изд. 5-е, перераб. и доп. – Л.: Недра, 1979. 351 с.
4. Магниторазведка: Справочник геофизика/ Под ред. В.Е. Никитского и Ю.С. Глебовского. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. 470 с.
5. Соколов, А. Г. Полевая геофизика [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Г. Соколов, О. В. Попова, Т. М. Кечина. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2015. - 160 с. - 978-5-7410-1182-9. - Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/ 33649.html

Дополнительная литература

1. Гринкевич Г.И. Магниторазведка: Учебник. – Екатеринбург: УГГГА, 2001. – 308 с.

2. Гордин В.М., Розе Е.Н., Углов Б.Д. Морская магниторазведка. М.: Недра, 1986. -232 с.
3. Магнетизм горных пород / Т. Нагата; Пер. с англ. В. П. Августиновича и др. ; Под ред. д-ра физ.-мат. наук Г. Н. Петровой. - М. : Мир, 1965. - 347 с.
4. Миков Д.С. Методы интерпретации магнитных аномалий. Томск.: изд. ТПИ, 1975. -180с.
5. .Ревякин П.С. Бредовой В.В., Ревякина Э.А. Высокоточная магниторазведка. М.: Недра, 1986. 275 с.
6. Скважинная магниторазведка: Методические рекомендации в двух частях. Под ред. В.Н.Пономарева, А.Н.Авдонина.-Свердловск:ПГО «Уралгеология», 1984.-240 с.
7. Стадухин В.Д.,Туранов В.М., ШабановаН.Н. и др. Метод искусственного подмагничивания при поисках магнетитовых месторождений: Методические рекомендации.-Свердловск: УНЦ АН СССР.1982.
8. Тафеев Г.П., Соколов К.П. Геологическая интерпретация магнитных аномалий. Л.: Недра, 1981. 327 с.
9. Трухин В.И. Введение в магнетизм горных пород.-М.: Изд МГУ, 1973.
10. Храмов А.Н., Шолпо Л.Е. Палеомагнетизм: Принципы, методы и геологические приложения палеомагнитологии. Труды Всесоюзного нефтяного научно-исследовательского геологоразведочного института (ВНИГРИ). Выпуск 256., 1967.- 224 с.
11. Хасанов Д.И. Магниторазведка. Казань: Казанский государственный университет, 2009г.
12. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 592 с.

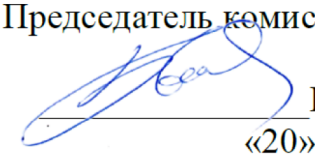
Единое окно доступа к образовательным ресурсам - Режим доступа: http://window.edu.ru

Составитель: _____ Л.А. Болотнова, доцент, к.г.-м.н.
подпись

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

Г. С. Возженников, Ю. В. Белышев

РАДИОМЕТРИЯ
И
ЯДЕРНАЯ ГЕОФИЗИКА

Екатеринбург – 2020

Ядерные методы в разведочной геофизике

Радиометрия и ядерная геофизика – научные дисциплины, входящие составными разделами в современную область знаний среди наук о земле – «разведочную геофизику».

В отличие от «большой геофизики», которая имеет отношение к физическим процессам глобальных масштабов, протекающим в околоземном пространстве или на значительных глубинах внутри Земли, – ***объектом*** исследований разведочной геофизики является земная кора и скрытые в ней минеральные ресурсы.

Предметом исследований разведочной геофизики являются физические поля, в особенности их деформации (аномалии), вызываемые присутствием в природных средах объектов, отличающихся по физическим свойствам от вмещающих пород.

Радиометрия объединяет в своем составе методы, основанные на изучении *естественной* радиоактивности природных сред, а ***ядерная геофизика*** имеет дело с *искусственно*-радиоактивными полями.

Несмотря на очевидную общность радиометрических и ядерно-геофизических методов, в основе которых лежит явление радиоактивности, существует различие в областях применения и характере решаемых задач с использованием естественной и искусственной радиоактивности.

Главной ***задачей*** радиометрических исследований является получение сведений, которые могут оказаться полезными (или решающими) при поисках, разведке и добыче радиоактивных руд и полезных ископаемых, генетически или парагенетически связанных с естественно-радиоактив-ными элементами (ЕРЭ). Радиометрические измерения при этом настолько же целесообразны, насколько необходимы, например измерения напряженности магнитного поля при поисках и разведке магнетитовых руд. Кроме главной, существуют и другие задачи, решение которых облегчается при наличии данных об особенностях поведения естественной радиоактивности природных сред в изучаемом регионе.

Хорошо известна высокая эффективность воздушной или автомобильной γ-спектрометрии для геологического картирования горных пород (например гранитов), отличающихся повышенными величинами кларков ЕРЭ. Минимальными значениями γ-полей характеризуются ультрабазиты, а также отложения известняков и некоторых других пород. Радиометрические

исследования широко используются при разведке и эксплуатации месторождений калийных солей, горючих сланцев, углей, фосфоритов, бокситов, редкометальной минерализации и других месторождений, связанных с аномальными проявлениями естественной радиоактивности.

Применение методов, основанных на использовании искусственной радиоактивности, оказалось эффективным на разных стадиях геологоразведочных работ (съемка, поиски, разведка и эксплуатация) применительно к очень широкому перечню полезных ископаемых.

Топливо (нефть, газ, уголь, уран), руды черных, цветных, редких и благородных металлов, месторождения нерудных полезных ископаемых (фосфориты, флюориты, сырье для керамической промышленности, асбест, пьезооптическое сырье), другие виды минерального сырья – объекты, поиски, разведку и эксплуатацию которых в настоящее время трудно проводить без привлечения ядерно-геофизических методов.

Останавливаясь на областях применения радиометрических и ядерно-геофизических методов, следует подчеркнуть, что получаемые с их помощью сведения об особенностях состава и свойств природных сред носят дистанционный характер. Речь идет об *изучении вещества на расстоянии*, что важно не только в практике геологоразведочных работ, но и для других целей. Так, с помощью γ-γ-плотномера, установленного на автоматической станции «Луна-13», были впервые получены сведения о плотности лунного грунта, а с помощью рентгенорадиометрического анализатора «РИФМА» (радиоизотопный флуоресцентный метод анализа) – сведения о составе лунных пород по трассам перемещения луноходов.

Существенным недостатком практически каждого из радиометрических методов является малая представительность получаемой информации, что объясняется большой поглощающей способностью твердых веществ по отношению к ядерным излучениям. По этой причине имеется отличие эффективности ядерных методов на разных стадиях геологоразведочных работ. Известно, что их поисковые возможности заметно уступают по эффективности результатам, получаемым на разведочной и, особенно, на эксплуатационной стадии, где ядерные методы практически незаменимы при контроле и управлении качеством минерального сырья.

В последние годы развивается новое направление в ядерно-геофизических исследованиях, связанное с дистанционным изучением особенностей состава околорудных гидротермально-измененных пород. Известно, что наличие ореолов гидротермального метасоматоза является

необходимой (хотя и недостаточной) предпосылкой для локализации оруденений гидротермального типа. Значительные размеры метасоматических ореолов, обычно во много раз превышающие размеры рудных тел, многократно увеличивают геохимическую «глубинность» ядерных методов, ориентированных на обнаружение и оконтуривание околорудных изменений.

Конечно, главная отдача от использования ядерных методов связана с ***разведкой*** месторождений, где они особенно широко используются для бескернового определения границ коллекторов нефти и газа, мощности угольных, рудных подсечений и других целей, включая решение проблемы дистанционной оценки линейных запасов полезной компоненты в рудных интервалах разведочных скважин. Несмотря на значительную отдачу в использовании ядерных методов при поисках и разведке, их применение на стадиях ***добычи*** и ***переработки*** минерального сырья рассматривается как не менее перспективное.

Известно, что совершенствование технологических процессов на добывающих и перерабатывающих предприятиях во многом зависит от достоверной и оперативной информации о качестве минерального сырья. Широко используемые для этой цели традиционные методы опробования и химического анализа во многих случаях не в состоянии удовлетворить требованиям современного производства в основном из-за низкой оперативности. Именно по этой причине на добывающих и перерабатывающих предприятиях все шире и с возрастающими масштабами используются геофизические, и в первую очередь ядерно-геофизические методы экспрессного контроля качества минерального сырья [15,33,38,75].

Помимо предприятий по добыче урановых руд, опыт радиометрического и ядерно-геофизического контроля и обогащения сырья имеется и на объектах других отраслей. Например, на предприятиях цветной металлургии для контроля и управления качеством оловосодержащего сырья широко используется рентгенорадиометрический метод (РРМ), основанный на явлении фотопоглощения γ-лучей и на законе Мозли. На основе этого метода разработаны эффективные технологии контроля качества полиметаллических руд на Pb и Zn, W и Mo, Ti в ильменитовом концентрате, Nb и Ta в редкометальных карбонатитах, другие полезные ископаемые, включая Sb, As и Ag. Для контроля качества руд легких элементов (Li, Be, B) высокоэффективными оказались методы нейтронной геофизики из-за высоких сечений захвата тепловых нейтронов ядрами лития и бора и благоприятной предпосылки для фотонейтронного расщепления бериллия.

На горнорудных предприятиях черной металлургии в последнее время начал применяться γ-абсорбционный метод, позволяющий получать оперативные сведения о содержании полезной компоненты в исследуемом материале так называемого квазибинарного состава. Наиболее подробно этот метод разработан применительно к хромитовым рудам Донского горно-обогатительного комбината (ГОКа), где использовался в различных вариантах, включая непрерывный анализ на конвейерной ленте.

Предложенная и разработанная уральскими геофизиками (Институт горного дела УрО РАН и кафедра ядерной геофизики УГГГА) технология γ-абсорбционных измерений на Cr оказалась универсальной, принципиально пригодной для квалиметрических целей при эксплуатации месторождений, руды которых по γ-лучевым свойствам могут быть отнесены к квазибинарным. Можно показать, что кроме хромитов к таким рудам относятся также марганцевые, железные и некоторые другие, например целестиновые, а также бруситы (если оценивать их качество по содержанию CaO).

Применительно к железным рудам γ-абсорбционный метод (ГАМ) может оказаться полезным при необходимости получения сведений о содержании так называемого общего Fe или когда связь между магнитной восприимчивостью и массовой долей железа оказывается неустойчивой.

При благоприятном поведении элементного состава матрицы γ-абсорбционный метод оказывается весьма эффективным при контроле и управлении качеством Mn-содержащего минерального сырья. В последнее время уже получены положительные результаты по использованию γ-просвечивания в условиях ферросплавного производства для целей дозирования марганцевого агломерата. Интересные результаты получены с помощью γ-абсорбционных измерений при оценке качества огнеупорного сырья (бруситы и продукты их переработки – периклазовый порошок).

В отличие от многочисленных разновидностей γ-γ-метода, работающих в режиме «отражения», γ-просвечивание позволяет получать экспрессную и достоверную информацию о ***количестве*** дробленого материала, прошедшего через рудоконтрольный пункт за произвольное время. Имеются и другие примеры эффективного использования методов ядерной геофизики в практике горнодобывающих работ, однако подлинные возможности ядерных и других геофизических методов для контроля и управления качеством минерального сырья еще далеко не исчерпаны.

Главным препятствием для более широкого использования прогрессивных «горно-геофизических» технологий является практическое

отсутствие геофизической службы на горно-обогатительных комбинатах ряда отраслей. Но даже и там, где такие службы в свое время были сформированы (урановое и редкометальное сырье, некоторые предприятия цветной и черной металлургии), ощущается острый недостаток геофизиков «горного профиля», поскольку отсутствует целенаправленная подготовка таких специалистов. В технических вузах горно-геологического профиля отсутствуют выпускающие кафедры горной геофизики, хотя необходимость в геофизиках для горно-металлургических предприятий является очевидной.

Важной областью применения ядерных методов является их использование для аналитических целей, особенно для надежного и экспрессного определения массовых долей редких и драгоценных металлов. Например, с помощью γ-активационного метода присутствие Au в геологических пробах определяется практически немедленно по интенсивности аналитической линии γ-излучения изомера Au^{197m}, образующегося в результате ядерной реакции (γ, γ′) за счет материнского изотопа Au^{197}. Для количественных определений Au широко используется также нейтронно-активационный анализ (НАА). В этом случае оказывается возможным определение Au в активированных пробах по искусственно-радиоактивному изотопу Au^{198}, который образуется в результате ядерной реакции (n, γ), идущей на тепловых нейтронах. При наличии достаточно мощных потоков нейтронного излучения, например с использованием нейтронных каналов реакторов атомных станций, оказывается возможным количественное определение содержания Au в пробах на кларковом уровне.

Нейтронный активационный анализ успешно используется в аналитических целях не только на Au, но и на другие элементы, включая редкоземельные. При этом в ряде случаев отсутствует необходимость «нейтронной накачки» исследуемых проб с помощью нейтронных каналов АЭС. К настоящему времени на вооружении геофизиков имеются полевые лаборатории с γ-спектрометрической аппаратурой и источниками нейтронов с выходом до 10^{11} н/с. Гамма-спектры активированных проб регистрируются с помощью полупроводниковых детекторов, а для расшифровки и интерпретации спектров применяется бортовая ЭВМ. Такая лаборатория для экспрессного многоэлементного анализа геологических проб создана, например, в Канаде [35]. Применение детекторов с высоким энергетическим разрешением позволяет идентифицировать одновременно более 20 редких элементов с пределом обнаружения 10^{-4} %. В полевых условиях используется также малогабаритная установка для многоэлементного нейтронно-активационного анализа, разработанная в США. В установке применяется калифорниевый

источник нейтронов с выходом $3 \cdot 10^7$ н/с (масса Cf^{252} – 12 мкг). Анализ ведется по короткоживущим радионуклидам, образующимся в результате ядерной реакции (n, γ). С помощью этой установки оказывается возможным экспрессное количественное определение Al и 12 редких элементов. Предел обнаружения Sc, V, Co, Se, Br, Ag и Dy - менее 1 мкг; Al, Ti, Cu и Gd – от 1 до 10 мкг; Ro и Ir – от 10 до 100 мкг [35].

Кроме отмеченных, имеются и другие варианты полевых ядерно-геофизических лабораторий, предназначенных для получения достоверной и экспрессной информации относительно особенностей элементного состава исследуемых природных сред. Например, на основе узкополосного дифференциального детектора (УДД) в НПО «Буревестник» разработана серия отечественных портативных рентгеновских приборов, обеспечивающих экспрессное определение ряда элементов, включая раздельное определение элементов со смежными атомными номерами, например Cr, Mn, Fe.

Особую роль в геологии и других отраслях знаний (археология, биология) играют способы датировки природных сред и живых организмов, в основе которых лежит постоянство скорости «остывания» любых, в том числе долгоживущих радионуклидов. К настоящему времени детально разработаны K-Ar, Rb-Sr, радиоуглеродный, U-Pb и другие методы определения абсолютного возраста самых разнообразных объектов.

Краткая история развития ядерных методов

Ядерная геохронология – это, пожалуй, первое приложение явления радиоактивности в геологии. Уже в 1902 г. П. Кюри, а вслед за ним Э. Резерфорд высказали мысль о том, что скорость радиоактивного распада элементов может быть использована в качестве эталона времени для определения абсолютного возраста горных пород. В 1907 г. эта идея получила практическое осуществление. Английский физик Б. Болтвуд по содержанию в горных породах U и конечного продукта его распада – Pb впервые определил абсолютный возраст урансодержащих минералов. В дальнейшем радиологические методы датировки минералов непрерывно совершенствуются и расширяются.

Кроме U-Pb-метода, разрабатываются U-He-, K-Ar-, Rb-Sr- и другие методы. В США в 1923 г. была организована специальная комиссия по измерению геологического возраста радиоактивными методами. В нашей стране такие измерения начали проводиться в Радиевом институте с 1924 г. Отечественные специалисты В. Г. Хлопин, К. А. Ненадкевич, Э. К. Герлинг, Л. В. Комлев, И. Е. Старик и др. внесли большой вклад в разработку радиоактивных способов датировки горных пород.

Параллельно с разработкой ядерных методов непрерывно исследуются особенности распределения радиоактивных элементов в земной коре и изучается тепло, выделяющееся при распаде ЕРЭ. Ведущую роль в изучении распределения радиоактивных элементов в земной коре играли отечественные ученые. В 1912 г. по инициативе и под руководством академика В. И. Вернадского в России была организована Радиевая экспедиция Академии наук. В начале 30-х годов проблемы ядерной геохронологии и радиотермии определились настолько отчетливо, что появилась самостоятельная отрасль геологии – радиогеология. Основоположником радиогеологии как самостоятельной ветви наук о Земле является В. И. Вернадский. Большой вклад в развитие радиологии внесли А. Е. Ферсман, В. Г. Хлопин, К. А. Ненадкевич, А. П. Соколов, И. Е. Старик, Г. В. Войткевич, В. И. Баранов и др.

С открытием явления радиоактивности (А. Беккерель, 1896 г., М. Кюри, 1898 г.) непрерывно разрабатываются методы исследования этого фундаментального явления. Разрабатываются также методы поисков и разведки месторождений радиоактивных руд, других полезных ископаемых, связанных с радиоактивностью.

Первые полевые работы, связанные с изучением радиоактивности, были выполнены отечественными геофизиками на урановом месторождении Тюя-Муюн (Средняя Азия). Здесь в 1923 г. А. П. Кириковым впервые был применен эманационный радоновый метод с целью поисков рудных тел на площадях, перекрытых чехлом четвертичных отложений. Несколько позже (1923-1925) Л. Н. Богоявленским были выполнены первые измерения естественного γ-излучения с целью поисков полезных ископаемых.

Эманационная съемка, разновидности γ-измерений (включая γ-γ-каро-таж скважин), некоторые виды радиометрического анализа геологических проб, γ-опробование руд в условиях естественного залегания впервые возникли в нашей стране. Некоторые из этих методов параллельно развивались в Германии; в США они начали применяться на несколько лет позже.

В 1924-1925 гг. были организованы радиометрические комитеты при Геолкоме (А. П. Кириков) и при Институте прикладной геофизики (Л. Н. Богоявленский). Исследования велись как по линии полевых радиометрических измерений, так и по линии исследования радиоактивности геологических коллекций образцов горных пород. Уже в 1925 г. в результате радиометрического изучения коллекций геолога С. Ф. Машковцева было открыто Табошарское месторождение урановых руд в Средней Азии. В 1926-1927 гг. на этом месторождении были выполнены эманационные и γ-измерения, позволяющие обнаружить новые рудные тела.

Существенную роль в разработке радиометрических методов как методов разведочной геофизики сыграл радиометрический кабинет при Ленинградском центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте (А. П. Кириков, А. Г. Граммаков, Г. В. Горшков, Б. С. Айдаркин, П. Н. Тверской) и радиометрический кабинет при лаборатории ЦНИГРИ в Москве (В. И. Баранов, Е. Г. Грачева).

Курс лекций по радиометрии впервые прочитан Л. Н. Богоявленским в 1923-1924 гг. в Петроградском горном институте. В 1930 г. в Московском геологоразведочном институте создана первая в стране кафедра радиометрии во главе с В. И. Барановым (в настоящее время – кафедра ядерной геофизики и геоинформатики, зав. кафедрой – проф. А. А. Ники-тин).

Мощным толчком к дальнейшему развитию ядерно-геофизических методов послужила проблема поисков, разведки и эксплуатации месторождений нового вида энергетического и стратегического сырья – урана. С этой целью уже в первые послевоенные годы совершенствуется техника и методика радиометрических измерений. Появляются автомобильный и воздушный варианты γ-съемки. Развивается теория этих методов, методика измерений и способы интерпретации результатов. Создается и внедряется в практику γ-спектрометрическая аппаратура, позволяющая получать сведения о долях K, U и Th в суммарной γ-активности пород. А. Г. Граммаков, В. Л. Шашкин и др. разработали метод анализа радиоактивности горных пород в условиях естественного залегания (*in situ*) и в лабораториях. Полевые методы измерений естественной радиоактивности к настоящему времени достигли высокой степени развития. Эти методы в разных модификациях, от аэро-γ-спектрометрии до γ-измерений в скважинах (приоритет в изобретении γ-каротажа принадлежит отечественным геофизикам: Г. В. Горшков, Л. М. Курбатов, В. А. Шпак – 1935 г.) стали неотъемлемой частью геолого-съемочных, поисковых, разведочных и эксплуатационных работ.

Собственно ядерно-геофизические методы, составляющие арсенал современных средств ядерной геофизики и основанные на эффектах взаимодействия ядерных излучений с веществом, появились позже радиометрических методов. Их появление связано с потребностями отраслей хозяйства в различных видах минерального сырья: от нефти, газа и угля до редких и драгоценных металлов. Возможности ядерных методов заметно расширились благодаря развитию атомной энергетики, когда оказалось возможным получение в широких масштабах источников α-, β-, γ- и *n*-излучений.

Среди ядерно-геофизических методов важное значение принадлежит методам нейтронной геофизики, среди которых выделяется нейтронный активационный анализ. В его основе лежит явление искусственной радиоактивности, за открытие которого в 1934 г. французские физики Ирен и Фредерик Жолио-Кюри были удостоены Нобелевской премии. Несколько позже итальянский физик Э. Ферми предложил использовать нейтронное излучение для изучения состава вещества. Образующиеся в результате взаимодействия нейтронов с ядрами вещества искусственно-радиоактивные продукты являются объектом изучения в активационном анализе.

Вслед за фундаментальным открытием явления искусственной радиоактивности были предприняты успешные попытки использовать его для прикладных целей в различных областях науки и техники, в том числе и в геологии. В 1935 г. венгерские ученые Хевиши и Леви исследовали искусственно-радиоактивные изотопы, образующиеся при облучении нейтронами редкоземельных элементов. Эти работы положили начало развитию нейтронного активационного анализа. В 1940 г. Р. Е. Фирон предложил использовать активацию нейтронами Al для расчленения горных пород в скважинах при поисках бокситов. В патентной заявке содержалась схема глубинного зонда, в котором источник нейтронов заключался между двумя детекторами γ-лучей. При подъеме снаряда по скважине верхний детектор регистрировал интенсивность естественного γ-излучения, а нижний – суммарное γ-излучение (естественное и искусственно созданное).

В нашей стране предложение об использовании искусственной радиоактивности для литологического расчленения горных пород в скважинах было впервые высказано в 1946 г. А. А. Коржевым. Реализация этого предложения была начата в 1950 г. в Московском институте нефтяного хозяйства по инициативе проф. В. Б. Лапука, а с 1953 г. в Институте нефти АН СССР под руководством академика Г. Н. Флерова и проф. Ф. А. Алексеева.

Важным достижением в совершенствовании технологии геофизических исследований скважин следует считать предложенный в 1942 г. физиком-ядерщиком Б. Понтекорво нейтронный γ-метод, который позволил получать информацию о распределении Н по оси скважин. Появление этого метода по праву считается крупным «подарком» геологии со стороны физиков, поскольку благодаря возможности получения дистанционной информации о распределении водорода по разрезу скважины геологи оказались в состоянии перейти на бескерновое бурение нефтяных скважин.

В 1947 г. Холленбах предложил γ-γ-метод, основанный на регистрации рассеянного γ-излучения. Физической основой этого метода является эффект

Комптона, названный так в часть лауреата Нобелевской премии, исследовавшего процессы взаимодействия γ-квантов с электронами.

Период с 1950 г. характеризовался исследованиями по усовершенствованию γ-γ-метода. В 1954 г. метод впервые был успешно испытан для выделения рудных (М. М. Соколов, А. П. Очкур) и угольных подсечений в скважинах (Ю. П. Булашевич, Г. М. Воскобойников, 1955-1957 гг.). В 1957 г. Г. М. Воскобойников предложил модификацию γ-γ-каротажа с источниками мягких γ-лучей, названную им селективным γ-γ-каротажем (ГГК-С). Этот метод обладает высокой чувствительностью даже к небольшим изменениям эффективного атомного номера природных сред. В определенных условиях с помощью ГГК-С оказалось возможным определение концентрации тяжелых металлов в рудах (Г. М. Воскобойников) и зольности каменных углей (В. И. Уткин, 1966 г.). Значительный вклад в теорию и практику γ-γ-измерений внесли Е. М. Филиппов, И. Г. Дядькин, В. А. Арцыбашев и др.

В качестве важного этапа развития методов, основанных на взаимодействии γ-лучей с веществом, следует отметить исследования Л. Рейфела и Р. Хемфриса по рентгенофлуоресцентному анализу вещества с использованием источников γ-лучей. В 1958 г. А. Л. Якубович и В. Ю. Залесский разработали методику и аппаратуру для количественных определений металлов в геологических пробах, доказав реальную возможность применения метода, названного ими рентгенорадиометрическим (РРМ). Важным этапом в развитии этого метода были работы специалистов кафедры ядерной геофизики Ленинградского университета (В. А. Мейер, В. С. Нахабцев и др.) по созданию скважинного варианта РРМ. Разработка РРК послужила основой для широкого использования рентгенофлуоресцентного метода при исследовании состава руд в горных выработках (Е. П. Леман и др.), на обнажениях, т. е. в естественном залегании. В дальнейшем РРМ стал использоваться также как средство контроля и сортировки минерального сырья на ГОКах при добыче и обогащении руд цветных металлов.

Для контроля и управления качеством минерального сырья и продуктов переработки руд черных металлов весьма эффективным оказался также γ-абсорбционный метод, в разработке которого большую роль сыграли уральские геофизики (С. Г. Возженников, Ю. В. Белышев и др.).

В начале 60-х годов появились работы геофизиков Московского геологоразведочного института (В. М. Бондаренко, Г. Г. Викторов и др.), связанные с разработкой нового способа подземных геофизических исследований, основанного на регистрации проникающего космического излучения.

В середине 50-х годов заметно усилилось внимание к методам нейтронной геофизики. В 1956 г. академик Г. Н. Флеров обосновал применение так называемого импульсного варианта нейтрон-нейтронного каротажа (ННК) для решения ряда проблем нефтяной геофизики, например установление положения водонефтяного контакта в скважине. Появление импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК), разработка которого была выполнена С. А. Кантором, Ю. С. Шимилевичем, Б. Г. Ерозолимским, А. С. Школьниковым, Д. Ф. Беспаловым (ВНИИ ядерной геофизики и геохимии), ознаменовало начало внедрения скважинных генераторов нейтронов.

В рудной геофизике ядерные методы появились несколько позже, чем в нефтяной отрасли. В начале 60-х годов появились первые технологии дистанционного определения линейных запасов полезных ископаемых в рудных подсечениях разведочных скважин, пройденных с недостаточным выходом керна или его отсутствием: Cu в медных колчеданах (Г. С. Возженников, 1961 г), Al в бокситах (И. Н. Сенько-Булатный, 1963 г.), черные металлы (К. И. Якубсон, 1964 г.), F во флюоритовых рудах (В. Я. Бардовский, 1965 г.). Бериллий в редкометальных рудах – И. П. Кошелев, А. К. Сенько, Е. М. Филиппов, В. В. Шестаков и др., 1959-1966 гг.

С появлением полупроводниковых детекторов были решены задачи о редкометальных ассоциацях в связи с прогнозированием рудных месторождений (Au в черных сланцах Средней Азии – П. А. Ваганов, 1981 г.).

Историю развития методов ядерной геофизики невозможно с необходимыми подробностями изложить в вводном разделе курса лекций. Перечислим лишь основные организации, без упоминания которых невозможно осветить даже ключевые моменты развития ядерно-геофизических методов в нашей стране. В добавление к уже упоминавшимся учреждениям или лабораториям, сыгравшим основополагающую роль в формировании ядерного направления в разведочной геофизике, отметим, что некоторые лаборатории или научные группы в разное время вошли в состав крупных научно-исследовательских центров – ВНИИ ядерной геофизики и геохимии, ВНИИ разведочной геофизики, ВНИИ минерального сырья, ВНИИ радиационной техники, ВНИИ геофизических исследований скважин и др.

Были созданы ядерно-геофизические лаборатории при Институте геофизики Уральского научного центра АН (Ю. П. Булашевич), при Институте геологии и геофизики Сибирского отделения АН (Е. М. Филип-пов) и др.

Еще на рубеже 40-50-х годов по инициативе академика И. В. Курчатова для обеспечения специалистами научных и производственных организаций в ряде вузов страны была организована подготовка инженеров выпускающими

кафедрами ядерно-геофизического профиля: в Московском геологоразведочном институте – МГРИ (В. И. Баранов, А. С. Сердюкова, Д. Ф. Зимин), Ленинградском университете – ЛГУ (В. А. Мейер, А. А. Са-турин, П. А. Ваганов), Ленинградском горном институте – ЛГИ (Г. Ф. Новиков, Ю. Н. Капков, А. Я. Синицын), Московском институте нефтехимической и газовой промышленности – МИНХиГП (В. Н. Дахнов, В. В. Ларионов, Д. А. Кожевников), Свердловском горном институте – СГИ (Н. А. Иванов, Ю. П. Булашевич, Г. С. Возженников).

Из названия учебного пособия следует, что его основу составляет одноименный курс лекций, который преподается студентам геофизического факультета СГИ (ныне Уральский государственный горный университет) с 1952 г. Формирование и развитие курса, особенно разделов книги 1 и 2, происходило в значительной степени под влиянием профессоров Н. А. Иванова и Ю. П. Булашевича, которые в свое время (1952-1959) начинали преподавание этой дисциплины на геофизическом факультете СГИ. Наряду с отмеченным в книгу включены сведения, заимствованные из литературных источников (учебные пособия, монографии, справочники), а также оригинальные материалы из работ авторов.

Третий раздел книги составлен на основе спецкурса «Ядерная геофизика», который был подготовлен и впервые прочитан Г. С. Возженниковым в 1970 г. на геофизическом факультете СГИ для студентов старших курсов специализации ядерно-геофизического профиля.

Авторы будут признательны всем, кто сочтет возможным прислать замечания и пожелания по изложенному в курсе материалу по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет, факультет геологии и геофизики, кафедра геофизики.

1. ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О РАДИОАКТИВНОСТИ

1.1. Общие сведения

Радиоактивность – физическое явление, заключающееся в способности ядер некоторых элементов самопроизвольно распадаться с испусканием ядерных излучений. При этом исходное (*материнское*) ядро превращается в *дочернее* ядро – продукт распада. Явление радиоактивности связывают также со взаимным превращением одних элементарных частиц в другие (например, нейтронов в протоны).

Различают *естественную* и *искусственную* радиоактивность. Естественная радиоактивность наблюдается у неустойчивых изотопов, существующих в природе. Искусственная радиоактивность – радиоактивность нуклидов, полученных с помощью ядерных реакций. При этом ядерные свойства данного радионуклида не зависят от способа его получения.

История открытия естественной радиоактивности связывается с именем немецкого физика Рентгена, который в 1895 г. открыл лучи, впоследствии названные его именем. В первых опытах испускание так называемых *X*-лучей сопровождалось флуоресценцией стеклянных стенок рентгеновской трубки. Вскоре были выполнены исследования флуоресценции, чтобы выяснить, всегда ли она сопровождается испусканием рентгеновского излучения. Опыты проводились с завернутыми в черную бумагу фотопластинками, на которые накладывались разные вещества, флуоресцирующие под действием яркого света. Если флуоресценция сопровождается испусканием рентгеновских лучей, то фотопластинки должны почернеть.

При испытании большого количества флуоресцирующих веществ французский ученый Беккерель в 1896 г. обнаружил, что ожидаемый эффект дают урансодержащие вещества. Однако дополнительные опыты показали, что почернение фотопластинки не было связано с флуоресценцией, так как почернение наблюдалось даже в том случае, когда соли U не освещались. В дальнейшем было установлено, что наблюдаемое излучение характерно для всех соединений U, а наиболее эффективным был металлический U. Оказалось, что интенсивность излучения не зависит от внешних условий и не меняется со временем. Таким образом было установлено, что наблюдаемый эффект является внутренним свойством атомов U.

Свойство атомов (в то время еще не существовало представления об атомном ядре) урана испускать излучение Пьер и Мария Кюри назвали радиоактивностью. Вскоре супруги Кюри открыли радиоактивность другого тяжелого элемента – тория. Как и в случае с ураном, оказалось, что это явление

не связано с физико-химическим состоянием вещества, а является свойством элемента. Позднее анализ урансодержащих руд привел к открытию полония и радия, удельная радиоактивность которых оказалась значительно выше, чем у U и Th.

Впервые радиоактивное излучение было проанализировано Резерфордом при помощи опытов по наблюдению за его поведением в электрическом и магнитных полях и поглощению в веществе. В результате этих опытов установлено, что радиоактивные вещества испускают 3 вида лучей:

1. α-*лучи* – тяжелые положительно заряженные частицы, двигающиеся со скоростью ~10^9 см/с и поглощающиеся алюминиевой фольгой. Впоследствии было установлено, что этими частицами являются ядра $_2He^4$.

2. β-*лучи* – легкие заряженные частицы, двигающиеся со скоростью, близкой к скорости света и поглощаемые слоем алюминия толщиной в несколько мм. Этими частицами оказались электроны (в дальнейшем были обнаружены и положительно заряженные β-частицы – позитроны).

3. γ-*лучи* – сильно проникающее излучение, не отклоняющееся ни в электрическом, ни в магнитном полях. Природа γ-лучей – жесткое электромагнитное излучение с длиной волны менее 10 нм (<10^{-9} м). Гамма-излучение связано с энергетической перестройкой ядер, испытывающих то или иное ядерное превращение.

1.2. Элементы строения атомных ядер

Атомное ядро представляет собою систему, состоящую из некоторого числа сильно связанных между собой частиц – протонов и нейтронов, которые обычно называют *нуклонами* (от лат. *nucleos* – ядро). Идея о протонно-нейтронном составе ядра была впервые высказана академиками Д. Иваненко и А. Амбарцумяном в 1930 г.

Протон (*p*) – элементарная частица, имеющая единичный положительный заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона, представляет собою ядро основного изотопа водорода $_1H^1$. Таким образом, масса протона равна массе атома водорода за вычетом массы электрона. Так как масса атома H составляет 1,00814 атомных единицы массы (а.е.м.), а масса электрона составляет 0,00055 а.е.м., то масса протона равна 1,00759 а.е.м. (1,672·10^{-24} г.).

Нейтрон (*n*) - электрически нейтральная частица с массой, близкой и немного большей, чем у протона (1,00893 а.е.м., 1,674·10^{-24} г.).

Количество протонов в ядре равно порядковому (атомному) номеру элемента в периодической системе Менделеева и обозначается *Z*. Общее количество протонов и нейтронов в ядре определяет его массовое число (атомный вес) и обозначается *A*. Число нейтронов в ядре равно *A*-*Z*.

Разновидности одного и того же химического элемента с одинаковыми значениями *Z* и разными массовыми числами называются *изотопами* (равноместными). Элементы с нечетными атомными номерами являются либо моноизотопными, либо состоят не более чем из двух изотопов. Четные элементы, как правило, являются полиизотопными.

Атомы с одинаковыми *A*, но разными *Z* (принадлежащим разным химическим элементам) называются *изобарами* (барос - вес).

Атомы с одинаковым числом нейтронов *A*-*Z* называют *изотонами*.

В легких ядрах (с малым *Z*) обычно содержится равное или примерно равное количество протонов и нейтронов, в тяжелых ядрах нейтронов примерно в 1,5 раза больше, чем протонов. Связь *Z* с *A* для стабильных ядер описывается эмпирической формулой [41]

$$Z = \frac{A}{1{,}98 + 0{,}015A^{2/3}},$$

следовательно, для легких ядер отношение $Z/A \approx 0{,}5$.

Нуклоны, входящие в состав атомных ядер, испытывают конкуренцию кулоновских сил отталкивания и ядерных сил сцепления. Преобладание первых приводит к распаду ядра, вторых – к его устойчивому состоянию.

Сравнение массы атомного ядра с суммой масс входящих в его состав нуклонов показывает, что масса ядра всегда меньше суммы масс всех составляющих его протонов и нейтронов. Разность между суммой масс нуклонов и массой ядра называется *дефектом массы* Δm, определяет *энергию связи* ядра относительно составляющих его нуклидов. Если обозначить через m_p, m_n и $M_я$ соответственно массы *p*, *n* и ядра, то

$$\Delta m = \left[m_p Z + m_n (A - Z)\right] - M_я . \qquad (1.1)^*$$

Согласно формуле Эйнштейна, каждому значению массы соответствует определенная энергия $E = mc^2$, так что энергию связи ядра *W* можно выразить следующим образом:

$$W = \Delta m c^2. \qquad (1.2)$$

Энергия связи представляет собою ту энергию, которую надо затратить, чтобы разделить нуклоны, «упакованные» в ядре с плотностью порядка 10^8

* Здесь и далее для широко известных формул и определений ссылки не приводятся.

т/см^3. Таким образом, энергия связи является мерой прочности ядра. Особенно велика энергия связи у четно-четных ядер, т. е. у ядер с четным числом протонов и нейтронов, например у $_2He^4$, $_6C^{12}$, $_8O^{16}$ и др.

Энергия связи, отнесенная к массовому числу, называется *удельной энергией связи*, или средней энергией связи нуклона в ядре, $\varepsilon = W/A$. Средняя энергия связи нуклона в ядре изменяется от ядру к ядру. На рис. 1.1 приводится зависимость ε от массового числа A.

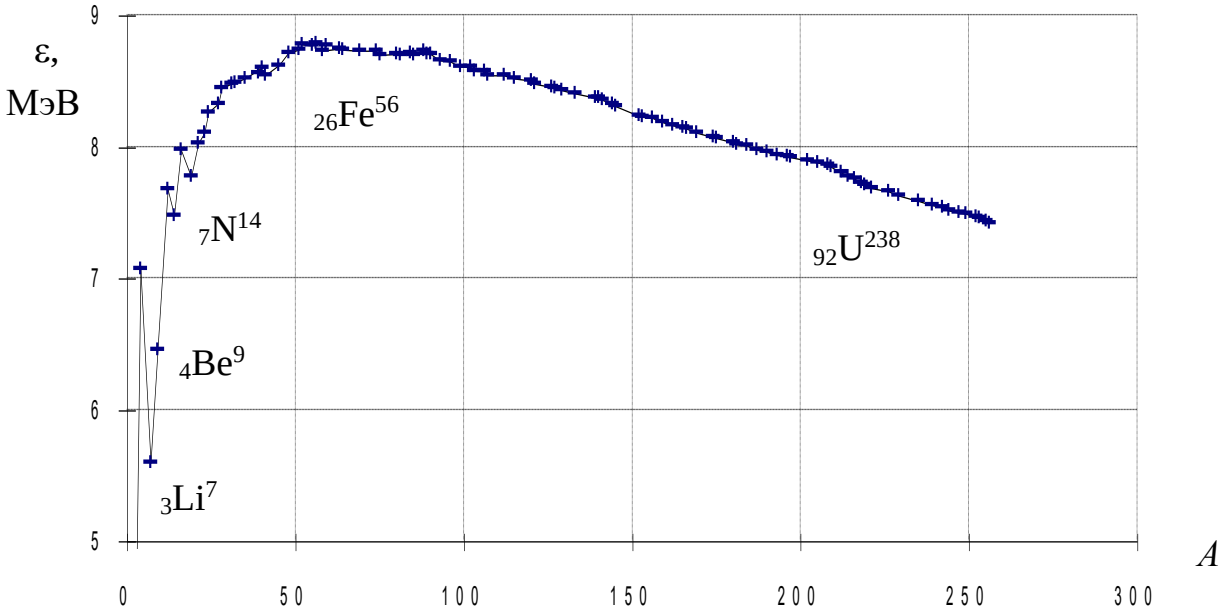


Рис. 1.1

Наименьшее значение энергии связи нейтрона имеет место для изотопа $_4Be^9$. В случае распада $_4Be^9$ на две α-частицы и нейтрон она составляет 1,67 МэВ, хотя энергия связи ядра $_4Be^9$, отнесенная ко всем девяти составляющим его нуклонам, равна 6,46 МэВ.

Ядра тяжелых элементов имеют очень большую энергию связи относительно всех составляющих его нуклонов, однако, например, для $_{92}U^{238}$ энергия связи в случае распада этого ядра на $_2He^4$ и $_{90}Th^{234}$ оказывается отрицательной (-4,25 МэВ). Это означает, что ядро урана является неустойчивым и распадается на α-частицу и ядро $_{90}Th^{234}$ с выделением избытка энергии. Точно так же U обладает отрицательной энергией связи для двух примерно равных по массе осколков деления, что определяет спонтанное (самопроизвольное) деление ядер U на два примерно равных по массе осколка деления.

Нуклоны, находящиеся на периферии атомных ядер, окружены не со всех сторон другими нуклонами, поэтому они связаны ядерными силами слабее

внутренних. Кроме того, ядерные силы начинают проявлять себя лишь на расстоянии, сравнимом с размером нуклона, в результате чего нуклоны в ядре сцеплены фактически лишь со своим ближайшим окружением. Следовательно, ядерные силы в отличие от кулоновских обладают свойством насыщения. По мере роста массового числа *A* уменьшается доля поверхностных нуклонов, и средняя энергия связи, приходящаяся на нуклон, сначала растет (рис. 1.1). По мере увеличения *Z* кулоновское отталкивание нуклонов непрерывно растет, поскольку эти силы имеют радиус действия порядка атомных размеров, и, следовательно, каждый протон взаимодействует со всеми другими протонами ядра.

Для сохранения устойчивости тяжелые ядра содержат большее количество нейтронов, чем протонов: с ростом числа нейтронов увеличивается среднее расстояние между протонами и уменьшаются кулоновские силы отталкивания. Однако эти «меры» лишь частично компенсируют рост сил отталкивания в ядре по мере увеличения *A*, в связи с чем удельная энергии связи ε начинает уменьшаться уже при $A > 60$. Ядра с $A > 230$ становятся неустойчивыми.

1.3. Виды ядерных превращений

Ядерные (или *радиоактивные превращения*) происходят с изменением строения и энергетического состояния ядра атома и сопровождаются испусканием или захватом заряженных частиц, делением ядра или испусканием коротковолнового γ-излучения электромагнитной природы.

Различают следующие основные виды *ядерных превращений*: α-распад, β-распад (электронный β^--распад, позитронный β^+-распад и электронный захват), изомерный переход (ИП) и деление ядер (*f*-распад).

1.3.1. Альфа-распад

Заключается в превращении материнского ядра ***A*** в дочерний продукт ***B*** путем испускания α-частицы, представляющей собою ядро $_2He^4$. Альфа-частицы имеют массу, равную 4,002264 а.е.м. ($6{,}598 \cdot 10^{-24}$ г.), и несут двойной электрический заряд, равный $3{,}2044 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Радиоактивные элементы испускают α-частицы разной энергии (2-10 МэВ), однако для каждого элемента начальная энергия α-частиц постоянна и является характеристической величиной, если не учитывать особенности, связанные с так называемой «тонкой структурой» α-спектров.

Вылет α-частицы с кинетической энергией E_α из ядра радиусом R_o с потенциальным барьером $U_0 > E_\alpha$ представляет случай *туннельного перехода* частицы через кулоновский барьер (в силу соотношения неопределенности $\Delta E \Delta t \sim h$). Схема α-распада записывается следующим образом:

$${}_Z\boldsymbol{A}^M - {}_2\alpha^4 \rightarrow {}_{Z-2}\boldsymbol{B}^{M-4}.$$

Другими словами, заряд дочернего ядра в случае α-распада уменьшается на 2, а массовое число на 4 соответствующие единицы. Дочерний продукт α-распада перемещается в таблице Менделеева на 2 клетки влево. Примером α-распада может служить превращение Ra в Rn (эманация Ra):

$${}_{88}\mathrm{Ra}^{226} - {}_2\alpha^4 \rightarrow {}_{86}\mathrm{Ra}^{222}.$$

Альфа-распад часто сопровождается γ-излучением с энергией E_γ от десятков до первых сотен кэВ. Возникновение γ-лучей связано с *тонкой структурой* α-спектра, сущность которого заключается в том, что часть материнских ядер испускает α-частицы с энергией $E_\alpha < E_\alpha^{\max}$. Дочерние ядра при этом оказываются в состоянии возбуждения и переходят в *основное энергетическое состояние* (уровень, при котором ядро обладает наименьшей эквивалентной массой) путем высвечивания избыточной энергии в виде γ-излучения сравнительно небольшой энергии и интенсивности.

При прохождении через вещество энергия α-частицы расходуется в основном на ионизацию и возбуждение атомов. Вследствие большой начальной энергии при столкновении с молекулами поглощающей среды α-частица образует на длине своего пробега (трека) сотни тысяч пар ионов. В этом смысле говорят о большой ионизирующей способности α-частиц. Оценим количество пар ионов, которые образуются на длине трека α-час-тицы при распаде ядер ${}_{84}\mathrm{Po}^{210}$. Имея в виду, что $E_\alpha^{\mathrm{Po}} = 5{,}3$ МэВ, а энергия, затрачиваемая на образование одной пары ионов, составляет ~30 эВ, имеем около 175 тысяч эффектов ионизации. Из-за относительно малой величины энергии, затрачиваемой α-частицей на один акт ионизации, α-частица после взаимодействия с атомом не меняет направления своего переноса, ее траектория движения в веществе является прямолинейной.

Отличительной способностью α-частиц является их малая проникающая способность. В зависимости от начальной энергии пробег α-частиц в воздухе составляет несколько сантиметров и может быть найден из следующей эмпирической формулы:

$$R_\alpha(E) = 0{,}316 E_\alpha^{3/2}, \qquad (1.3)$$

где E_α - энергия α-частицы, МэВ;

$R_\alpha(E)$ - пробег α-частицы в воздухе, см.

В твердом веществе пробег еще меньше, измеряется микронами и может быть найден с помощью эмпирической *формулы Брегга-Климэна*:

$$L_\alpha(E) = 3{,}2 \cdot 10^{-4} R_\alpha(E) \frac{\sqrt{A}}{\rho}, \qquad (1.4)$$

где A и ρ - соответственно атомный вес и плотность среды переноса α-частицы с энергией E.

Поскольку начальная энергия вылета α-частиц для данного типа α-излучателя постоянна, то длина их пробега в каждом конкретном веществе является также постоянной величиной. Между длиной пробега α-частиц (их энергией) и постоянной распада α-излучателей λ существует тесная связь. Согласно *правилу* (*закону*) *Гейгера-Неттола* эта связь выражается следующим образом:

$$\lg\lambda = A\lg R_\alpha + B, \qquad (1.5)$$

где A и B - коэффициенты, несколько отличающиеся для α-излучателей семейств урана и тория.

Ионизация и возбуждение α-частицами атомов различных веществ сопровождаются их химическими изменениями, нарушением кристаллической структуры твердых тел, выделением тепла, почернением фотопластинок, люминесценцией ряда веществ и другими физико-химическими явлениями. Явление люминесценции используется для регистрации ядерных частиц. Хорошим люминофором для регистрации α-частиц является сернистый цинк, активированный серебром ZnS(Ag).

1.3.2. Бета-распад

Различают три разновидности β-распада: электронный, позитронный и электронный захват (*K*-захват).

Электронный β-распад (β⁻-распад). Заключается в ядерном превращении нейтрона в протон по следующей схеме:

$${}_0n^1 \rightarrow {}_1p^1 + \beta^- + \tilde{\upsilon}.$$

Энергия β⁻-распада ($E_\beta{}^{max}$) распределяется сложным (случайным) образом между электроном и антинейтрино, поэтому энергетический спектр β-излучения в отличие от α-спектра, является непрерывным (рис. 1.2), причем

максимум кривой распределения β-частиц по энергиям приходится на энергию, составляющую примерно треть от E_β^{max}.

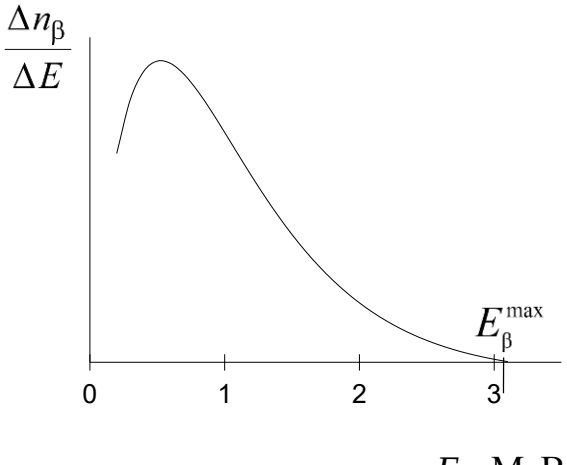


Рис. 1.2

Часть дочерних ядер при своем образовании оказывается на промежуточных энергетических уровнях и при переходе на основной уровень испускают γ-лучи квантованных линий.

В результате электронного β^--распада образуется дочернее ядро с тем же массовым числом, но его порядковый номер будет на единицу больше.

Схему β^--распада можно представить следующим образом:

$${}_Z\boldsymbol{A}^M - \beta^- \rightarrow {}_{Z+1}\boldsymbol{B}^M + \breve{\upsilon}.$$

По этой схеме распадаются не только естественные радионуклиды, но и искусственно-радиоактивные изотопы, например:

$${}_{29}Cu^{64} - \beta^- \rightarrow {}_{30}Zn^{64} + \breve{\upsilon}.$$

Представление о частицах, не обладающих ни зарядом, ни массой покоя, было введено в 1930 г. Паули для объяснения непрерывности β-спектра; для таких частиц Ферми предложил термин «нейтрино» («маленький нейтрон», «нейтрончик»). Впоследствии была предложена концепция антинейтрино $\breve{\upsilon}$, согласно которой нейтрино υ испускается при β-распаде одновременно с позитроном, а $\breve{\upsilon}$ – вместе с электроном. Нейтрино и $\breve{\upsilon}$ отличаются противоположными направлениями спинов.

Специфические свойства нейтрино (отсутствие заряда и практическое отсутствие массы) делают чрезвычайно трудными опыт по их обнаружению. Оценка сечения взаимодействия нейтрино с ядром приводит к величине $\sigma \approx 10^{-44}$ см^2, что соответствует среднему пробегу в концентрированной среде ($n_a \sim 10^{22}$ атомов/см^3), равному $n_a\sigma \approx 10^{17}$ км.

Очевидно, что столь малый эффект взаимодействия нейтрино с веществом можно обнаружить лишь при наличии мощных потоков этих частиц. В последние годы уже возникал вопрос об использовании мощных потоков нейтрино подземных ядерных взрывов для нейтринного «просвечивания» Земли как планеты. Главной трудностью для реализации такого проекта является его большая стоимость.

При прохождении электронов через вещество их энергия в основном расходуется на ионизацию и на возбуждение атомов. При больших энергиях электронов значительная ее часть затрачивается на образование электромагнитного излучения, называемого *тормозным*. Последнее связано с тем, что, в отличие от α-частиц, электроны взаимодействуют как с электронными оболочками атомов, так и с их ядрами. Так как массы взаимодействующих β-частиц и атомных электронов равны, то, помимо потерь энергии, электроны отклоняются от своего первоначального направления, т. е. рассеиваются. Траектории электронов не прямолинейны, а суммарная длина их пробега существенно превышает толщину слоя вещества, через который они могут пройти.

Между пробегом электронов и максимальной энергией β-спектра E_{max} существуют следующие эмпирические зависимости:

$$\begin{cases} R_m = 0{,}407\, E_{max}^{1{,}38}, \; E_{max} \le 0{,}8 \text{ МэВ} \\ R_m = 0{,}54\, E_{max}, \quad E_{max} > 0{,}8 \text{ МэВ}, \end{cases} \qquad (1.6)$$

где R_m - массовый пробег, г/см^2;

E_{max} - энергия электронов, МэВ.

Позитронный β-распад (β$^+$-распад). Заключается в ядерном превращении протона в нейтрон по следующей схеме:

$${}_1p^1 \rightarrow {}_0n^1 + \beta^+ + \upsilon .$$

В результате позитронного β-распада образуется дочернее ядро с тем же массовым числом, но с порядковым номером на единицу меньше:

$${}_Z\boldsymbol{A}^M - \beta^+ \rightarrow {}_{Z-1}\boldsymbol{B}^M + \upsilon .$$

Пример β$^+$-распада для искусственно-радиоактивного изотопа ${}_{29}Cu^{64}$:

$${}_{29}Cu^{64} - \beta^+ \rightarrow {}_{28}Ni^{64} + \upsilon .$$

Так же, как и в случае β$^-$-распада, энергия позитронного распада E_{max} распределяется случайным образом между позитроном и нейтрино, поэтому энергетический спектр позитронного распада непрерывен.

Следует заметить, что превращение ${}_1p^1$ в ${}_0n^1$ надо понимать в условном смысле. Поскольку масса протона несколько меньше, чем масса нейтрона, то позитронный распад свободного протона невозможен. Однако для протона, связанного в ядре, подобное превращение возможно, так как недостающая энергия восполняется (дотируется) ядром.

Позитрон, как и все античастицы, недолговечен. При взаимодействии позитрона с электроном возможно взаимное «уничтожение» этих частиц. В этом смысле говорят об *аннигиляции* позитрона. При аннигиляции позитрона и электрона возникают кванты электромагнитного поля. Число γ-квантов при аннигиляции определяется законами сохранения энергии и импульса. Наиболее распространена аннигиляция, в результате которой за счет античастицы образуется фотонная пара с энергией каждого из аннигиляционных квантов, равной энергии покоящегося электрона. Поскольку энергия электрона, находящегося в покое, равна $m_e c^2$, то β^+-распад обычно сопровождается так называемого аннигиляционным γ-излучением с энергией 511 кэВ. Таким образом, позитронные излучатели возможно принципиально обнаружить по наличию аннигиляционного излучения.

В качестве примера можно сослаться на возможность дистанционного определения Cu по искусственно-радиоактивному изотопу $_{29}Cu^{64}$. В схеме его распада имеется позитронное излучение, поэтому присутствие меди обнаруживается по γ-лучам с энергией 511 кэВ.

Электронный захват (*К*-захват). Третья разновидность β-рас-пада – электронный захват (ЭЗ) был открыт американским физиком Альварецом в 1938 г. Сущность электронного захвата заключается в захвате ядром электрона из внутренней оболочки собственного атома. При этом один из протонов внутри ядра трансформируется в нейтрон, а за пределы ядра выбрасывается нейтрино:

$$_1p^1 + \beta^- \rightarrow {}_0n^1 + \upsilon\,.$$

В результате электронного захвата образуется дочернее ядро с тем же массовым числом, но с порядковым номером на единицу меньше:

$$_Z\boldsymbol{A}^M + \beta^- \rightarrow {}_{Z-1}\boldsymbol{B}^M + \upsilon\,.$$

Природа электронного захвата была раскрыта при изучении сопровождающего его рентгеновского излучения. Оказалось, что оно соответствует переходу электронов на освободившееся место в электронной оболочке, образовавшееся после электронного захвата. Электронный захват имеет существенное значение для тяжелых ядер, у которых *К*-оболочка расположена близко к ядру. Наряду с захватом электрона из *К*-оболочки (*К*-захват) значительно реже наблюдается захват электрона из *L*-оболочки (*L*-захват), *М*-оболочки (*М*-захват) и т. д.

Своеобразный характер процесса ЭЗ (не испускание, а захват электрона атомом) приводит к тому, что в случае ЭЗ постоянная распада λ оказывается в некоторой зависимости от внешних условий.

Примером *К*-радиоактивного ядра является изотоп $_{19}K^{40}$, захватывающий *К*-электрон и превращающийся в ядро $_{18}Ar^{40}$ по схеме:

$$_{19}K^{40} + \beta^- \rightarrow {}_{18}Ar^{40} + \upsilon\,.$$

Нейтрино, образующееся по этой схеме, отличается от нейтрино, связанного с позитронным излучением (β^+-распадом) своей монохроматичностью (моноэнергетичностью).

Ядерное превращение калия в аргон лежит в основе так называемого K-Ar-метода, который используется для определения абсолютного возраста калийсодержащих горных пород по количеству накопившегося аргона.

1.3.3. Изомерный переход

Один из видов ядерных превращений, представляющий собою переход ядра из *метастабильного* состояния в *основное*. Под метастабильным состоянием понимается такое возбужденное состояние ядра, период «высвечивания» которого по крайней мере на несколько порядков больше периода высвечивания при простом возбуждении ядра. Таким образом, состояние ядра будет метастабильным, если вероятность перехода его на основной уровень очень мала. Периоды полураспада *изомеров* (ядер в метастабильном состоянии) колеблются от 10^{-4} с до нескольких месяцев.

Переход ядер в метастабильное состояние осуществляется после ядерных превращений, происходящих в результате захвата тепловых нейтронов, фотонейтронного процесса, бомбардировки ядер тяжелыми частицами и т. д. Изомерный переход всегда сопровождается γ-излучением. В отдельных случаях, кроме γ-излучения при «успокоении» метастабильного ядра, имеет место испускание электронов или позитронов, а также электронов *конверсии*, возникающих в процессе прямой передачи энергии от возбужденного ядра к электронной оболочке.

Изомерный переход связан с явлением ядерной изомерии, проявляющейся в существовании радиоактивных ядер, одинаковых по числу Менделеева *Z* и по атомному весу *A*, но находящихся в разном энергетическом состоянии и отличающихся между собою по периоду полураспада.

Первая пара изомерных ядер была открыта в 1921 г. Ганом. Он обнаружил радиоактивное вещество UZ ($_{91}Pa^{234}$), в точности совпадающее по номеру и массе с изотопом UX_2, но отличающееся от него радиоактивными

свойствами. Оба изомера получаются с разной вероятностью P в результате β^--распада одного и того элемента UX_1 ($_{90}Th^{234}$):

UX_1 → UZ (P = 0,15 %, T = 6,75 ч)

UX_1 → UX_2 (P = 99,85 %, T = 1,17 мин)

и состоят из одинаковых ядер, но имеют разные периоды полураспада.

Разобраться в природе этого явления помогли опыты Курчатова и его сотрудников, открывших в 1935 г. существование изомерии у искусственно-радиоактивных ядер. В частности, искусственно-радиоактивный изотоп брома $_{35}Br^{80}$ характеризуется двумя периодами полураспада: 18 мин и 4,4 ч. Существование у одного ядра двух периодов полураспада можно понять, если предположить, что ядро $_{35}Br^{80}$ может возникать в двух изомерных состояниях: основном и возбужденном долгоживущем (метастабильном).

Стабильный (материнский) изотоп золота $_{79}Au^{197}$ в результате бомбардировки γ-квантами образует по ядерной реакции (γ, γ′) дочерний продукт $_{79}Au^{197m}$ (метастабильный), который в отличие от материнского является радиоактивным с периодом полураспада 7,2 с. Изомерный переход ядер $_{79}Au^{197m}$ в основное состояние происходит путем испускания γ-квантов с энергий 279 кэВ. Регистрируя интенсивность γ-излучения, связанного с изомером $_{79}Au^{197m}$, оказывается возможной быстрая и надежная идентификация золота в исследуемых пробах.

1.3.4. Деление ядер

Термин «деление» (*f-распад*) применяется к процессам, когда атомное ядро, захватив нейтрон, расщепляется (делится) на две части (осколки деления), между которыми распределяются нуклоны исходного ядра (например, $_{92}U^{235}$): $Z_U = Z_1 + Z_2$; $A_U \cong A_1 + A_2$. Соотношение масс осколков деления может варьировать в широких пределах, но наиболее вероятное значение A_1/A_2 (или A_2/A_1) близко к 2 (0,5).

При делении тяжелого ядра высвобождается большая энергия. Этот вывод следует из сравнения масс делящегося ядра A_U и масс образующихся осколков A_1 и A_2. Величину выделяющейся энергии Q_U можно оценить, имея в виду удельную энергию связи осколков $\bar{\varepsilon}$ и параметр ε для урана:

$$Q_U = \Delta\varepsilon A,$$

где $\Delta\varepsilon = \bar{\varepsilon} - \varepsilon$; A – массовое число делящегося ядра.

Так как ε для ядер середины периодической системы примерно на 0,8 МэВ больше, чем ε для $_{92}U^{235}$, получим: $Q_U = 235 \cdot 0{,}8 \approx 200$ МэВ.

Подавляющая часть энергии деления проявляется в виде кинетической энергии осколков деления Q_f. Образующиеся при делении осколки являются радиоактивными (β-излучателями) и могут испускать *нейтроны деления*. Последнее обстоятельство определяет то, что процесс деления при определенных условиях может стать самоподдерживающимся с непрерывным выделением энергии. В этом и состоит основной принцип получения атомной энергии. Важнейшими материалами, испытывающими деление, являются: $_{92}U^{235}$, $_{92}U^{233}$ и $_{94}Pu^{239}$. Частицы с очень высокими энергиями могут вызывать деление и в других материалах (например, ядра $_{92}U^{238}$ делятся при их облучении быстрыми нейтронами).

В результате деления ядра испускаются *мгновенные* и *запаздывающие* нейтроны. Первые из них составляют ~99 % всех нейтронов деления и испускаются в течение 10^{-14} с за пределы ядра после акта деления. Большая часть мгновенных нейтронов имеет энергию от 1 до 2 МэВ, а распределение их по энергиям называется *спектром нейтронов деления*. Запаздывающие нейтроны испускаются с задержкой до нескольких секунд со спадающей интенсивностью. Запаздывающие нейтроны представляют особый интерес с точки зрения управления цепной реакцией. Регистрация запаздывающих нейтронов лежит в основе одного из методов количественного определения $_{92}U^{235}$ в природных средах.

Механизм деления обычно объясняется с помощью *капельной модели* ядра [41]. Схема деления ядра $_{92}U^{235}$ может быть представлена следующим образом:

$$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{92}U^{236} \rightarrow {}_{54}Xe^{140} + {}_{38}Sr^{94} + 2\,{}_{0}n^{1} + \gamma.$$

Осколки деления являются β-излучателями. В частности, $_{54}Xe^{140}$ испытывает следующую цепочку β-превращений:

$$_{54}Xe^{140} \rightarrow {}_{55}Cs^{140} \rightarrow {}_{56}Ba^{140} \rightarrow {}_{57}La^{140} \rightarrow {}_{58}Ce^{140}\ \text{(стабильный)}.$$

Как впервые показали Петржак и Флеров, ядра урана способны делиться не только под действием нейтронов, но и сами по себе, самопроизвольно, без внешнего воздействия (так называемого *спонтанное* деление).

Основные закономерности распространения изотопов

Большинство известных изотопов неустойчиво, но из 340 ядер, находящихся в природе, 273 относятся к стабильным, из которых очень небольшая часть обладает крайне слабой радиоактивностью.

Все известные нуклиды могут быть разделены на четыре типа в зависимости от четного или нечетного числа протонов и нейтронов в их

составе: четно-четный $_8O^{16}$ (известно 166 нуклидов), четно-нечетный $_4Be^9$ (55), нечетно-четный $_3Li^7$ (47), нечетно-нечетный $_5B^{10}$ (5). Из этих данных видно, что изотопы с четным Z и $N = A - Z$ преобладают над изотопами с нечетными Z и N. В то же время четно-четные ядра в природе наиболее распространены и наиболее стабильны. К ним относятся шесть изотопов: $_2He^4$, $_8O^{16}$, $_{12}Mg^{16}$, $_{14}Si^{28}$, $_{20}Ca^{40}$, $_{26}Fe^{56}$, пять из которых входят в число восьми главных химических элементов, слагающих верхнюю часть литосферы. Ядра с четным A более многочисленны, чем с нечетным A. Всего известно пять стабильных изотопов нечетно-нечетного типа: $_1H^2$, $_3Li^6$, $_5B^{10}$, $_7N^{14}$, $_{25}V^{50}$. Все остальные известные нечетно-нечетные ядра с $A > 14$ (включая $_{19}K^{40}$) β-радиоактивны.

Все тяжелые изотопы с $Z > 83$ радиоактивны, многие из них испытывают α-распад. Они группируются в четыре радиоактивных ряда: ториевый, нептуниевый, урановый и актиноурановый (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Четыре типа радиоактивных рядов

Ряд	Родоначальник ряда	Конечный продукт	Признак делимости на 4	Тип ядра
Ториевый	$_{90}Th^{232}$	$_{82}Pb^{208}$	$4n$	Четно-четный
Нептуниевый	$_{93}Np^{237}$	$_{83}Bi^{209}$	$4n + 1$	Нечетно-четный
Урановый	$_{92}U^{238}$	$_{82}Pb^{206}$	$4n + 2$	Четно-четный
Актиноурановый	$_{92}U^{235}$	$_{82}Pb^{207}$	$4n + 3$	Четно-нечетный

В современную эпоху на Земле отсутствует нептуниевый ряд. Родоначальник этого ряда $_{93}Np^{237}$ получен искусственным путем.

На основании астрофизических данных по составу звездных атмосфер были получены данные о космическом (галактическом) распространении элементов и их изотопов [60] (рис. 1.3). Зависимость между распространением элемента и Z выражается следующими закономерностями:

1. Распространенность химических элементов с четным Z в общем более высокая, чем у элементов с нечетным Z. Эта закономерность получила название *правила Оддо-Гаркинса*.

2. Распространенность легких элементов с атомным номером $Z < 28$ резко преобладает над распространенностью остальных, более тяжелых элементов, за исключением Li, Be, B.

3. Существуют так называемого *магические числа*: 2, 8, 20, 50, 82, 126, относящиеся как к числу нейтронов, так и протонов в ядре.

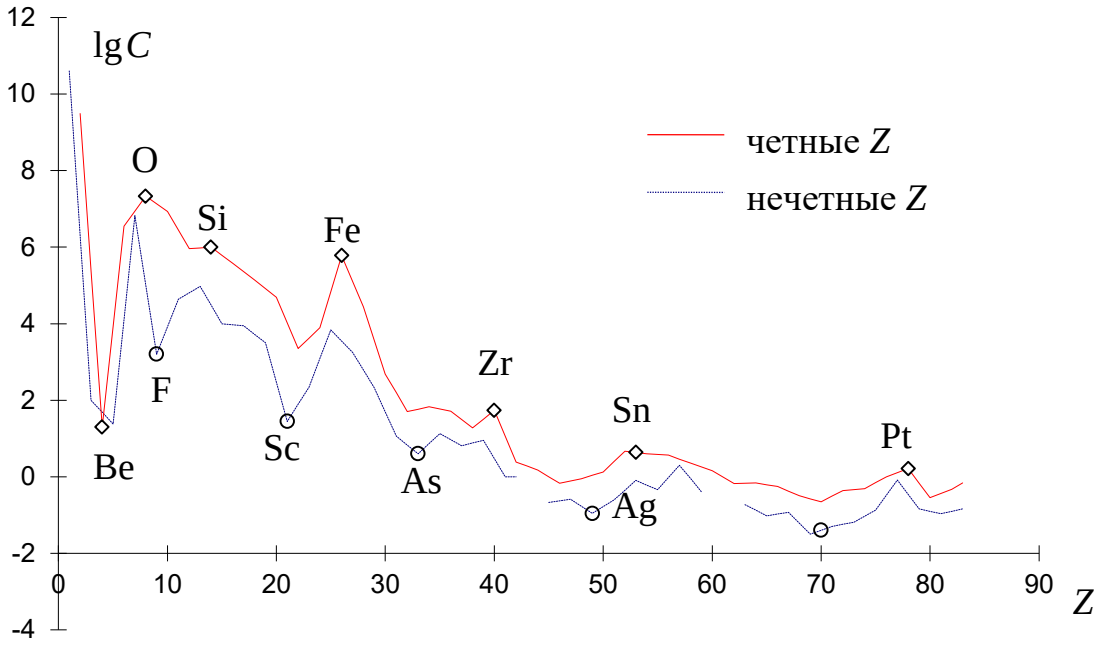


Рис. 1.3

Нуклиды с этими характеристиками обладают наибольшей прочностью (удельной энергией связи нуклонов в ядре) и повышенным распространением.

1.4. Законы радиоактивных превращений

1.4.1. Закон распада

На основании экспериментальных исследований Резерфорд и Содди в 1903 г. показали, что при радиоактивном распаде проявляется общая для всех радионуклидов закономерность, заключающаяся в том, что *количество атомов данного радиоактивного изотопа, распадающихся в среднем в единицу времени, всегда составляет определенную, характерную для данного радионуклида долю от полного числа еще не распавшихся ядер.* Математически это записывается следующим образом:

$$-\Delta N = \lambda N \Delta t, \qquad (1.7)$$

где ΔN – число атомов, распадающихся за время между t и Δt;

N – число атомов еще не распавшихся к моменту времени t;

λ – *постоянная распада*, характеризующая вероятность ядерного превращения, отнесенная к одному ядру в единицу времени.

В форме дифференциального уравнения выражение (1.7) записывается так:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N . \qquad (1.8)$$

Из соотношения (1.8) видно, что количество ядерных превращений, происходящих в активном препарате, пропорционально начальному количеству радиоактивных ядер. Перепишем (1.8) в следующим виде:

$$\frac{dN}{dt} + \lambda N = 0, \text{ или } \frac{dN}{N} + \lambda dt = 0. \qquad (1.9)$$

Интегрируя (1.9), имеем:

$\ln N + \lambda t = A.$

Постоянную интегрирования A найдем из начального условия: $t = 0$, $N(0) = N_0$. С учетом отмеченного, получим:

$\ln N + \lambda t = \ln N_0$, откуда

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t). \qquad (1.10)$$

Соотношение (1.10) носит название *закона радиоактивного распада*.

Найдем время T, по истечении которого распадается половина от исходного количества ядер N_0. Полагая $N(t)/N_0 = 0{,}5$, имеем:

$0{,}5 = e^{-\lambda T}$, откуда $T = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$.

Параметр T имеет размерность времени и носит название *периода полураспада*. Отношение $N(t)/N_0$ часто называют *функцией выживания*. Учитывая связь между λ и T, запишем для функции выживания:

$$\frac{N(t)}{N_0} = \exp\left(-\ln 2 \frac{t}{T}\right).$$

Обозначим $k = t/T$, тогда

$$g(k) = \frac{N(k)}{N_0} = 2^{-k}. \qquad (1.11)$$

Выражение (1.11) представляет одну из форм записи закона распада. На рис. 1.4 представлено поведение функции выживания в зависимости от параметра k, представляющего собою время распада в нормировке к периоду полураспада данного радионуклида.

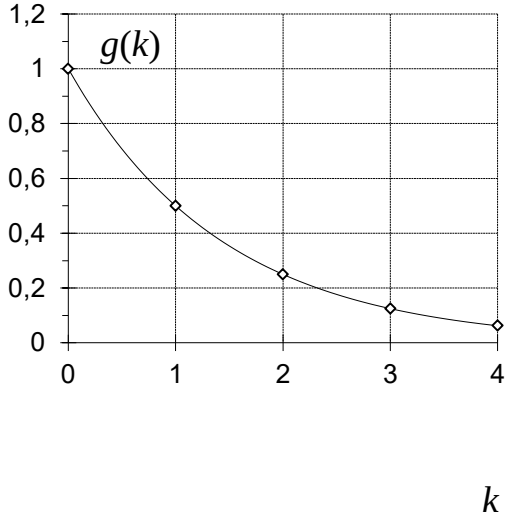


Рис. 1.4

Если зависимость (1.11) построить в полулогарифмическом мас-

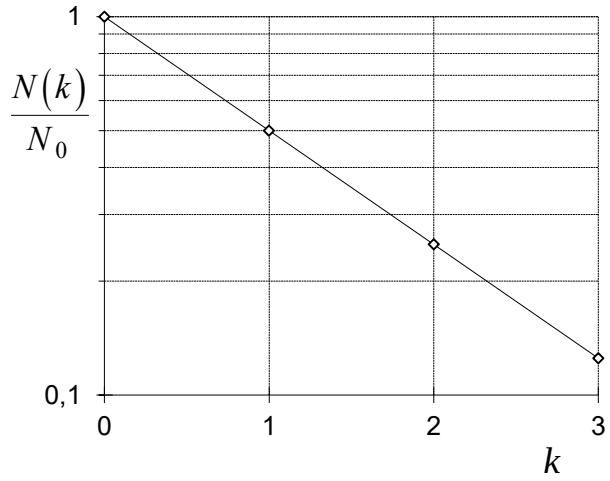


Рис. 1.5

штабе, откладывая по ординате функцию выживания N/N_0, а по оси абсцисс – время в линейном масштабе, то будем иметь дело с линейной зависимостью (рис. 1.5). Угловой коэффициент функции $f(k) = \ln(N/N_0)$ зависит от T. Если в радиоактивном препарате присут-ствуют не один, а несколько радио-нуклидов, например *1* и *2*, отличающихся между собою по периоду полураспада T, то результирующая функция *3* в полулогарифмическом масштабе будет отличаться от прямой (рис. 1.6). Получение отдельных (парциальных) зависимостей в таких случаях возможно графическим путем лишь для двух, иногда трех изотопов с контрастными периодами полураспада (отличающихся в нес-колько р

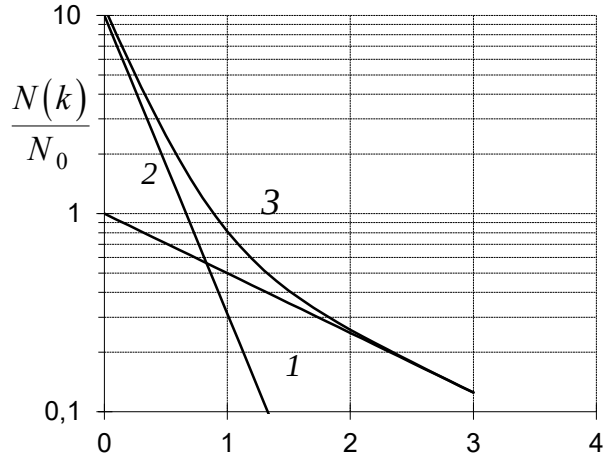


Рис. 1.6

Если функция $N(t)$ известна, например, получена по данным измерений активности радионуклида во времени, то его период полураспада может быть найден из следующей зависимости:

$$T = \ln 2\left(\ln a_1 - \ln a_2\right)^{-1}\Delta t, \qquad (1.12)$$

где a_1, a_2 - активности (или аппаратурные параметры), соответствующие моментам времени t_1 и t_2, а $\Delta t = t_2 - t_1$.

Численные значения периодов полураспада для естественно-радиоактивных элементов изменяются в очень больших пределах – от $1{,}40\cdot10^{10}$ лет для ${}_{90}Th^{232}$ до $2{,}09\cdot10^{-7}$ с для ThC′ (${}_{84}Po^{212}$).

Понятие о средней продолжительности жизни атомов

Ядра радионуклидов распадаются стохастически (случайно), независимо друг от друга, поэтому о времени жизни каждого отдельного ядра любого изотопа можно сказать, что это время меняется от нуля до бесконечности. Однако средняя продолжительность жизни большой группы атомов любого из

радионуклидов является определенной и устойчивой величиной, связанной с постоянной распада.

Допустим, что на некотором отрезке времени *dt* распалось *dN* ядер данного радионуклида. Тогда произведение *tdN* будет представлять собою суммарное время жизни всех ядер некоторой выборки *dN*, существующих в течение времени *t*, вплоть до отрезка *t* + *dt*. Если исходное количество ядер обозначить через N_0 и предположить, что любая сколь угодно малая выборка ядер может существовать неограниченное время от 0 до ∞, то для среднего времени жизни τ группы атомов N_0 можно записать:

$$\tau = \frac{1}{N_0}\int_0^{N_0} t dN \text{, или} \qquad (1.13)$$

$$\tau = \frac{1}{N_0}\int_0^{\infty} t\lambda N dt = \int_0^{\infty} t\lambda e^{-\lambda t} dt . \qquad (1.14)$$

Интеграл (1.14) легко берется по частям, поэтому, опуская промежутки, запишем:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} \cong 1{,}44T . \qquad (1.15)$$

Из-за статистического характера радиоактивного распада законы радиоактивных превращений выполняются строго лишь для очень большого количества распадающихся ядер *N*. При малых *N* наблюдаются отклонения от этих законов, называемые (статистическими) *флуктуациями*. Отклонение числа распадов *n* от среднего значения $\overline{N}$ подчиняется закону *распределения Пуассона*, согласно которому при большом количестве наблюдений распределение вероятностей *p*(*n*) того, что за определенный промежуток времени будет зарегистрировано *n* распадов, описывается выражением

$$p(n) = \frac{\overline{N}^{\,n}}{n!} e^{-\overline{N}} . \qquad (1.16)$$

При достаточно большом количестве ядер (на практике для $n \geq 30$), распадающихся за данный промежуток времени, пуассоновское дискретное распределение вероятностей *p*(*n*) может быть описано через непрерывное *распределение Гаусса* с дисперсией $\overline{N}$:

$$p(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\overline{N}}} \exp\left[-\frac{\left(n - \overline{N}\right)^2}{2\overline{N}} \right]. \qquad (1.17)$$

Величина среднеквадратического отклонения σ_n, характеризующая разброс значений *n* относительно среднего $\overline{N}$, рассчитывается по формуле

$$\sigma_n = \pm\sqrt{\overline{N}}\,. \qquad (1.18)$$

В соответствии с этим относительное среднеквадратическое отклонение δ_n определяется выражением

$$\delta_n = \frac{\sigma_n}{\overline{N}} = \frac{1}{\sqrt{\overline{N}}}. \qquad (1.19)$$

При использовании формул (1.18) и (1.19) следует иметь в виду, что они определяют лишь вероятность, а не возможность флуктуации. Около 30 % от числа распавшихся атомов отклоняются от среднего значения на величину, большую, чем σ_n, причем 4,5 % их них на величину $2\sigma_n$, а 0,3 % – на величину $3\sigma_n$.

Закономерности (1.16) - (1.19) справедливы как для распадающихся ядер, так и для аппаратурных параметров (например скорость счета импульсов), зарегистрированных любым детектором ядерных частиц.

1.4.2. Последовательные ядерные превращения

В ряде случаев при распаде ядер исходного (материнского) элемента, родоначальника радиоактивного семейства, образуются атомы другого (дочернего) элемента, которые также являются радиоактивными и при ядерном превращении дают начало третьему элементу и т. д. Другими словами, образуется цепочка последовательных превращений типа

$$N_1(t) \rightarrow N_2(t) \rightarrow ... \rightarrow N_{n\text{-}1}(t) \rightarrow N_n(t),$$

которая заканчивается образованием стабильных ядер. Если известно исходное количество ядер материнского элемента N_{01}, а также постоянные распада радионуклидов цепочки, то можно найти количество любого из дочерних продуктов в любой момент времени.

Вначале рассмотрим **случай двух веществ**. Допустим, что мы имеем дело с бинарной цепочкой

$$N_1(t) \rightarrow N_2(t).$$

Если обозначить через λ_1 и λ_2 постоянные распада материнского и дочернего радионуклида, то прирост дочерних ядер dN_2 за время dt составит

$$dN_2 = \lambda_1 N_1 dt - \lambda_2 N_2 dt\,, \qquad (1.20)$$

откуда скорость прироста составит

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2\,. \qquad (1.21)$$

Перепишем (1.21) с учетом того, что $N_1(t) = N_{01}\exp(-\lambda_1 t)$:

$$\frac{dN_2}{dt} + \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_{01} \exp(-\lambda_1 t). \qquad (1.22)$$

Будем искать функцию $N_2(t)$, имея в виду, что при $t = 0$, $N_1(0) = N_{01}$. Обычным приемом при решении уравнений типа (1.22) является нахождение решения в виде суммы

$$N_2(t) = N_2'(t) + N_2''(t), \qquad (1.23)$$

где $N_2'(t)$ – общее, $N_2''(t)$ – частное решение уравнения (1.22).

Полагая нулю правую часть (1.22), имеем для общего решения:

$$N_2'(t) = A \exp(-\lambda_2 t).$$

Частное решение обычно ищется в соответствии со структурой правой части дифференциального уравнения. В нашем случае:

$$N_2''(t) = B \exp(-\lambda_1 t).$$

Будем искать постоянные интегрирования A и B. Поскольку частное решение обязано удовлетворять исходному дифференциальному уравнению (1.22), то можно записать:

$$-\lambda_1 B \exp(-\lambda_1 t) + \lambda_2 B \exp(-\lambda_1 t) = \lambda_1 N_{01} \exp(-\lambda_1 t). \qquad (1.24)$$

Из (1.24) легко находится постоянная интегрирования:

$$B = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{01}.$$

Постоянную A найдем из начального условия. Поскольку при $t = 0$ $N_2(0) = 0$ (процесс распада материнских ядер еще не начался), то, имея в виду (1.23), получим:

$$A + B = 0, \text{ откуда } A = -B = -\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{01}.$$

С учетом полученного запишем выражение для искомой функции $N_2(t)$:

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)\right]. \qquad (1.25)$$

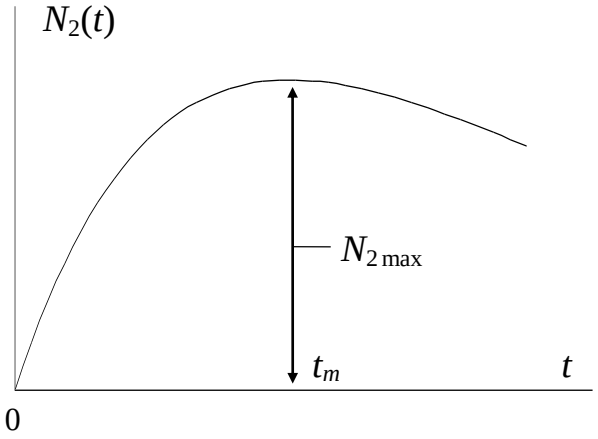


Рис. 1.7

Элементарный анализ формулы (1.25) убеждает, что функция $N_2(t)$ в нуле и в бесконечности оказывается равной нулю, поэтому в соответствии с *теоремой Ролля* она должна иметь экстремум (максимум), рис. 1.7. Решая задачу на максимум, имеем:

$\frac{d}{dt}\left[N_2(t)\right]=0$, откуда

$-\lambda_1 \exp(-\lambda_1 t_m)+\lambda_2 \exp(-\lambda_2 t_m)=0$, и

$$t_m=\frac{\ln\lambda_2-\ln\lambda_1}{\lambda_2-\lambda_1}. \qquad (1.26)$$

Рассмотрим поведение $N_2(t)$ для частного случая, когда период полураспада материнского изотопа оказывается много больше периода полураспада дочернего продукта, т. е. $\lambda_1 << \lambda_2$. С учетом отмеченного неравенства формулу (1.25) можно переписать:

$$N_2(t)=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}N_{01}\exp(-\lambda_1 t)\left[1-\exp(-\lambda_2 t)\right], \text{ или} \qquad (1.27)$$

$$\lambda_2 N_2(t)=\lambda_1 N_1(t)\left[1-\exp(-\lambda_2 t)\right],\ \lambda_1 << \lambda_2. \qquad (1.28)$$

Произведение $A = \lambda N$ определяет *абсолютную активность* данного радиоактивного препарата или количество ядерных превращений, происходящих в нем за единицу времени. Обозначив активность материнского и дочернего продуктов через $A_1(t)$ и $A_2(t)$, получим:

$$A_2(t)=A_1(t)\left[1-\exp(-\lambda_2 t)\right]. \qquad (1.29)$$

Рассмотрим поведение функции $A_2(t)$ в начальные моменты времени (до достижения t_m), например, когда $t < T_2$ или $t << T_1$. В этом случае произведение $N_{01}\exp(-t\ \ln 2/T_1) \approx N_{01}$, т. е. количество ядер материнского изотопа за промежуток времени, много меньший, чем его период полураспада, практически не изменяется. Обозначим через $A_0 = \lambda_1 N_{01}$ начальную активность материнского вещества, тогда

$$\frac{A_2(t)}{A_0}=1-\exp(-\lambda_2 t). \qquad (1.30)$$

Другими словами, в начальные моменты времени (до достижения максимума) накопление дочерних ядер происходит пропорционально *функции накопления* $f(t) = 1 - \exp(-\lambda_2 t)$ с постоянной распада короткоживущего дочернего продукта, т. е. накопление дочернего вещества происходит достаточно быстро.

В моменты времени после достижения $N_2(t)$ максимума, например, когда $t > T_1$ или $t >> T_2$, непосредственно из (1.27) вытекает, что

$$A_2(t) = \lambda_1 N_{01} \exp(-\lambda_1 t). \qquad (1.31)$$

Другими словами, уменьшение активности дочернего продукта (после достижения максимума) происходит пропорционально *функции остывания* $f(t) = \exp(-\lambda_1 t)$ с постоянной распада долгоживущего материнского вещества, т. е. относительно медленно.

Можно показать, что процесс накопления дочерних ядер всегда происходит быстро (с постоянной распада короткоживущего нуклида), а уменьшение едет медленно, т. е. с постоянной распада долгоживущего нуклида, вне зависимости от того, материнский это изотоп или дочерний.

Понятие о радиоактивном равновесии

Если в дифференциальном уравнении (1.21) левую часть принять равной нулю, то получим следующее равенство:

$$\lambda_1 N_1(t) = \lambda_2 N_2(t). \qquad (1.32)$$

Соотношение (1.32) характеризует состояние *радиоактивного равновесия*, наступающего по достижении максимума функции $N_2(t)$. Радиоактивное равновесие свидетельствует о равенстве активностей материнского и дочернего продуктов, при этом количество тех и других ядер меняется во времени, сохраняется постоянным лишь их отношение

$$\frac{N_2(t)}{N_1(t)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \text{const}. \qquad (1.33)$$

Различают *подвижное* и *устойчивое* (*вековое*) состояния радиоактивного равновесия. Допустим, что продолжительность жизни материнского вещества больше времени жизни любого из дочерних продуктов цепочки последовательных превращений, но пренебречь распадом («остыванием») материнского вещества нельзя. В этом случае по истечении достаточно длительного промежутка времени количество каждого из последующих продуктов превращения изменится по закону распада материнского вещества и отношение между количеством материнского изотопа и количеством

последующих продуктов распада будет приближаться к постоянному предельному значению.

Рассмотренный выше случай относится к так называемого подвижному равновесию, что имеет место, например, при установления равновесия между Rn (T = 3,825 суток) и его дочерними продуктами распада RaA, RaB и RaC. При малых периодах полураспада указанные продукты быстро достигают состояния радиоактивного равновесия с материнским веществом. Так, RaA (T = 3,05 мин.) приходит в состояние равновесия с Rn практически через 12-15 минут, а ThA (T = 0,16 с) практически всегда находится в равновесии с тороном (T = 54,5 с). То же самое относится к AcA (T = $1{,}08\cdot10^{-3}$ с), находящемуся в равновесии с актиноном (T = 3,9 с).

Если материнское вещество распадается настолько медленно, что его остыванием можно пренебречь, то во всей цепочке последовательных превращений по истечении достаточного времени наступит состояние, называемое устойчивым (вековым) равновесием. Накопление любого продукта цепочки будет происходить до тех пор, пока число его распадающихся ядер в единицу времени не окажется равным числу распадающихся в единицу времени ядер материнского вещества. Теоретически такое состояние может быть достигнуто через бесконечно большой промежуток времени, практически же он достигается за такой конечный отрезок, когда прирост ядер дочернего продукта уже нельзя заметить опытом. По достижении в радиоактивном ряду состояния устойчивого равновесия количество распадающихся в единицу времени атомов любого радионуклида цепочки становится одинаковым, т. е.

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \ldots = \lambda_n N_n = \text{const}. \qquad (1.34)$$

Из (1.34) видно, что при устойчивом радиоактивном равновесии число атомов N_1, N_2, ..., N_n пропорционально их периодам полураспада.

Число ядер радионуклида, соответствующее активности 1 расп/с, можно оценить как $N = 1/\lambda$, а масса вещества в грамм, излучающая эту активность, составляет:

$$m = N\frac{A}{N_A} = \frac{A}{\lambda N_A} = \frac{A}{N_A}\frac{T}{\ln 2},$$

где N_A – число Авогадро; A – атомный вес радионуклида.

О радиоактивном равновесии между U и Ra

Радиоактивное равновесие между ураном и радием наступает по истечении длительного промежутка времени и наблюдается в древних хорошо сохранившихся породах и минералах. Имея в виду (1.32), оценим количество Ra, находящегося в равновесии с одним граммом U. Полагая массу урана

равной 1 г, а периоды полураспада $_{92}U^{238}$ и $_{88}Ra^{226}$ равными $4{,}47\cdot10^9$ и 1602 лет, соответственно, получим:

$$m_{Ra} = m_U \frac{\lambda_U}{\lambda_{Ra}} \frac{A_{Ra}}{A_U}, \qquad (1.35)$$

где A_{Ra}, A_U – массовые числа радия и урана.

Из (1.35) следует, что один грамм U соответствует активности (количеству распадов в единицу времени) $3{,}4\cdot10^{-7}$ г Ra, т. е. из трех тонн равновесного U можно извлечь примерно один грамм Ra.

Происходящие в природе процессы растворения и выщелачивания радиоактивных элементов из горных пород и минералов приводят к нарушениям радиоактивного равновесия и, в частности, вызывают смещение равновесия между Ra и U. В этом случае степень смещения равновесия выражается в % и определяется соотношением

$$K_{рр} = \frac{\alpha}{\alpha_0} 100\,\%, \text{ или} \qquad (1.36)$$

$$K_{рр} = \frac{Q_{Ra}}{Q_U} \frac{100\,\%}{3{,}4\cdot10^{-7}},$$

где α – отношение Ra к U в исследуемом образце;

α_0 – равновесное соотношение между Ra и U ($3{,}4\cdot10^{-7}$);

Q_{Ra}, Q_U – содержания Ra и U в исследуемом образце.

Если $\alpha > \alpha_0$, то говорят о смещении равновесия в сторону Ra; при $\alpha < \alpha_0$ – в сторону U; если $\alpha = \alpha_0$ – равновесной руде.

Отношение (1.36) называется *коэффициентом радиоактивного равновесия* между Ra и U и может меняться от 0 до ∞. Сведения о состоянии радиоактивного равновесия имеют важное значение при интерпретации результатов γ-измерений, например при количественных определениях U по результатам γ-каротажа.

Случай трех веществ

Допустим, что имеется цепочка последовательных превращений

$N_1(t) \rightarrow N_2(t) \rightarrow N_3(t)$.

Атомы 3-го вещества образуются за счет распада 2-го вещества, который, в свою очередь, возникает за счет распада материнских ядер.

Будем считать, что в начальный момент времени $t = 0$, $N_1(0) \neq 0$, $N_2(0) = 0$, $N_3(0) = 0$. Требуется найти выражение для функции $N_3(t)$, т. е. количество ядер третьего продукта в любой момент времени. Скорость прироста ядер 3-го элемента можно записать следующим образом:

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_3 N_3, \text{ или} \tag{1.37}$$

$$\frac{dN_3}{dt} + \lambda_3 N_3 = \lambda_2 N_2. \tag{1.38}$$

Имея в виду, что количество ядер N_2 зависит от времени и определяется формулой (1.25), получим:

$$\frac{dN_3}{dt} + \lambda_3 N_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)\right]. \tag{1.39}$$

Будем искать функцию $N_3(t)$ в виде суммы

$$N_3(t) = N_3'(t) + N_3''(t), \tag{1.40}$$

где $N_3'(t)$ – общее, $N_3''(t)$ – частное решение уравнения (1.39).

Полагая нулю правую часть (1.39), получим для общего решения:

$$N_3'(t) = A\exp(-\lambda_3 t).$$

Частное решение будем искать в виде, соответствующем структуре правой части уравнения. В нашем случае:

$$N_3''(t) = B\exp(-\lambda_1 t) + C\exp(-\lambda_2 t).$$

Поскольку частное решение обязано удовлетворять исходному дифференциальному уравнению, то, учитывая, что

$$\frac{dN_3''}{dt} = -\lambda_1 B\exp(-\lambda_1 t) - \lambda_2 C\exp(-\lambda_2 t), \text{ имеем:}$$

$$B(\lambda_3 - \lambda_1)\exp(-\lambda_1 t) - C(\lambda_3 - \lambda_1)\exp(-\lambda_2 t) = \frac{\lambda_1 \lambda_2 N_{01}}{\lambda_2 - \lambda_1}\left[\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)\right],$$

откуда легко находятся постоянные интегрирования B и C:

$$B = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} N_{01},\ C = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} N_{01}.$$

Постоянную интегрирования A найдем, имея в виду начальное условие. Считая, что при $t = 0$, $N_3(0) = 0$, получим из (1.40): $A + B + C = 0$, откуда легко показать, что

$$A = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} N_{01}.$$

Подставляя выражения для постоянных A, B и C в (1.40), имеем:

$$N_3(t) = \lambda_1\lambda_2 N_{01}\left[\frac{\exp(-\lambda_1 t)}{(\lambda_2-\lambda_1)(\lambda_3-\lambda_1)} + \frac{\exp(-\lambda_2 t)}{(\lambda_1-\lambda_2)(\lambda_3-\lambda_2)} + \frac{\exp(-\lambda_3 t)}{(\lambda_1-\lambda_3)(\lambda_2-\lambda_3)}\right]. \quad (1.41)$$

Обобщение на случай *n* веществ

Пусть имеется цепочка ядерных превращений типа

$N_1(t) \to N_2(t) \to ... \to N_{n-1}(t) \to N_n(t)$.

Будем считать, что в начальный момент времени $t = 0$, $N_1(0) \neq 0$, $N_2(0) = N_3(0) = ... = N_n(0) = 0$. Имея в виду особенности правых частей функций $N_2(t)$ и $N_3(t)$, формулы (1.25) и (1.41), запишем для $N_n(t)$:

$$N_n(t) = \lambda_1\lambda_2...\lambda_{n-1} N_{01}\left[\frac{\exp(-\lambda_1 t)}{(\lambda_2-\lambda_1)(\lambda_3-\lambda_1)...(\lambda_n-\lambda_1)} + \right.$$

$$\left.\frac{\exp(-\lambda_2 t)}{(\lambda_1-\lambda_2)(\lambda_3-\lambda_2)...(\lambda_n-\lambda_2)} + ... + \frac{\exp(-\lambda_n t)}{(\lambda_1-\lambda_n)(\lambda_2-\lambda_n)...(\lambda_{n-1}-\lambda_n)}\right]. \quad (1.42)$$

Если период полураспада первого (материнского) вещества является наибольшим, то по истечении достаточно длительного времени в цепочке из n веществ устанавливается состояние радиоактивного равновесия либо подвижное, либо вековое. В первом случае количество каждого нуклида уменьшается пропорционально остыванию материнского вещества:

$$\lim\frac{N_n}{N_1} = \frac{\lambda_1\lambda_2...\lambda_{n-1}}{(\lambda_2-\lambda_1)(\lambda_3-\lambda_1)...(\lambda_n-\lambda_1)}. \quad (1.43)$$

Если же период полураспада материнского (1-го) вещества оказывается настолько большим, что $\lambda_1 << \lambda_2$, $\lambda_1 << \lambda_3$, ..., $\lambda_1 << \lambda_n$, то в этом случае между материнским и дочерними радионуклидами устанавливается вековое равновесие, которое характеризуется равенством активностей:

$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = ... = \lambda_n N_n$.

Радиоактивное равновесие в цепочке последовательных превращений практически наступает спустя время, на порядок превышающее период полураспада дочернего радионуклида с наибольшим временем жизни.

1.5. Естественные радиоактивные элементы

Систематическое изучение радиоактивности природных сред показало, что в любой горной породе содержатся (в разных количествах) радиоактивные изотопы тяжелых элементов с числами Менделеева от 81 до 92.

К числу естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ), все изотопы которых являются неустойчивыми, относятся элементы от $_{84}$Po до $_{92}$U. Встречающиеся в природе $_{81}$Tl, $_{82}$Pb, $_{83}$Bi содержат в своем составе радиоактивные изотопы. Имеются радиоактивные изотопы и у других элементов средней части таблицы Менделеева.

Таблица 1.2

Ядерные характеристики одиночных естественных радионуклидов

Изотоп	Отн. распростр., %	Период полураспада	Схема распада	Дочернее ядро	Энергия излучений, МэВ
$_{19}K^{40}$	0,0119	$1{,}27\cdot10^{9}$ лет	β^--распад (89%) *K-захват* (11%)	$_{20}Ca^{40}$ $_{19}Ar^{40}$	β_m - 1,325 γ - 1,460
$_{37}Rb^{87}$	27,5	$4{,}7\cdot10^{10}$ лет	β^--распад	$_{38}Sr^{87}$	β_m - 0,274 γ - 0,394
$_{49}In^{115}$	95,72	$6{,}0\cdot10^{14}$ лет	β^--распад	$_{49}Sn^{115}$	β_m - 0,6
$_{57}La^{138}$	0,089	$1{,}1\cdot10^{11}$ лет	β^--распад (6%) *K-захват* (94%)	$_{58}Ce^{138}$ $_{56}Ba^{138}$	β_m - 1,0 γ - 0,81, 1,43
$_{62}Sm^{147}$	14,97	$1{,}2\cdot10^{11}$ лет	α-распад	$_{60}Nd^{143}$	α - 2,18
$_{71}Lu^{176}$	2,59	$2{,}1\cdot10^{10}$ лет	β^--распад (33%) *K-захват* (67%)	$_{72}Hf^{176}$ $_{70}Yb^{176}$	β_m - 0,43 γ - 0,19, 0,31
$_{75}Re^{187}$	66,93	$1{,}2\cdot10^{11}$ лет	β^--распад	$_{76}Os^{187}$	$\beta_m < 0{,}008$ γ - нет
$_{78}Pt^{190}$	0,012	$6{,}9\cdot10^{11}$ лет	α-распад	$_{76}Os^{186}$	α - 3,3

В 1906 г. Кэмпбелл и Вуд обнаружили слабую β^--активность у калия и рубидия, которая не была обусловлена какими-либо примесями, поскольку оказалась пропорциональной массовой доле элемента. Впоследствии выяснилось, что радиоактивность К связана с присутствием в его составе малораспространенного изотопа $_{19}K^{40}$, распадающегося по схеме β^-- и *K*-захвата. Радиоактивным изотопом рубидия оказался $_{37}Rb^{87}$, испускающий β^--частицы. Известны и другие радионуклиды, встречающиеся в земной коре, их основные свойства приведены в табл. 1.2.

1.5.2. Ядерная геохронология

Особенности ядерных превращений широко используются в приложениях, в частности для определения абсолютного возраста горных

пород. Известно, что в любой горной породе можно обнаружить даже самые микроскопические количества любого химического элемента, включая и естественно-радиоактивные.

Допустим, что начальное количество ядер некоторого радионуклида в заданном образце горной породы составляет N_0 ядер. Если установлено, что за прошедший период этот радионуклид не выносился или дополнительно не поступал в исследуемую породу, то, зная постоянную распада радионуклида и соотношение начального N_0 и конечного количества N ядер, можно вычислить время t, которое потребовалось для этого соотношения.

Конечное (существующее на момент датировки) содержание радионуклида определяется аналитически (химия, радиохимия, γ-спектрометрия и др. методы анализа). О начальном содержании N_0 судят по количеству накопившегося в породе стабильного изотопа $N_{ст}$, являющегося конечным продуктом распада исходного радионуклида. При этом используется то обстоятельство, что начальное содержание радионуклида может быть представлено в виде суммы его концентрации N на момент исследований и содержания $N_{ст}$ – продукта распада, т. е.

$$N_0 = N + N_{ст}. \tag{1.44}$$

Учитывая, что $N = N_0 \exp(-\lambda t)$, имеем:

$$\frac{N_{ст}}{N} = \exp(\lambda t) - 1, \text{ откуда} \tag{1.45}$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(1 + \frac{N_{ст}}{N}\right). \tag{1.46}$$

Первые методы определения абсолютного возраста были основаны на использовании цепочки последовательных превращений U, Th и актиноурана в соответствующие стабильные изотопы ${}_{82}Pb^{206}$, ${}_{82}Pb^{208}$ и ${}_{82}Pb^{207}$:

$$\begin{cases} {}_{92}U^{238} \rightarrow 8\,{}_{2}He^{4} + {}_{82}Pb^{206}; \\ {}_{92}U^{235} \rightarrow 7\,{}_{2}He^{4} + {}_{82}Pb^{207}; \\ {}_{90}Th^{232} \rightarrow 6\,{}_{2}He^{4} + {}_{82}Pb^{208}. \end{cases} \tag{1.47}$$

В результате этих реакций образуется He и изотопы Pb в зависимости от того, по какому из указанных конечных продуктов распада определяется возраст, метод соответственно называется *гелиевым* или *свинцовым*.

В наиболее простом случае, когда возраст минерала априори относительно невелик ($t < 200$ млн лет), а Th в его составе отсутствует, возраст может быть оценен приближенно по формуле

$$t = 1{,}155 \frac{1}{\lambda_{U^{238}}} \frac{C_{Pb}}{C_U}, \qquad (1.48)$$

где C_{Pb}, C_U - массовые доли свинца и урана.

При наличии в минерале Th его содержание выражают в эквиваленте U, учитывая соотношения их активностей. Формула для расчета возраста при этом выглядит так:

$$t = 7600 \frac{C_{Pb}}{0{,}36 C_{Th} + C_U}. \qquad (1.49)$$

При более древнем возрасте минералов (t > 200 млн. лет) его рассчитывают через содержания изотопов свинца $_{82}Pb^{206}$, $_{82}Pb^{207}$ и $_{82}Pb^{208}$, определяемые масс-спектрометрическим методом.

Расчет ведется по формулам [59]:

$$\begin{cases} t = \dfrac{1}{\lambda_{U^{238}}} \ln\left(1 + 1{,}155 \dfrac{C_{Pb^{206}}}{C_{U^{238}}}\right); \\ t = \dfrac{1}{\lambda_{U^{235}}} \ln\left(1 + 1{,}135 \dfrac{C_{Pb^{207}}}{C_{U^{235}}}\right); \\ t = \dfrac{1}{\lambda_{Th^{232}}} \ln\left(1 + 1{,}115 \dfrac{C_{Pb^{208}}}{C_{Th^{232}}}\right). \end{cases} \qquad (1.50)$$

Возраст, полученный по трем формулам (1.50), теоретически должен быть одинаковым. В действительности этого обычно не наблюдается, так как природные системы не являются полностью закрытыми, и на протяжении геологической истории возможна частичная потеря как промежуточных, так и конечных нуклидов. Определенную погрешность дают также и масс-спектрометрические измерения.

Для определения истинного возраста урановых минералов и руд применяют способ так называемой «*кривой конкордии*». Указанная кривая представляет собою теоретическую зависимость отношения $_{82}Pb^{207}/_{92}U^{235}$ к $_{82}Pb^{206}/_{92}U^{238}$ от возраста природных сред, построенного на основании закона распада (рис. 1.9) [59].

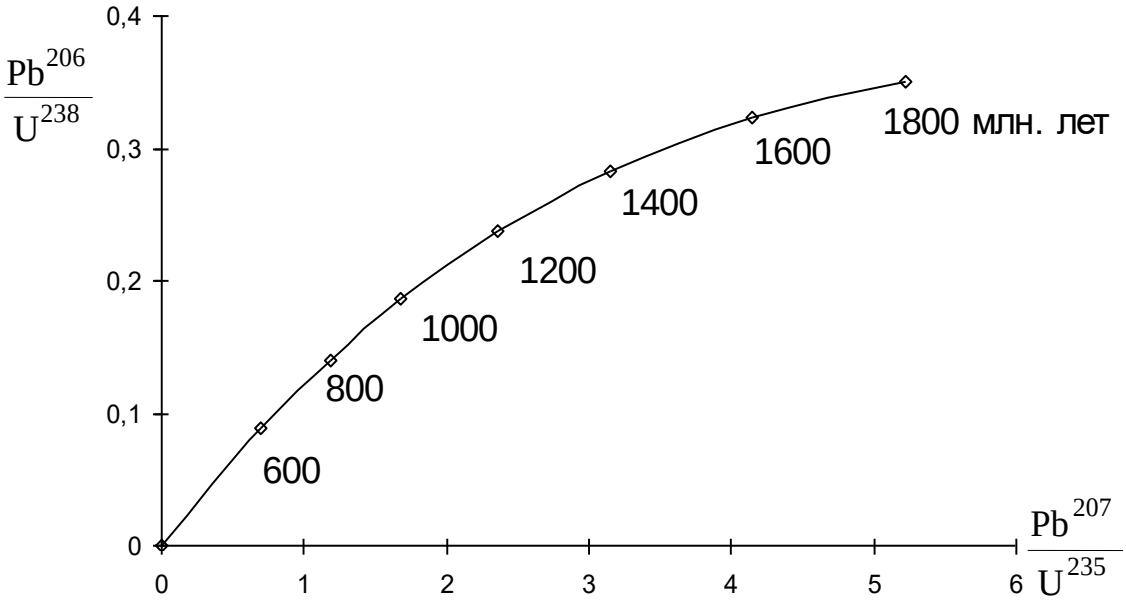


Рис. 1.9

Кроме указанных методов, для датировки природных образований используются также K-Ar-, Rb-Sr- и радиоуглеродный (C^{14}) методы.

Калий-аргоновый метод. Калий - широко распространенный элемент, входит в состав большинства горных пород. Кларк К в земной коре равен 2,5 %, его содержание в горных породах колеблется от 0,03 до 3,34 % (кроме солей). Почти 18 % массы земной коры приходится на долю К-содержащего минерала – ортоклаза (КПШ). Это двойная соль кремниевой кислоты $K_2O{\cdot}Àl_2O_3{\cdot}6SiO_2$. В результате химического выветривания ортоклаз превращается в каолин, песок (SiO_2) и воду. По этой причине К можно встретить как в изверженных, так и в осадочных горных породах.

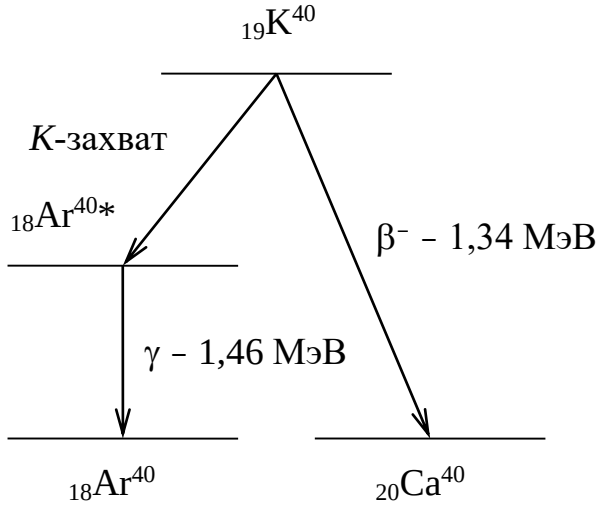


Рис. 1.10

Природная смесь К состоит из двух стабильных изотопов $_{19}К^{39}$ (98,03 %), $_{19}К^{41}$ (6,91 %) и одного радиоактивного - $_{19}К^{40}$ (0,0119 %). Радиоактивный изотоп калия распадается путем β^--превращения (с вероятностью 89 %) и превращения типа *К*-захвата (11 %), сопровождающегося γ-излучением с энергией 1,46 МэВ (рис. 1.10). В результате *К*-захвата по схеме

$$_{19}К^{40} + \beta^- \rightarrow {}_{18}Ar^{40} + \upsilon$$

образуется возбужденное ядро $_{18}Ar^{40}$*, которое переходит в основное состояние после испускания γ-кванта с энергией 1,46 МэВ.

Постоянная распада λ_e, соответствующая явлению *e*-захвата, для $_{19}K^{40}$ составляет $0{,}585\cdot10^{-10}$ год$^{-1}$. Бета-минус распад $_{19}K^{40}$ приводит к образованию стабильного изотопа $_{20}Ca^{40}$ по схеме

$$_{19}K^{40} - \beta^- \rightarrow {}_{20}Ca^{40} + \tilde{\upsilon}.$$

Постоянная β^--распада $_{19}K^{40}$ составляет $\lambda_\beta = 4{,}72\cdot10^{-10}$ год$^{-1}$.

При расчетах значение абсолютного возраста *t* может быть получено из следующего соотношения:

$$t = \frac{1}{\lambda_\beta + \lambda_e} \ln\left(1 + \frac{\lambda_\beta + \lambda_e}{\lambda_e} \frac{C_{Ar^{40}}}{C_{K^{40}}}\right). \qquad (1.51)$$

Надежность датировки пород с помощью K-Ar-метода во многом зависит от скорости утечки образующегося Ar из минералов.

Рубидиево-стронциевый метод. Рубидий – химический элемент I группы периодической системы, имеет порядковый номер $Z = 37$ и атомный вес $A = 85{,}47$. Рубидий малораспространен в природе, его кларк в земной коре составляет 0,015 % по массе.

Среди изверженных пород наиболее высокие содержания Rb отмечаются в кислых разностях (0,02 %), а наиболее низкие – в ультрабазитах (2 г/т). Среднее содержание Rb в глинах и глинистых сланцах 0,02 %. В природе Rb, как правило, встречается совместно с Cs и собственных минералов не образует. Наиболее высокие концентрации этих элементов наблюдаются в некоторых минералах пегматитовых жил: полевых шпатах, слюдах, бериллах и особенно в поллуците. Содержание Rb в ортоклазах и микроклинах может достигать 2,7-2,8 %, в мусковитах – 1,8, в биотитах – 0,37, в лепидолитах – 2,7-3,7 %.

Природный рубидий состоит из смеси двух изотопов с массовыми числами 85 (72,81 %) и 87 (27,19 %). Изотоп $_{37}Rb^{87}$ β-радиоактивен и распадается по схеме

$$_{37}Rb^{87} - \beta^- \rightarrow {}_{38}Sr^{87} + \tilde{\upsilon}$$

с периодом полураспада $T = 4{,}7\cdot10^{10}$ лет. В природных условиях встречаются четыре стабильных изотопа стронция: $_{38}Sr^{84}$ (0,56 %), $_{38}Sr^{86}$ (9,86 %), $_{38}Sr^{87}$ (7,02 %) и $_{38}Sr^{88}$ (82,56 %).

Данные по относительной распространенности стабильных изотопов *Sr* были получены после того, как Гольдшмидт в 1937 г. высказал предположение, что β^--распад $_{37}Rb^{87}$ с образованием $_{38}Sr^{87}$ можно использовать в качестве

геохронометра. Поскольку изотоп $_{38}Sr^{87}$ может быть как естественным, так и радиогенным (за счет распада $_{37}Rb^{87}$), то при расчете геологического возраста следует сопоставлять между собою массовые доли радионуклида $_{37}Rb^{87}$ и радиогенной «добавки» $_{38}Sr^{87}$.

Время *t*, необходимое для получения имеющегося в данном образце количества радиогенного $_{38}Sr^{87}$, рассчитывается из соотношения

$$t = \frac{1}{\lambda_{Rb^{87}}} \frac{C_{Sr^{87}}}{C_{Rb^{87}}}, \qquad (1.52)$$

где $\lambda_{Rb^{87}}$ – постоянная распада материнского изотопа $_{37}Rb^{87}$;

$C_{Rb^{87}}$, $C_{Sr^{87}}$ – массовые доли изотопа $_{37}Rb^{87}$ и радиогенного $_{38}Sr^{87}$.

Радиоуглеродный метод. Ниже рассматривается метод, который широко используется для датировки объектов жизнедеятельности, существовавших тысячи или первые десятки тысяч лет. Речь идет о датировке по радиоуглероду $_6C^{14}$, который образуется в атмосфере под действием космического излучения.

Космические лучи, состоящие из частиц высокой энергии, разрушают в верхних слоях атмосферы ядра атомов азота, входящих в состав воздуха. При этом образуются вторичные ядерные частицы и дочерние продукты, которые могут быть радиоактивными. Вторичные ядерные частицы, например нейтроны, могут взаимодействовать с $_7N^{14}$ и образовывать $_1H^3$ и $_6C^{14}$:

$$_7N^{14} + {}_0n^1 \rightarrow {}_6C^{12} + {}_1H^3,$$
$$_7N^{14} + {}_0n^1 \rightarrow {}_6C^{14} + {}_1H^1.$$

Первая из этих реакций идет на быстрых, а вторая на тепловых нейтронах. Возникающие под действием космических лучей нейтроны замедляются в воздухе до тепловых энергий, поэтому скорость образования ядер $_6C^{14}$ оказывается заметно выше скорости образования $_1H^3$ (примерно 2,3 атом/с на 1 см^2 поверхности для $_6C^{14}$ и 0,4 атома $_1H^3$ при тех же условиях).

Радиоуглерод $_6C^{14}$ является β^--излучателем с периодом полураспада 5570 лет. Максимальная энергия β-частиц составляет 155 кэВ. Если предположить, что интенсивность космического излучения оставалось постоянной за последние десятки тысяч лет, то, исходя из периода полураспада $_6C^{14}$, можно считать, что к настоящему времени достигнуто равновесие между образующимися и распадающимися ядрами $_6C^{14}$. Атом радиоуглерода в воздухе довольно быстро окисляется и переходит в двуокись $C\hat{I}_2$.

Растительный мир живет за счет атмосферного углекислого газа. Животный мир питается растительным, и, следовательно, слабо радиоактивный углерод проникает в организм животных. В результате распада атомов $_6C^{14}$

каждый грамм углерода в живом организме испускает примерно 15 β-частиц в минуту. Когда жизнедеятельность прекращается, то обрывается и углеродный обмен с атмосферой и биосферой, количество атомов ${}_6C^{14}$ в организме не восполняется, происходит лишь их распад с известным периодом. Спустя 5570 лет после прекращения жизнедеятельности, число испускаемых β-частиц на каждый грамм содержащегося в нем С уменьшается вдвое, а спустя два периода полураспада ${}_6C^{14}$, это число уменьшится в 4 раза. Следовательно, измеряя удельную активность ${}_6C^{14}$, можно установить в пределах точности метода, когда для изучаемого объекта прекратился углеродный обмен, т. е. когда этот живой организм умер.

Зная удельную радиоактивность атмосферного углерода I_0 (та же, что и в организме) и активность исследуемого ископаемого остатка I, можно вычислить возраст с момента прекращения обмена углеродом:

$$t = \frac{1}{\lambda_{C^{14}}} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right). \qquad (1.53)$$

Радиоуглеродный метод применим для датировки образований, возраст которых не превышает 20 тыс. лет. Для него пригодны древесный уголь (обугленное вещество), древесина, торф, кости, раковины и т. п.

Радиоуглеродный метод был проверен на образцах пород, возраст которых был хорошо известен из археологических данных. Одним образцом служил брусок кипариса из гробницы фараона Снофру; возраст бруска по археологическим данным оценивался в 5600 лет. Другой образец был взят из палубы похоронного судна фараона Сезостриса III; возраст – 3800 лет. Для каждого из этих образцов, как и для ряда других, возраст по ${}_6C^{14}$ совпал с археологическими данными с точностью ±10 % относительных [61].

1.5.3. Физико-химические свойства некоторых естественно-радиоактивных элементов

Уран (U). Уран является наиболее тяжелым природным элементом с порядковым номером 92. Атомный вес природной смеси его изотопов (U^{238}, U^{235}, U^{234}) равен 238,03, плотность урана – 18,9 г/см^3. Этот элемент открыт Клапротом в 1782 г., а его радиоактивность обнаружена Беккерелем в 1896 году. Уран характеризуется большим зарядом ядра и сложным строением электронной оболочки. В природных условиях он встречается в 4- (U^{+4}) и 6-валентной (U^{+6}) формах. Основной особенностью U является большая химическая активность и сильная восстановительная способность, особенно ярко проявляющаяся в кислых водных растворах. С кислородом U образует

оксиды UO_2, U_3O_8, и UO_3. Последний оксид в природных условиях без воды обычно не встречается. Галогенные соединения урана неустойчивы и весьма летучи. Сульфатные соединения урана в природе неизвестны. В природных условиях соединения 4-валентного U имеют черный, темно-коричневый и красно-бурый цвет и характеризуют гипогенные условия образования минералов при условиях восстановительной среды. Соединения U^{+6} имеют яркий зеленовато-желтый цвет и относятся ко вторичным урановым минералам.

Все урановые минералы делятся на *первичные* и *вторичные*. В группу первичных минералов U, представленных его оксидами, в первую очередь выделяют уранинит и настуран, отличающийся от уранинита тем, что он образуется в виде плотных натечных форм. Для всех первичных минералов U характерно присутствие Th. Вторичные минералы U представлены карбонатами, силикатами, фосфатами, ванадатами и сульфатами уранила. Во вторичных урановых минералах Th, как правило, отсутствует.

Кларк U в земной коре составляет $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ %. Наиболее высокие средние содержания урана отмечаются в кислых изверженных породах (4,5 г/т), а наиболее низкие – в ультрабазитах $3 \cdot 10^{-7}$ %. В глинах и глинистых сланцах среднее содержание урана 3,2 г/т. Основная масса U (60 - 90 %) находится в литосфере в рассеянном состоянии, хотя известно большое количество (~200) U-содержащих минералов. Наибольшее практическое значение из них имеет около 30. Многие U-содержащие минералы являются сырьем на редкие земли и другие элементы.

Природные скопления урана образуются при магматических и гидротермальных процессах, при осадконакоплении, метаморфизме и выветривании пород. Встречаются как собственно урановые месторождения, так и комплексные. Массовые доли U в рудах колеблются от сотых долей процента до первых процентов. Среди урановых руд выделяют богатые (1-3 %), рядовые (0,1-1,0 %) и бедные (0,05-0,1 %). Из комплексных руд U извлекается и при убогих концентрациях (< 0,05 %)

Изотоп U^{235} делится под действием тепловых нейтронов и является основным сырьем для тепловых АЭС. Наиболее распространенный изотоп U^{238} делится под действием быстрых нейтронов и служит сырьем для получения стратегического делящегося материала – плутония. Образование Pu идет по следующей схеме:

$$_{92}U^{238} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{92}U^{239}\ (\beta^-,\ 25\ \text{мин}) \rightarrow {}_{93}Np^{239}\ (\beta^-,\ 2{,}33\ \text{сут}) \rightarrow {}_{94}Pu^{239}.$$

Изотоп $_{94}Pu^{239}$ был открыт в 1941 г; он является α-излучателем с периодом полураспада $2{,}44 \cdot 10^4$ лет, превращаясь в дочерний продукт $_{92}U^{235}$.

Изотоп $_{94}Pu^{239}$ имеет очень большое сечение деления тепловыми нейтронами (738 барн) и испускает при одном акте деления ~2,9 нейтрона, что позволяет использовать $_{94}Pu^{239}$ в качестве стратегического сырья.

До пуска первых атомных реакторов урановые руды добывали в основном для извлечения из них Ra. Мизерные количества урановых соединений использовали в некоторых красителях и катализаторах. Когда из элемента, не имеющего почти никакого промышленного значения, U превратился в стратегическое сырье № 1, началась настоящая охота за его рудами. Чуть ли не все уголки земного шара были обследованы на U, благо его радиоактивность подсказывала принципы конструирования чувствительных поисковых радиометров.

При среднем содержании урана 2,5 г/т в некоторых горных породах, например в гранитах, его массовая доля составляет 4,5 г/т. Полная энергия, «спрятанная» в этих граммах, эквивалентна теплосодержанию сотен тонн каменного угля. Поэтому (а еще и потому, что во всем мире наблюдается устойчивая тенденция к извлечению U, и не только его, из все более бедных руд) можно полагать, что со временем гранит вполне может оказаться одним из видов минерального сырья. Всего в относительно тонком, 20-км верхнем слое Земли заключено 10^{14} т U. Количество громадное, способное удовлетворить все энергетические потребности человечества на долгое время. Энергия этого U оценивается астрономической цифрой – $2{,}3 \cdot 10^{24}$ киловатт-часов. Это в 10^6 раз больше, чем могут дать все разведанные и предполагаемые месторождения горючих полезных ископаемых.

Если бы в массе планеты концентрация U была такой же, как в гранитном слое, то температура Земли была бы намного выше существующей. Это обстоятельство, подтвержденное прямыми измерениями, показывает, что по мере продвижения к центру Земли концентрация U падает.

Способов извлечения U из руд разработано великое множество. Причина тому, с одной стороны – стратегическая важность этого элемента, а с другой, – разнообразие его минеральных форм. Но каков бы ни был метод или сырье, любое урановое производство включает три стадии: предварительное концентрирование (обогащение), выщелачивание U и получение достаточно чистых соединений U осаждением, экстракцией или ионным обменом. Далее, в зависимости от назначения получаемого урана, следует обогащение продукта изотопом U^{235} или сразу же восстановление элементного (металлического) урана.

Радий (Ra). Промежуточный продукт распада в радиоактивном семействе U^{238}, радий имеет порядковый номер 88 и атомный вес 226, плотность 5,0 г/см^3. Открыт супругами Кюри в 1898 г. В чистом виде представляет собой довольно мягкий металл серебристого цвета. Химические свойства Ra близки к свойствам Ba, вместе с которым они часто встречаются в руде. Радий всегда двухвалентен. При взаимодействии с кислотами оксиды и гидраты окисей Ra легко образуют соли, причем соли с анионами Cl^- и NO_3^- легкорастворимы, а соли с анионами F^-, SO_4^-, CO_3^- – труднорастворимы в воде.

В природных условиях Ra встречается преимущественно в рассеянном состоянии и вследствие чрезвычайно низкого кларка ($1\cdot10^{-10}$ %) самостоятельных минералов не образует. Наиболее высокие содержания Ra отмечаются в кислых породах, а наиболее низкие – в ультрабазитах. Среднее содержание Ra в глинах и глинистых сланцах $1\cdot10^{-10}$ %.

Наиболее распространенный изотоп $_{88}Ra^{226}$ образуется за счет α-распада иония Io ($_{90}Th^{230}$). Изотоп $_{88}Ra^{226}$ является α-излучателем с периодом полураспада 1602 лет. Кроме этого изотопа, в природе еще известен продукт цепочки ядерных превращений семейства U^{235} - Ra^{223} (T = 11,43 сут) и продукт цепочки Th^{232} - Ra^{224} (T = 3,64 сут).

Радон (Rn). Радиоактивный инертный газ (эманация), существует в природе как одно из промежуточных звеньев в цепочке ядерных превращений семейства U^{238}. Образуется в результате α-распада Ra^{226}. Массовое число 222, атомный номер 86, период полураспада 3,825 сут. Является α-излучателем. К настоящему времени известно 19 изотопов Rn с массовыми числами 204 и от 206 до 224. Искусственным путем получено 16 изотопов. В природных средах существует всего три изотопа Rn.

Эманация тория – Tn ($_{86}Rn^{220}$ – торон) является членом другого естественно-радиоактивного семейства – ряда $_{90}Th^{232}$. Это изотоп радона с массовым числом 220 и периодом полураспада 55,6 с.

Третий природный изотоп радона – актинон An ($_{86}Rn^{219}$). Так же как радон и торон, он является радиоактивным газом, относящихся к группе инертных (благородных) газов. Актинон является членом семейства актиноурана $_{92}U^{235}$, его массовое число 219, период полураспада 3,96 с.

Рассматриваемые эманации распространены в почвенном и (очень незначительно) в атмосферном воздухе, а также в минеральных источниках. Концентрация Rn в почвенном воздухе изменяется в широких пределах: от $2{,}6\cdot10^{-15}$ до $44\cdot10^{-15}$ %. В районах развитого уранового оруденения концентрация Rn в почвенном воздухе может достигать 10^{-12} %. В атмосферном воздухе

концентрация Rn невелика, примерно на три порядка ниже нормальной концентрации в почвенном воздухе, и составляет ~$4 \cdot 10^{-18}$ %.

В природных водах концентрация Rn меняется в очень широких пределах – от $4 \cdot 10^{-16}$ до $4 \cdot 10^{-10}$ %.

Торий (Th). Естественно-радиоактивный элемент Th состоит из одного изотопа с массовым числом 232, который является родоначальником ториевого семейства. Открыт Берцелиусом в 1828 г., а его радиоактивность обнаружена М. Кюри в 1898 г.

Торий – металл белого цвета, плотностью 11,7 г/см^3, темнеющий на открытом воздухе. Торий является относительно широко распространенным элементом, его присутствие можно обнаружить практически в любой горной породе. Кларк Th составляет $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ % (15 г/т), т. е. примерно в четыре раза выше кларка урана. Наиболее высокое содержание тория отмечается в кислых породах (18 г/т), минимальные – в ультрабазитах (до $5 \cdot 10^{-7}$ %). В некоторых типах изверженных пород содержание Th достигает сотых долей процента, в глинах и глинистых сланцах – 11 г/т.

Известно более 120 Th-содержащих минералов, однако промышленное значение имеют немногие: монацит (GeLaTh)[PO_4], торит $ThSiO_4$, ураноторит, торианит и др. Торий тесно связан с редкими землями и U. Основным источником Th является монацитовый песок. Не меньшую ценность представляет и находящийся в его составе Ce. Торий может использоваться для получения делящегося материала, которым наряду с U^{235}, Pu^{239} является U^{233}. Этот изотоп получается по ядерной реакции

$$_{90}Th^{232}\ (n,\gamma)\ _{90}Th^{233}\ (\beta^-) \rightarrow\ _{91}Pa^{233}\ (\beta^-) \rightarrow\ _{92}U^{233}.$$

Калий (К). Среди трех природных изотопов калия только $_{19}К^{40}$ является радиоактивным с содержанием в естественной смеси 0,0119 % и периодом полураспада $T = 1{,}27 \cdot 10^9$ лет. Физико-химические свойства К резко отличаются от свойств других радиоактивных элементов. Прежде всего К распространен в природе в несравненно больших количествах. Кларк К в земной коре равен 2,4 %, высокие содержания отмечены в щелочных и кислых породах – 4,9 и 3,6 % соответственно, минимальные – в ультрабазитах – 0,03 %. Калий относится к группе щелочных металлов, имеет порядковый номер 19, атомную массу 39,1 и плотность 0,86 г/см^3.

Из наиболее распространенных К-содержащих минералов, обуславливающих повышенную радиоактивность горных пород, можно назвать сильвин ÊCl, карналлит, микроклин и ортоклаз. В глинистых минералах

значительная часть Ê находится в сорбированной форме и прочно связана с ними. Наиболее сильно Ê адсорбируется гидрослюдами.

1.5.4. Естественно-радиоактивные элементы в природе

Естественная радиоактивность горных пород обуславливается присутствием в их составе K, U и Th. Присутствие радиоактивных элементов в том или ином количестве характерно для всех горных пород – изверженных, метаморфических и осадочных, а также для современных почв и донных осадков различных водоемов.

Радиоактивность изверженных пород. В результате изучения радиоактивности изверженных пород были установлены закономерности.

Массовые доли U и Th, а соответственно и продуктов их распада, значительно выше в кислых породах, чем в основных; радиоактивность изверженных пород растет в направлении от ультрабазитов к кислым.

Радиоактивные элементы в магматических породах концентрируются в основном в цветных и акцессорных минералах: монаците, цирконе, сфене, рутиле, биотите и др. В наиболее общем случае в минералах пород гранитного ряда радиоактивность, связанная с U и Th, растет в направлении кварц $\rightarrow$ полевые шпаты $\rightarrow$ слюды $\rightarrow$ магнезиально-железистые минералы $\rightarrow$ акцессорные минералы. Особенности концентрации радиоактивных элементов обуславливают неодинаковую радиоактивность пород даже одного и того же интрузивного массива; для гранитов она обычно выше в зонах концентрации акцессорных минералов, в сравнении с участками, сложенными кварцем и полевыми шпатами альбитового ряда.

Радиоактивность метаморфических пород. Зависит, во-первых, от радиоактивности исходных пород, а во-вторых, от характера метаморфизма: происходил ли он с привносом материала, включая радиоактивные элементы, или этого привноса не было. Кроме того, при метаморфизме осадочных толщ может происходить минеральная перегруппировка внутри образований с обеднением или обогащением их ЕРЭ в отдельных участках толщи. Считается, что в результате перегруппировки U внутри пород, подвергшихся изменению, могут образовываться так называемого метаморфогенные месторождения урана. Из сказанного можно сделать выводы:

Радиоактивность метаморфических пород весьма различна не только для разных пород, но и для одной и той же толщи.

Радиоактивность гнейсов и сланцев, образовавшихся из глинистых отложений, в целом оказывается выше, чем радиоактивность мраморов и кварцитов, образовавшихся из осадков с пониженной радиоактивностью.

Радиоактивность пород растет при гидротермальном метаморфизме.

Радиоактивность осадочных пород. Среди осадочных пород наибольшей радиоактивностью отличаются калийные соли, глины и, особенно, горючие сланцы. Наименьшей радиоактивностью обладают известняки, доломиты, гипс, ангидрит, галит. Радиоактивность песчаников увеличивается с ростом содержания глинистого материала, слюд и акцессорных минералов. Резко аномальные содержания радиоактивных элементов нередко фиксируются в природных средах с развитием органических остатков.

В некоторых разностях углей, фосфоритов, песчаников и известняков содержание ЕРЭ может достигать промышленных значений. Нередко в осадочных породах повышенные концентрации U обусловлены гипергенными процессами выщелачивания и его переотложением в более благоприятных участках осадочных толщ. Замечено, что морские отложения содержат более высокие концентрации ЕРЭ, чем осадочные породы речного и озерного происхождения. Накопление ЕРЭ элементов в осадочных породах связано также с адсорбцией их тонкокластическим (глинистым) материалом из водоемов, где шло осадконакопление. Более подробные сведения о радиоактивности природных сред приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Содержания ЕРЭ и интенсивность γ-излучения природных сред

Породы, объекты	Содержание элементов				γ-поле	Парциальные доли ЕРЭ в $I\gamma$ (%)			Отношения ЕРЭ		
	Ra, мкг/т	U, г/т	Th, г/т	K, %	$I\gamma$, мкР/ч	Uγ	Thγ	Kγ	Th/U	U/K	Th/K
Земная кора (ЗК)	0,8 0,6-1,3	2,3 1,8-4,4	8,0 5-13	2,4 2,3-2,6	8,4 5-8	26 22-32	46 40-48	28 24-34	3,5 2,5-4,5	1,0 0,8-1,5	3,5 2,0-5
Гранитный слой ЗК	1,2 0,8-1,7	3,6 2,4-5,0	15,5 12-18	3,6 2,5-3,6	12,5 10-15	24 23-31	52 48-54	24 19-26	4,0 3,0-5	1,0 0,8-2,0	4,0 3,5-6
Базальтовый слой ЗК	0,3 0,2-0,5	1,0 0,6-1,5	3,3 1,8-3,8	1,0 0,7-1,2	3,5 2,0-5,0	28 22-32	44 40-48	28 24-34	3,5 3,0-4	1,0 0,8-1,5	3,5 2,0-4
Щелочные породы	1,6 0,1-30	4,7 0,3-89	18,5 5-80	4,9 3-12,5	18,0 9-130	25 20-35	49 40-55	26 23-32	4,0 1,0-8	1,0 0,9-3,0	4,0 1,5-9
Кислые породы	1,2 0,2-17	3,5 0,6-35	15,5 3-96	3,6 1,6-9,0	15,0 8-95	24 20-35	52 45-55	24 20-30	4,0 1,5-15	1,0 0,8-2,0	4,5 3-8
Средние породы	0,7 0,1-1,9	2,0 0,3-5,6	8,3 2-34	2,2 0,8-6,8	8,0 2-23	24 20-30	49 45-55	27 22-30	4,0 1,5-7	1,0 0,8-1,5	4,0 2-6
Основные породы	0,3 0-0,9	0,9 0,1-2,7	3,5 0,5-15	1,0 0,3-1,8	3,5 0,5-10	25 20-30	47 40-50	28 24-34	4,0 1,5-6	1,0 0,8-15	3,5 2,5-5
Ультра-базиты	0,01 0-0,02	0,03 0-0,06	0,1 0-0,3	0,03 0-0,2	0,1 0-2,0	27 22-32	46 40-48	27 24-34	3,5 1,0-4	1,0 0,8-1,5	3,0 2-4

Известняки	0,4 0,3-4,5	1,2 0,9-12	2,5 0,7-8	0,4 0,1-1,2	2,5 1,5-13	43 35-50	43 35-50	14 10-20	2,0 0,5-5	3,0 1,5-4	6,0 4-8
Сланцы	1,0 0,1-5,0	2,9 0,3-90	10,0 8-17	2,7 0,7-3,2	10,0 5-25	27 22-40	47 40-50	26 20-35	3,5 1,0-5	1,0 0,8-1,5	3,5 2-7
Глины	1,3 0,2-26	3,5 0,8-78	7,0 5-16	2,3 0,6-2,9	9,0 4-25	38 33-60	36 30-40	26 8-30	2,0 0,5-4	2,0 1,0-8	3,0 2-5
Песчаники	0,7 0,1-2,7	2,1 0,3-8	9,0 6-30	2,1 1,1-3,0	7,5 4,5-18	24 20-30	52 45-60	24 20-30	4,5 1,5-7	1,0 0,8-1,5	4,0 2-10
Почвы	0,8 0,2-2,5	2,1 0,3-4,5	6,0 2,5-15	1,4 0,3-3,6	6,0 1,8-15	32 25-55	46 30-50	22 10-25	3,0 1,0-4,5	1,5 1,0-6	4,0 2-6
Морские илы	2,0 0,3-15	3,2 1,0-20	4,6 1,6-8,8	1,2 0,5-2,5	6,5 3-30	48 40-65	34 25-35	18 10-25	1,5 0-3	2,7 1,5-10	4,0 3-5
Морская вода	10^{-4}	0,003	0,001	0,04	0	7	2	91	0,3	0,07	0,02

Примечания: 1. В числителе приведено среднее значение, в знаменателе - возможные отклонения; 2. Модули U/K и Th/K указаны в (г/т)/%.

Основная часть U и Th присутствует в горных породах, растениях и живых организмах в рассеянном состоянии. В благоприятных условиях эти элементы создают рудные скопления с коэффициентом концентрации от двух до четырех порядков (10^2-10^4). В первичных и вторичных ореолах урановых месторождений этот коэффициент снижается до 5-50 единиц.

Высокая геохимическая активность U является причиной большого разнообразия его природных образований, встречающихся в форме 4-валентных U^{4+} и неустойчивых 6-валентных U^{6+} соединений. Эти особенности обеспечивают возможность промышленных скоплений U в самых разнообразных геологических условиях. Месторождения U имеют разное происхождение и встречаются в кристаллическом основании фундамента, осадочном чехле древних и молодых платформ, и особенно широко – в областях послеплатформенного орогенеза. Они отличаются по вещественному и минеральному составам руд и не обнаруживают выраженной тенденции к устойчивой ассоциации с определенными типами месторождений других типов полезных ископаемых.

Все известные наиболее значительные концентрации U связаны с эндогенными и экзогенными процессами, протекающими в орогенных условиях формирования или распада коры континентального типа. В областях с корой океанического типа крупные месторождения U не обнаружены.

В 1986 г. академиком Н. П. Лаверовым была предложена генетическая систематика месторождений U, учитывающая новые данные и сохраняющая

привычные для специалистов основные подразделения. Среди них выделены четыре основные серии: эндогенная, экзогенная, метаморфогенная и полигенная. При этом схема систематики эндогенных месторождений насчитывает три типа: А – эндогенные месторождения, связанные с щелочно-ультраосновным метаморфизмом, Б – связанные со щелочным магматизмом и В – связанные с гранитоидным метаморфизмом.

Месторождения экзогенной серии разделяются на две группы: седиметационного-диагенетические и инфильтрационные (эпигенетические), образованные поверхностными и подземными водами. В первую группу входят осадочные месторождения, образованные в речных, озерно-болотных и морских условиях. Вторая группа подразделяется на три класса месторождений, образованных грунтовыми, пластовыми и трещинными подземными водами. Внутри выделяются типы экзогенных месторождений, отличающихся минеральным и вещественным составом руд, условиями их формирования и морфологией рудных тел.

Месторождения метаморфогенной серии подразделяются на две группы – метаморфизованные и ультраметаморфизованные. Группы включают несколько классов, которые в свою очередь состоят из конкретных типов месторождений.

Месторождения полигенной серии в качестве самостоятельных выделяются Лаверовым впервые. Они включают 2 группы, 3 класса и 6 типов месторождений, например полиметаллические урановые (Ni, Co, Cu, Ag).

1.6. Метрология радиационных измерений

1.6.1. Измеряемые величины и единицы измерений [48]

Физические величины, прямо или косвенно определяемые при радиационных измерениях, приведены в табл. 1.4. Это – масса и массовая доля радиоактивных веществ, активность, плотность потока ионизирующих излучений и дозовые характеристики γ-поля. Для удобства работы с литературой наряду с единицами системы СИ в табл. 1.4. приведены ранее применявшиеся единицы и их соотношения с единицами СИ.

В соответствии со стандартом СЭВ 1052-78 массу радиоактивных веществ выражают в килограммах и производных от них единицах (миллиграммах, граммах, тоннах и т. п.).

Содержание радиоактивных веществ (ГОСТ 8.505, прил. 4) – обобщающее наименование физических величин: массовой и объемной доли, массовой концентрации, которые количественно характеризуют состав горных

пород и руд. Единицами их измерений являются массовые и объемные проценты, кг/кг, кг/м^3 и др.

Единицей *активности*, характеризующей число ядерных превращений в источнике в секунду, является *беккерель* (Бк). Один беккерель соответствует активности источника, в котором происходит одно ядерное превращение в секунду. Переход от активности a (Бк) радионуклида с постоянной распада λ (с$^{-1}$) к массе M (г) осуществляется по формуле

$$a = \lambda \frac{N_A}{A} M , \qquad (1.54)$$

где N_A – число Авогадро; A – массовое число радионуклида.

Таблица 1.4

Единицы измерения радиоактивных веществ и ядерных излучений

Физическая величина	Единицы измерения		Соотношение единиц
	система СИ	внесистемные ед.	
Масса	кг	мг-экв Ra	1 мг-экв Ra = 10^{-6} кг Ra (по γ-излучению)
Активность	беккерель (Бк)	кюри (Ки)	1 Ки = $3{,}7\cdot10^{10}$ Бк 1 Бк = $2{,}7\cdot10^{-10}$ Ки
Массовая доля	кг/кг, % мас.	г/г, % мас.	1 % мас. = 0,01 кг/кг 1 кг/кг = 100 % мас.
Объемная доля	м^3/м^3, % об.	См^3/см^3, % об.	1 % об. = 0,01 м^3/м^3 1 м^3/м^3 = 100 % об.
Удельная активность	Бк/кг	Ки/г, Ки/кг	1 Ки/г = $3{,}7\cdot10^{13}$ Бк/кг 1 Бк/кг = $2{,}7\cdot10^{-14}$ Ки/г
Объемная активность	Бк/м^3	Ки/л, эман	1 Ки/л = $3{,}7\cdot10^{13}$ Бк/м^3 1 эман = 10^{-10} Ки/л 1 Бк/л = 0,27 эман
Плотность потока ядерных частиц	с$^{-1}\cdot$м$^{-2}$	с$^{-1}\cdot$см$^{-2}$	1 с$^{-1}\cdot$см$^{-2}$ = 10^4 с$^{-1}\cdot$м$^{-2}$ 1 с$^{-1}\cdot$м$^{-2}$ = 10^{-4} с$^{-1}\cdot$см$^{-2}$
Энергия	джоуль (Дж)	эВ	1 эВ = $1{,}602\cdot10^{-19}$ Дж 1 Дж = $6{,}24\cdot10^{18}$ эВ
Плотность потока энергии	Вт/м^2	эВ/(см$^2\cdot$с)	1 эВ/(см$^2\cdot$с) = $1{,}602\cdot10^{-15}$ Вт/м^2 1 Вт/м^2 = $6{,}24\cdot10^{14}$ эВ/(см$^2\cdot$с)
Экспозиционная доза излучения	Кл/кг	рентген (Р)	1 Р = $2{,}58\cdot10^{-4}$ Кл/кг 1 Кл/кг = $3{,}88\cdot10^3$ Р
Мощность экспозиционной дозы излучения	А/кг	Р/с, мкР/ч	1 Р/с = $2{,}58\cdot10^{-4}$ А/кг 1 мкР/ч = 0,0717 пА/кг

			1 пА/кг ≅ 14 мкР/ч
Поглощенная доза излучения	грей (Гр)	рад	1 рад = 0,01 Гр 1 Гр = 100 рад
Мощность поглощенной дозы излучения	Гр/с	рад/с	1 рад/с = 0,01 Гр/с 1 Гр/с = 100 рад/с
Эквивалентная поглощенная доза излучения	зиверт (Зв)	бэр	1 бэр = 0,01 Зв 1 Зв = 100 бэр

Ранее активность выражали в *кюри* (Ки), понимая под этим число ядерных превращений в секунду в 1 г Ra без его продуктов распада. В соответствии с (1,54) при M_{Ra} = 1 г активность Ra составит $3{,}7\cdot10^{10}$ Бк.

Различают *массовую* (или удельную) и *объемную* активность. В первом случае это активность вещества единичной массы (Бк/кг), во втором - вещества единичного объема (Бк/м^3). Обычно в радиометрии объемная активность выражается в Бк/л при оценке концентраций эманаций. Ранее применяли единицу измерения удельной активности – кюри на литр (Ки/л) и производную от нее – *эман*: 1 эман = 10^{-10} Ки/л.

Плотность потока частиц и квантов имеет размерность с$^{-1}$·м$^{-2}$, плотность потока энергии – Вт/м^2. Из-за сложности измерения потока энергии для количественной характеристики рентгеновского и γ-излучения на практике используют дозовые параметры. Под *дозой* понимается энергия излучения, предназначенная для передачи или переданная среде и рассчитанная на единицу массы или объема этой среды. Доза, определяемая по степени ионизации воздуха в условиях электронного равновесия, называется *экспозиционной* дозой *D*; доза, определяемая поглощенной энергией в любом другом веществе, – поглощенная доза *X*. Доза, отнесенная к единице времени, – *мощность* дозы.

Единица экспозиционной дозы – кулон на килограмм (Кл/кг). Это экспозиционная доза рентгеновского или γ-излучения, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия в одном килограмме сухого атмосферного воздуха за время *t* образует ионы, несущие заряд каждого знака, соответствующий 1 Кл. Единица *мощности экспозиционной дозы (МЭД)* – кулон на килограмм в секунду [Кл /(кг·с)] или ампер на килограмм (А /кг).

Мощность экспозиционной дозы I_D (А /кг) от полиэнергетического источника с квантовым выходом K_i и плотностью потока *i*-й линии спектра n_i (с$^{-1}$·м$^{-2}$)

$$I_D = \frac{D}{t} = \sum_{i=1}^{K} \frac{E_i n_i}{F}, \qquad (1.55)$$

где E_i - энергия i-й линии в спектре γ-излучения (эВ);

F - энергетический эквивалент (Кл /кг), равный $2{,}75 \cdot 10^{14}$ эВ.

1.6.2. Эталоны и образцовые меры [48]

В радиометрической разведке используют стандартные образцы состава ЕРЭ и их активности, а также образцовые источники плотности потока заряженных частиц и мощности дозы γ-излучения.

Стандартные образцы состава, аттестованные по массовой доле K, U и Th, изготовляют в виде порошковых препаратов для целей радиометрического анализа, а также в виде насыщенных и ненасыщенных по γ-лучам рудных моделей, используемых для градуирования γ-спектрометров.

Стандартные образцы активности Rn представляют собою водные растворы $RaCl_2$, аттестованные по массе Ra с погрешностью 1-3 % отн. Обычно это жидкие радиевые эталоны типа ЕВ-8, ЕВ-9, ЕВ-10 с массой Ra, соответственно $(100,10,1) \times 10^{-10}$ г, а также другие источники этого типа с массой Ra до $5 \cdot 10^{-6}$ г (ЕВ-65). В герметичном сосуде (после предварительного продувания), содержащем водный раствор Ra с массой M_{Ra} (г), за время t образуется Rn активностью в Бк:

$$a_{\mathrm{Rn}} = 3{,}7 \cdot 10^{10} M_{\mathrm{Ra}} \left[1 - \exp\left(-\lambda_{\mathrm{Rn}} t\right)\right], \qquad (1.56)$$

или в кюри (Ки):

$$a_{\mathrm{Rn}} = M_{\mathrm{Ra}} \left[1 - \exp\left(-\lambda_{\mathrm{Rn}} t\right)\right]. \qquad (1.57)$$

В качестве образцовых источников плотности потока α-частиц используют радиоизотопы Pu^{239}, Pu^{234}, U^{238}; β-частиц – Sr^{90} в равновесии с Y^{90}; нейтронного излучения – Pu+Be, Cf^{252} и др.

Стандартные образцы мощности дозы γ-излучения изготовляют из смеси солей $RaS\hat{I}_4$ и $BaS\hat{I}_4$ в виде ампульных источников в Pt-Ir-экране толщиной 0,5 мм или в другом кожухе, с толщиной стенок, эквивалентной по поглощающим свойствам 0,5 мм Pt. Обычно это источники типа ЕР, аттестованные по массе Ra (мг) с погрешностью 0,5-2,0 % отн. Из них наиболее удобны для использования источники $P_{1\text{-}2}$, C_{41} с массой Ra соответственно 1,0 и 0,1 мг, также ЕР-1 и ЕР-14.

Расчетная мощность дозы (пА/кг) γ-излучения источника массой M_{Ra} (мг) на расстоянии R (м) описывается соотношением

$$I_D(R) = 60{,}2\frac{M_{\text{Ra}}}{R^2}. \qquad (1.58)$$

Мощность дозы в микрорентгенах в час (мкР/ч):

$$I_D(R) = 840\frac{M_{\text{Ra}}}{R^2}. \qquad (1.59)$$

Сопоставляя между собою (1.58) и (1.59), видно, что 1 пА/кг ≅14 мкР/ч.

1.6.3. Средства измерения и их метрология

В качестве средств измерения в радиометрической разведке используют радиометры, эманометры, γ-спектрометры разного назначения (табл. 1.5). Измерения этими приборами физических величин относятся к разделу косвенных. Для перехода к их действительным значениям выполняют градуирование аппаратуры с помощью эталонов и образцовых мер.

При измерениях часто говорят о *пороге чувствительности*, под которым принято понимать наименьшее значение измеряемой величины, которое может быть обнаружено прибором в превышении над флуктуацией фонового излучения с заданной доверительной вероятностью.

Значение порога чувствительности L оценивают по формуле

$$L = k\sigma_{\text{ф}}, \qquad (1.60)$$

где $\sigma_{\text{ф}}$ - среднеквадратическое отклонение измеряемых значений фона;

k - коэффициент, соответствующий значению доверительной вероятности (обычно $k = 3$).

1.6.4. Погрешности измерений

Разность Δ между результатом измерения x и истинным значением x_0 измеряемой величины называется *погрешностью измерений*:

$\Delta = x - x_0$.

По своей структуре погрешности измерений подразделяются на систематические, случайные, грубые, аппаратурные, методические, абсолютные и относительные.

Систематическая погрешность представляет собою составляющую погрешности Δ, остающуюся постоянной или закономерно изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная погрешность – это составляющая погрешности Δ, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях.

Грубая погрешность – отклонение измеряемой величины от истинной вследствие грубого нарушения методики измерений оператором или следствие неисправности аппаратуры.

Таблица 1.5

Радиометрическая аппаратура и ее характеристики

Прибор	Область применения	М, кг	Питание	Детектор	Регистратор	Порог чувст-вительности	Верхний предел регистрации
СРП-68-01, радиометр	Пешеходная γ-съемка	3,6	А-343 (9 шт.)	NaI(Tl) 30×25 ФЭУ-85	Стрелочный, телефон	0,07 при фоне 0,35 пА/кг	215 пА/кг
СРП-88Н, радиометр	Пешеходная γ-съемка	2,2	А-343 (4 шт.)	NaI(Tl) 25×40 ФЭУ-85	Цифровой индикатор	0,1 пА/кг	600 пА/кг
СРП-88Н1, радиометр	Шпуровая γ-съемка	4,1	А-343 (4 шт.)	NaI(Tl) 10×40 ФЭУ-60	Цифровой индикатор	0,2 пА/кг	600 пА/кг
СП-4, переносной γ-спектрометр	Пешеходная γ-съемка	6,8	Рубин (5 шт.)	NaI(Tl) 80×80 ФЭУ-110	Стрелочный, цифровой	U, Th – 1 г/т; K – 0,2 %	U, Th – 0,03 %; K – 25 %
РКП-305, «Карат», концентрометр	Пешеходная и шпуровая γ-съемка	9,2	А-343 (9 шт.)	NaI(Tl) 80×80 ФЭУ-110	Цифровая индикация U, Th, K	U, Th – 0,4 г/т; K – 0,1 %	U, Th – 0,05 %; K – 50 %
СКАТ-77, комплексная аэрогеофизическая станция	γ-спектрометр, магнитная, электрическая аэросъемка	430	Бортовая сеть 27 В	NaI(Tl) 200×100 (2-12 шт.) ФЭУ-110	Аналоговый, цифровой магнитный (РУМС-2000)	U – 0,2 г/т; Th – 0,5 г/т; K – 0,05 %	U – 0,025 %; Th – 0,1 %; K – 32 %
РСС-006, скважинный γ-спектрометр	γ-спектрометр. каротаж	20	11-16 В; 5 Вт	CsI(Tl) 25×80 ФЭУ-67Б	Цифро-аналоговый	U, Th – 5 г/т; K – 1 %	U, Th – 3 %; K – 50 %
«Гамма-01С», лабораторный γ-спектрометрический комплекс	Измерения и обработка спектров γ-излучения	20, 320 Pb	Сеть ~220 В	NaI(Tl) 75×40, энергетич. разрешение – 8 % (662 кэВ)	Встроенный в ПЭВМ АЦП с ПГ обеспечением	0,03 пА/кг	2000 пА/кг
РГА-01, «Глициния», α-радиометр, эманометр	Эманационная съемка	9	Марс-373 (6 шт.)	ZnS(Ag), пластмасса	Цифровое табло	0,3 Бк/л	10^5 Бк/л

Абсолютная погрешность – это погрешность измерений Δ, выраженная в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность δ – это абсолютная погрешность в нормировке к истинному значению измеряемой величины, выраженная в %:

$$\delta = \frac{x - x_0}{x_0} 100\,\%.$$

Основным параметром, характеризующим рассеяние измеряемой величины, является среднеквадратическое отклонение результата измерений:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - x_0\right)^2}. \qquad (1.61)$$

Поскольку в эксперименте вместо истинного (заранее неизвестного) значения x_0 используют среднее арифметическое из n измерений:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \qquad (1.62)$$

то параметр рассеяния многократно измеряемой величины

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}, \qquad (1.63)$$

а параметр рассеяния среднего арифметического значения

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}. \qquad (1.64)$$

В метрологии, кроме того, существуют понятия точности, правильности, сходимости и воспроизводимости измерений (ГОСТ 16263-70).

Точность отражает близость результатов измерений к истинному значению измеряемой величины.

Правильность – качество измерений, отражающее близость к нулю систематической погрешности.

Сходимость – близость друг к другу результатов повторных измерений в одинаковых условиях.

Воспроизводимость – близость друг к другу результатов измерений в различных условиях (в разное время, в различных местах, разными методами и средствами).

1.6.5. Корреляционный анализ в радиометрии

В практике геологоразведочных работ нередко приходится иметь дело со статистическими связями между сопоставляемыми величинами, когда каждому

значению некоторой величины x соответствует статистический ряд значений y, и наоборот. Типичным примером статистической связи может служить зависимость между содержанием радиоактивных и нерадиоактивных элементов в некоторых рудах. Выявление и изучение таких связей выполняется с помощью корреляционного анализа.

В зависимости от типа связи различают *линейную* корреляционную связь, когда зависимость между связанными друг с другом величинами выражается линейным уравнением вида

$$y = ax + b, \tag{1.65}$$

и нелинейные статистические связи, когда зависимость между переменными выражается уравнением степени выше первой. Уравнение (1.65) носит название уравнения линейной регрессии y на x.

Допустим, что в результате измерений получен набор точек, через которые требуется провести прямую линию и записать (1.65) с учетом численных значений коэффициентов a и b. Прямую обычно пытаются провести таким образом, чтобы точки на плоскости распределялись по возможности одинаково по обе стороны от проведенной прямой. Для этого необходимо подобрать коэффициенты a и b (и следовательно, построить прямую) с наименьшим среднеквадратичным отклонением от экспериментальных точек, что и осуществляется в *методе наименьших квадратов*.

Построение прямой линейной регрессии разбивается на этапы:

1. Составление перечня (таблицы) всех экспериментальных точек.

2. Вычисление величин Σx, Σy, Σx^2, Σy^2, $\Sigma(xy)$.

3. Вычисление коэффициентов a и b по формулам:

$$a = \frac{\sum(xy) - \frac{1}{n}\sum x \sum y}{\sum x^2 - \frac{1}{n}\left(\sum x\right)^2} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}, \tag{1.66}$$

$$b = \frac{\sum y}{n} - a\frac{\sum x}{n} = \bar{y} - a\bar{x}, \tag{1.67}$$

где символ верхней черты означает среднее значение.

4. Вычисление коэффициента корреляции выполняется по формуле:

$$r = \left\{ \frac{\left[\sum(xy) - \frac{1}{n}\sum x \sum y\right]^2}{\left[\sum x^2 - \frac{1}{n}\left(\sum x\right)^2\right]\left[\sum y^2 - \frac{1}{n}\left(\sum y\right)^2\right]} \right\}^{1/2}. \tag{1.68}$$

В табл. 1.6 показан пример обработки результатов наблюдений, вычисления a, b и коэффициента корреляции r по пяти точкам.

Таблица 1.6

Результаты статистической обработки результатов наблюдений

i	x	y	x^2	y^2	xy
1	5,0	13,7	25,0	187,7	68,5
2	7,2	18,8	51,8	353,4	135,4
3	11,3	26,4	127,7	697,0	298,3
4	23,8	53,1	566,4	2819,6	1263,8
5	45,4	98,2	2061,2	9643,2	4458,3
$n = 5$	$\Sigma x = 92{,}7$	$\Sigma y = 210{,}2$	$\Sigma x^2 = 2832{,}1$	$\Sigma x^2 = 13700{,}9$	$\Sigma(xy) = 6224{,}3$

Подставив полученные значения в формулы (1.66) - (1.68), получим параметры уравнения регрессии для нашего примера: $y = 2{,}1x + 3{,}1$ при коэффициенте корреляции $r \cong 1$, что указывает на тесную линейную связь между переменными y и x.

Экспоненциальная функция – пример нелинейного вида связи переменных y и x, которую тем не менее можно *линеаризировать*, т. е. после специальных математических преобразований представить в виде линейного уравнения. Вычислим коэффициенты регрессии для уравнения

$$y = be^{ax}. \tag{1.69}$$

Логарифмируя (1.69), имеем: $\ln y = ax + \ln b$; тогда:

$$a = \frac{\sum(x \ln y) - \frac{1}{n}\sum x \sum \ln y}{\sum x^2 - \frac{1}{n}\left(\sum x\right)^2}, \tag{1.70}$$

$$b = \exp\left[\frac{\sum \ln y}{n} - a\frac{\sum x}{n}\right]. \tag{1.71}$$

1.6.6. Статистический способ получения уравнения линейной регрессии

Выше был рассмотрен случай установления функциональной зависимости между линейно-связанными величинами y и x на основе так называемого *совместных* измерений. На практике нередко приходится иметь дело с результатами *несовместных* измерений, когда сопоставляемые величины

регистрируются автономно. В этом случае оказывается невозможным получить координатную $x_1, y_1; \ldots x_n, y_n$ функцию и ее графическое представление.

Для установления аналитической зависимости в случае несовместных измерений возможно применение способа, основанного на использовании главных параметров (кривых) распределения сопоставляемых величин x и y – средних значений $\bar{x}$, $\bar{y}$ (или модальных для кривых) и стандартных отклонений σ_x, σ_y. Сущность этого способа заключается в следующем [14].

Допустим, что между сопоставляемыми величинами x и y существует линейная зависимость (1.65). Если при этом известны средние значения $\bar{x}$, $\bar{y}$ и стандартные отклонения σ_x, σ_y, то оказывается, что коэффициенты a и b в (1.65) могут быть найдены следующим образом.

Из теории вероятности и математической статистики известны свойства математического ожидания M (среднего значения) и дисперсии D:

$\bar{y} = \mathrm{M}(ax+b) = a\mathrm{M}(x)+b = a\bar{x}+b$;

$\mathrm{D}(y) = \mathrm{D}(ax+b) = a^2\mathrm{D}(x)$, откуда:

$$a^2 = \mathrm{D}(y)/\mathrm{D}(x). \qquad (1.72)$$

Учитывая, что $\sigma = \pm\sqrt{D}$, имеем:

$$\begin{cases} \bar{y} = a\bar{x} + b \\ a = \sigma_y / \sigma_x \end{cases} \qquad (1.73)$$

Из (1.73) можно найти коэффициент b:

$$b = \bar{y} - \bar{x}\sigma_y / \sigma_x . \qquad (1.74)$$

Подставляя выражения для коэффициентов a и b в (1.65), получим следующую формулу для линейной функции $y(x)$ применительно к случаю несовместных измерений:

$$y_i = \left(x_i - \bar{x} + \bar{y}\frac{\sigma_x}{\sigma_y} \right)\frac{\sigma_y}{\sigma_x}. \qquad (1.75)$$

Расчет величин $\bar{x}$, $\bar{y}$, σ_x, σ_y выполняется на основе рядовых измерений сопоставляемых величин по формулам (1.62) и (1.63).

Обозначим через Δy и Δx разности $y_i - \bar{y}$ и $x_i - \bar{x}$ соответственно. Тогда, имея в виду (1.75), получим следующее выражение, которое можно использовать для оценки чувствительности метода в случае несовместных измерений:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}. \qquad (1.76)$$

Следует подчеркнуть, что в случае несовместных измерений оказывается принципиально невозможным нахождение коэффициента корреляции между

величинами y и x. Также имеется неоднозначность в выборе знака для коэффициента a (вследствие $\sigma = \pm\sqrt{D}$). Следовательно, этот метод не позволяет получить информацию о *тесноте* связи y и x и может давать неоднозначные предсказания значений одной величины по другой. Данный способ нахождения коэффициентов регрессии (1.65) можно рекомендовать лишь в том случае, когда априорно (заранее) известно:

- между x и y связь *существует*;
- связь *линейная*;
- можно установить *вид связи* – прямая или обратная пропорциональность ($a > 0$ или $a < 0$ соответственно).

Как правило, для выполнения этих двух условий необходимо и достаточно провести несколько совместных измерений (наблюдений) величин x_i и y_i. Количество измерений выбирают из соображений статистической значимости получаемых результатов. Например, для ответа на вопрос о существовании тесной линейной связи ($r > 0{,}9$) достаточно выполнить 5-7 измерений, а установление наличия слабой нелинейной связи потребует, как минимум, 30-40 измерений.

Рассмотренный метод очень удобен для градуирования геофизической аппаратуры (особенно нескольких приборов и в разное время), когда между аппаратурным параметром и измеряемой величиной существует линейная связь. В этом случае стандартным способом достаточно выполнить градуировку лишь одного прибора, а градуировку остальных выполнить с использованием формул (1.75) – (1.76).

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»



В. М. Сапожников

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

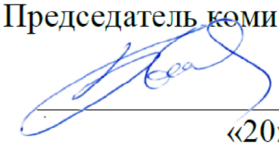
Учебное пособие
по дисциплине «Комплексирование геофизических методов»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации «Геофизические методы поиска и разведки
месторождений полезных ископаемых»

Екатеринбург – 2020

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

В. М. Сапожников

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Учебное пособие
по дисциплине «Комплексирование геофизических методов»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации «Геофизические методы поиска и разведки
месторождений полезных ископаемых»
очной, заочной и дистаионной форм обучения

Екатеринбург
2020

УДК 550.83
С25

Рецензент: *Виноградов А. М.*, д-р. геол.-минер. наук,
ведущий научный сотрудник Института геофизики УрО РАН;
Голиков Ю. В., д-р. геол.-минер. наук,
Уральский государственный горный университет.

Печатается по решению Редакционно – издательского совета
Уральского государственного горного университета

Сапожников В. М.

Комплексирование геофизических методов: учебное пособие / В. М. Сапожников; Уральский гос. горный ун-т.-Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2020. – 76 с.

Учебное пособие представляет несколько сокращенный конспект лекций по дисциплине №Комплексирование геофизических методов» для специальности 21.05.03 Технология геологической разведки специализации «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» (РФ). В учебное пособие вошла та часть курса, которая посвящена поискам твердых полезных ископаемых и наиболее востребована при подготовке дипломных проектов большей частью студентов специальности РФ.

В пособии рассматриваются общие положения методологии планирования и проведения комплексных геофизических исследований преимущественно в рудных провинциях. Особое внимание уделено выявлению тектонических нарушений различного масштаба, которые являются контролирующими, подводящими и распределяющими элементами рудоносных структур. Формирование и результативность комплекса при поисках рудных объектов показана на примере уранового месторождения, поскольку типовые комплексы для решения структурно-картировочных и поисковых задач на различные твердые полезные ископаемые подробно рассмотрены в специальной справочной литературе.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности РФ очного и заочного обучения. Отдельные разделы могут быть полезны студентам других геофизических и геологических специальностей, которым разведочная геофизика дается в сокращенном виде. Пособие может быть полезным аспирантам, магистрам и работникам производственных организаций, применяющих геофизические методы.

Автор выражает благодарность инженеру кафедры геофизики Г. А. Косаревой, взявшей на себя труд по оформлению рисунков и окончательной компоновки пособия.

Рис. 23 Библ. 13 наим.

© Уральский государственный
горный университет, 2020

Введение

Курс «Комплексирование геофизических методов» завершает подготовку студентов-геофизиков к профессиональной деятельности. В курсе на основе знаний по отдельным геофизическим методам с их достоинствами и ограничениями дается представление о решении типовых геологоразведочных задач путем комплексирования нескольких методов с целью получения совокупности данных существенно расширяющих возможности геофизических исследований недр.

С необходимостью применить знания по комплексированию геофизических методов студенты сталкиваются еще на стадии обучения в вузе в период дипломного проектирования и это умение оценивается государственной аттестационной комиссией по итогам защиты учебного проекта по решению картировочной или поисково-разведочной задачи. Выпускник кафедры геофизики должен показать умение сформировать и обосновать рациональный комплекс методов в конкретной геологической среде.

Представленный курс лекций в основном ориентирован на изложение методик выявления и изучения месторождений твердых полезных ископаемых. Именно эти объекты являются главными для специальности РФ. Что касается комплексирования геофизических методов при поисках месторождений нефти и газа, то по этой теме издан конспект лекций доцента вуза Г. Г. Кассина.

Методология комплексирования геофизических методов сформировалась к началу 80-х годов прошлого столетия, когда появились специальные монографии, учебники и справочники, обобщающие теоретические положения и опыт комплексирования. В числе специалистов, внесших существенный вклад в формирование и пропаганду технологии комплексирования методов разведочной геофизики, следует назвать Г. С. Вахромеева, В. В. Бродового, А. А. Никитина, В. К. Хмелевского.

Впервые курс по комплексированию геофизикам в нашем вузе начал читать профессор Н. А. Иванов. Несколько лет этот курс читал доцент, а затем профессор А. Я. Ярош. Проблеме комплексирования геофизических методов главным образом при поисках руд посвятили свои докторские диссертации Г. П. Саковцев, ставший впоследствии ректором нашего вуза, и выпускник кафедры геофизики Г. С. Вахромеев. Последним на эту тему опубликована монография. К настоя-

щему времени по курсу комплексирования издано несколько вариантов учебников и справочников. Основные из них приведены в списке использованной литературы.

В настоящем конспекте помимо классических положений, отраженных в известных источниках, автор приводит некоторые свои разработки и сведения, которые могут оказаться полезными в процессе выбора и обоснования комплекса геофизических методов.

1. ПРЕДПОСЫЛКИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

При изучении теории и практики применения отдельных геофизических методов, которым посвящены специальные учебные курсы разведочной геофизики, обучающиеся знакомятся не только с достоинствами методов, но и их ограничениями при исследовании многообразных и сложных геологических сред. Практически всегда перед геофизическими методами ставится задача по изучению одиночных или комплекса объектов в некоторой вмещающей среде. И в общем случае ограниченные возможности одного метода делают невозможным без дополнительной информации определить природу геологических тел, признаки, существования которых выявляются в процессе измерений. Даже, если наличие определенного объекта установлено, бывает сложно определить требуемые для его оценки характеристики.

Одной из основных причин необходимости применения комплекса геофизических методов является неоднозначность истолкования наблюдаемого поля, следовательно, и неопределенность конечных геологических выводов. В качестве примера обратимся к рис. 1, на котором видно, что близкие по виду положительные локальные аномалии поля силы тяжести (Δg), наблюдаются над разнообразными геологическими объектами относительно повышенной плотности (интрузии, руды). Поэтому по данным гравиметрии можно лишь установить факт увеличения плотности, каких- то горных пород на изучаемом участке, но нельзя определить геологическую причину нарушения однородности среды и объективно охарактеризовать аномалиеобразующий объект.

При решении поисковой задачи нередко возникает проблема классификации аномалий, которые по признакам похожи на те, которые характерны для искомого объекта. Часто среди выявленных аномалий встречаются такие, которые вызваны геологическими телами, не представляющими поискового интереса. Их создают неоднородности, относимые к классу геологических помех. На примере рис. 1 видно, что при поисках залежей руд с повышенной плотностью, аномалии над разрезами *а*, *б* и *г* можно связывать с проявлением геологических помех. В рассмотренном примере для снижения или даже исключения неоднозначности в истолковании зафиксированных ано-

малий существенную помощь могло оказать применение электрического зондирования.

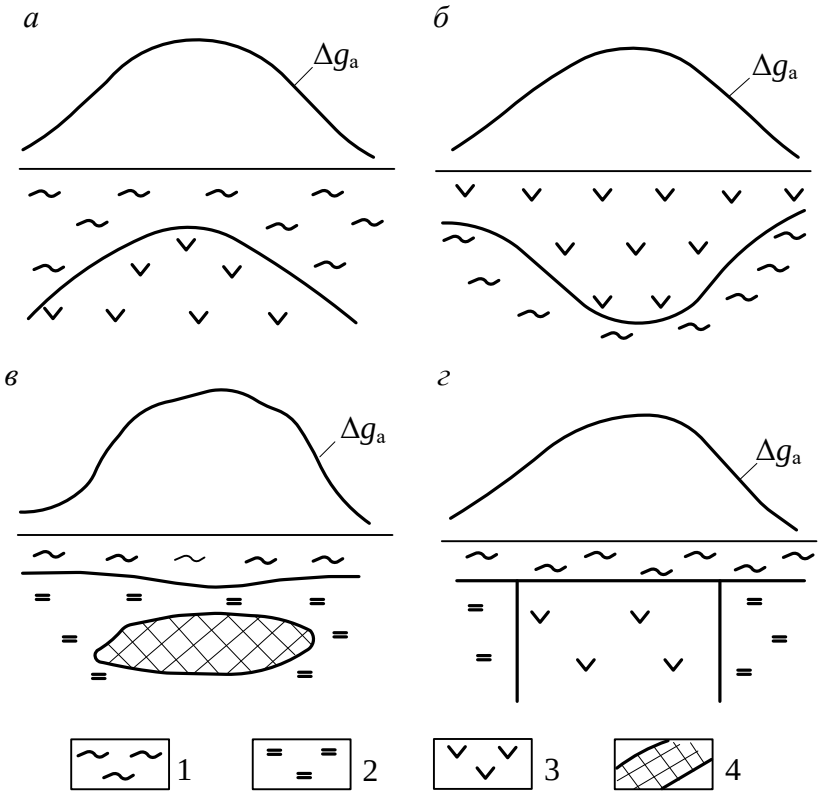


Рис. 1. Пример проявления однотипных аномалий силы тяжести над разнообразными геологическими разрезами: породы: 1 – глинистые; 2 – гидротермально измененные; 3 – магматические; 4 – руды

Перед геофизическими методами, отличающимися высокой производительностью и возможностью дистанционно изучать земные недра, ставятся задачи по определению качественных и количественных характеристик изучаемых объектов. Например, по данным промысловых геофизических исследований скважин необходимо провести литологическое расчленение разреза, выделить пласты-коллекторы, определить их фильтрационно-емкостные свойства, характер насыщения, а для продуктивных пластов – установить коэффициент нефтегазонасыщенности. Такое многообразие требуемых характеристик приводит к необходимости применять солидный комплекс геофизических методов, нередко превышающий десяток наименований.

Во многих случаях из-за влияния факторов, осложняющих условия наблюдения, приходиться применять разнотипные методы определения одной и той же физико-геологической или геометрической характеристики объекта. Например, для определения пористости коллекторов в одной скважине применяют три разнотипных геофизических метода: ГГК-П, НК и АК, которые контролируют результаты друг друга. В крайнем случае, ограничиваются какими-то двумя методами.

Природу аномалиеобразующих объектов иногда можно определить, используя несколько модификаций одного и того же метода, отличающихся глубинностью исследования. В качестве примера можно привести двухразносное электропрофилирование или двухзондовый микрокаротаж.

При проектировании и применении геофизических методов ответственным моментом является их разделение на основные и вспомогательные – детализационные методы. Первыми изучается все намеченное геологическое пространство, а вторые применяются лишь на отельных участках, как наиболее перспективных по данным основных методов.

Таким образом, комплексирование геофизических методов проводится с целями выявить и надежно классифицировать неоднородности геологической среды. Среди общего числа аномалий необходимо выделить те из них, которые обусловлены объектами, представляющими первоочередной интерес. Следует определить качественные и количественные характеристики геологических образований, и, в первую очередь, тел полезных ископаемых, требуемые для оценки их ценности, проектирования дальнейшей разведки и условий добычи.

2. НОРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ. НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

При проведении геофизических работ приходиться оперировать понятиями нормального поля и геофизической аномалии. И хотя способы их определения в различных методах могут существенно различаться, основные принципы в этих способах являются общими. Это связано с тем, что задачей геофизических исследований является выявление и классификация неоднородностей в геологической среде.

Нормальное поле

Это такое физическое поле условно однородной геологической среды, которое существовало бы в случае отсутствия объектов, нарушающих однородность этой среды. Например, за нормальное в гравиразведке принимают поле силы тяжести условно однородного сфероида Земли, поверхность которого совпадает с уровнем океанов. Это поле определяют исходя из координат точки наблюдения по широте и долготе с учетом значения поля на экваторе. Для уточнения в это поле вносят поправку Буге, учитывающую влияние толщины и плотности промежуточного (между точкой наблюдения и уровнем океана) слоя.

В магниторазведке также рассчитаны карты нормального поля Земли, которое на ограниченной площади принимают за постоянное значение. Его определяют в соответствии с географическим положением этой площади на материке или в море. В методе радиоволнового просвечивания (РВП) нормальное электромагнитное поле вычисляют с учетом паспортной для передатчика начальной напряженности, геометрии (взаимного расположения элементов) установки и коэффициента поглощения поля ($\alpha_к$) условно однородной среды (рис. 2).

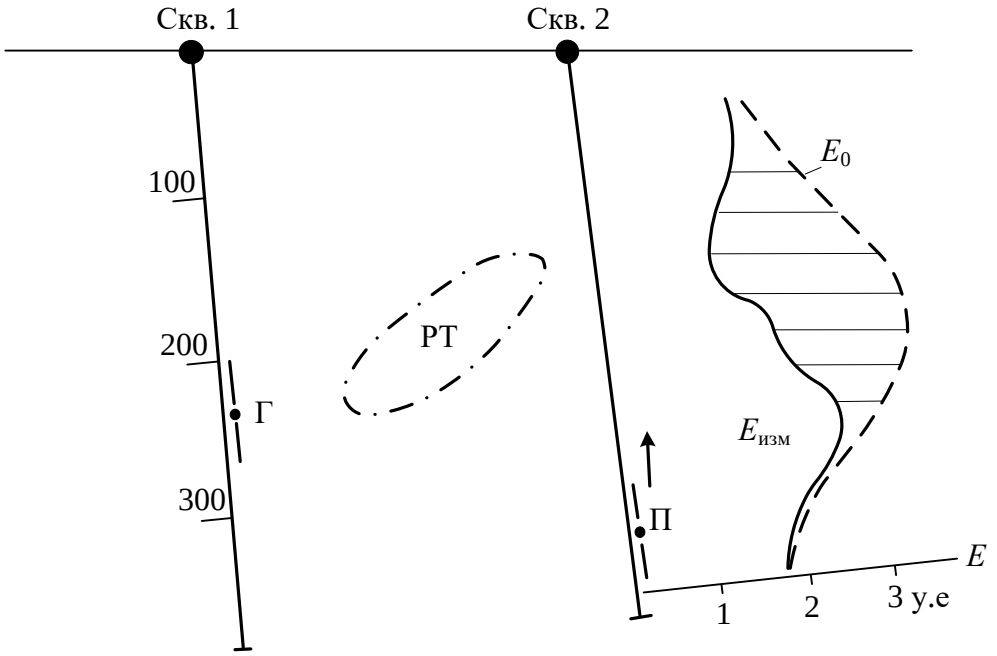


Рис. 2. Пример сопоставления напряженности измеренного ($E_{изм}$) и вычисленного нормального (E_0) поля в методе радиоволнового просвечивания

Г – генераторная антенна; П – приемная антенна; РТ – рудное тело

Похожий подход к определению нормального поля применяют в методе заряда, выражая это поле в виде функции от расстояния точки наблюдения до эпицентра погруженного источника тока. Эту функцию рассчитывают аналитически или определяют стохастическим способом по измеренному полю [13].

В методах, изучающих искусственно возбуждаемые поля, в качестве нормального иногда принимают некоторые обоснованные постоянные значения поля или в виде некоторого диапазона значений с верхним и нижним пределами.

В общем случае нормальным считается поле, обусловленное однородной по конкретному физическому параметру геологической средой. В некоторых случаях условно однородная среда может представлять какую-то структуру, например, горизонтально-слоистое полупространство, измеряемая характеристика поля над которым остается постоянной или изменяется по установленному закону. Принимаемая однородность среды зависит от масштаба исследований. При средне- и крупномасштабных съемках используют понятие о местном нормальном поле, отражающем стохастический подход к его определению.

Стохастический способ определения нормального поля

В методах, изучающих на ограниченной площади естественные физические поля или искусственно возбуждаемые поля при постоянном размере установки (магниторазведка, радиометрия, электропрофилирование и др.), в качестве фона (местного нормального поля) принимают некоторые постоянные значения, характерные для условно однородной геологической среды, которая рассматривается в качестве фонового объекта. Это может быть массив горных пород, горизонтально-слоистая толща или другая структура, характеристики поля для которой по показаниям применяемой установки в идеале должны сохраняться постоянными.

В реальной геологической обстановке в случае наличия такой структуры на результаты геофизических наблюдений влияет масса случайных факторов: мелкая неоднородность физических свойств фонового объекта, изменения геометрии его элементов, рельеф местности и т.п. В этих условиях перспективно использовать стохастический (вероятностно-статистический) подход к определению фона.

Простейшим примером служит статистическое определение коэффициента поглощения в методе РВП, который определяется по не-

скольким значениям, вычисленным на участках трассы измерений, не имеющих признаков экранирования поля генератора проводниками в межскважинном пространстве. Этот коэффициент для изучаемого разреза принимается как постоянная величина и используется при вычислении нормального поля.

Профильная съемка. В более общем случае, как это показано на рис. 3, *а* на примере профилирования методом вызванной поляризации (ВП) с установкой постоянного размера, исходными являются данные измерений на участке, для которого имеются основания отнести поле на нем к условному фону. Как видно из рис. 3, *а*, значения кажущейся поляризуемости ($\eta_к$) на профиле изменяются в определенных пределах. Для объективного отражения изменчивости поля строится дифференциальная кривая распределения анализируемой характеристики с учетом закона, принимаемого для статистически однородной совокупности этой характеристики. В случае $\eta_к$ распределение хорошо описывается нормальным законом Гаусса. Построение распределения ведется с применением линейной шкалы с разбивкой диапазона измеренных значений на равные интервалы (классы). Ось ординат отражает частость появления при измерениях значений поля для каждого из классов (соответствует середине класса) и принимается в штуках или процентах (рис. 3, *б*). Для характеристики фона желательно иметь не менее 30 измерений.

При ограниченном объеме выборки для построения детальной кривой распределения в статистике применяют прием, предусматривающий использование второй шкалы значений поля. Ширина классов остается прежней, но их границы смещаются относительно первой шкалы на половину класса. Использование дополнительной шкалы позволяет в 2 раза увеличить число точек, по которым строится распределение, не уменьшая ширину класса.

Значение поля А, встречающееся с максимальной частостью (мода), которое при нормальном законе распределения совпадает со средним и медианой, принимают в качестве центрального значения – $\bar{А}_0$ (в рассматриваемом примере изучения поляризуемости $\overline{\eta}_{к0}$=2.5 %).

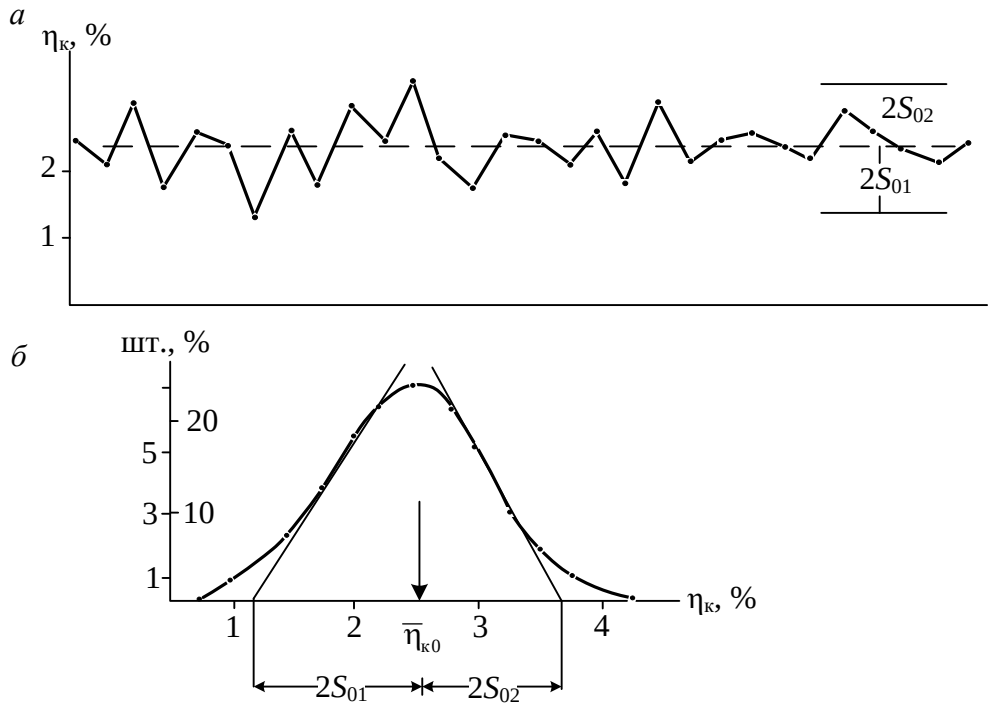


Рис. 3. Графики измеренных значений кажущейся поляризуемости ($\eta_к$) методом ВП по профилю в пределах фонового объекта (*а*) и дифференциальная кривая распределения значений $\eta_к$ для этого профиля, по которой определяются стохастические характеристики фона (*б*)

Для характеристики рассеивания значений относительно центрального используют среднеквадратичное отклонение – S_0. В теории вероятности ему соответствует стандартное отклонение (стандарт). Для его определения к ветвям кривой распределения проводятся две наклонных касательных (рис. 3, *б*). Согласно теории точки пересечения касательных с осью абсцисс смещены от центрального значения на величины $\pm 2S_0$, а расстояние между точками пересечения равно $4S_0$. В рассматриваемом примере S_0=0,63 %.

При упрощенном способе искомые характеристики определяют графически по графикам измеренного поля на фоновом объекте. Осредняющая график прямая соответствует значению $\bar{A}_0$, а величина S_0 определяется по диапазону изменения фона, который приблизительно равен $4S_0$. На рис. 3, *а* этот диапазон отмечен ограничивающими линиями (в правой части рисунка).

Статистические характеристики нормального поля с распределением по закону Гаусса могут быть вычислены и аналитическим пу-

тем. Центральное значение вычисляется как среднее для n рядовых (i) измерений: $\bar{A}_0 = \Sigma A_{0i}/n$, а величина S_0 определяется по формуле

$$S_0 = \left[\sum_{i=1}^{n} (A_{0i} - \overline{A}_0)^2 / n \right]^{1/2} \quad (1)$$

По результатам оценки статистических характеристик нормального поля его диапазон с надежностью 95 % принимают равным:

$$A_0 = \bar{A}_0 \pm 2\, S_0. \quad (2)$$

Очевидно, что все величины поля, попадающие в этот диапазон, могут рассматриваться как значения фона. По результатам измерений, приводимых на рис. 3, значения в интервале 1.24-3.74 относятся к фоновым характеристикам поля.

При известной величине S_0 к аномалным с надежностью 95 % относятся значения поля, отвечающие условиям: меньше ($\bar{A}_0$-2S_0) или больше ($\bar{A}_0$+2S_0).

Метод заряда. Исходными данными являются значения относительного потенциала, измеренные по некоторой сети, причем для нее известны координаты точек наблюдения, позволяющие определить расстояние от каждой точки до эпицентра заряда. В примере (рис. 4), иллюстрирующем применение способа, результаты съемки поля заряда в рудное пересечение скважины 1 представлены в виде плана изолиний потенциала.

Наиболее распространенной моделью вмещающей среды в этом методе является однородное изотропное или горизонтально-слоистое полупространство. Для реализации способа определения нормального поля на планшете съемки намечаются 6-8 радиальных профилей с началом в эпицентре заряда О. На одном чертеже строят графики измеренного потенциала (U) для этих радиальных профилей как функции расстояния (r) от точки О и проводят осредняющую их кривую $U_{ср}$. Кривая $U_{ср}$ и рассматривается в качестве функции нормального потенциала $U_0(r)$. Естественно эту процедуру можно выполнить аналитически по простейшей программе осреднения.

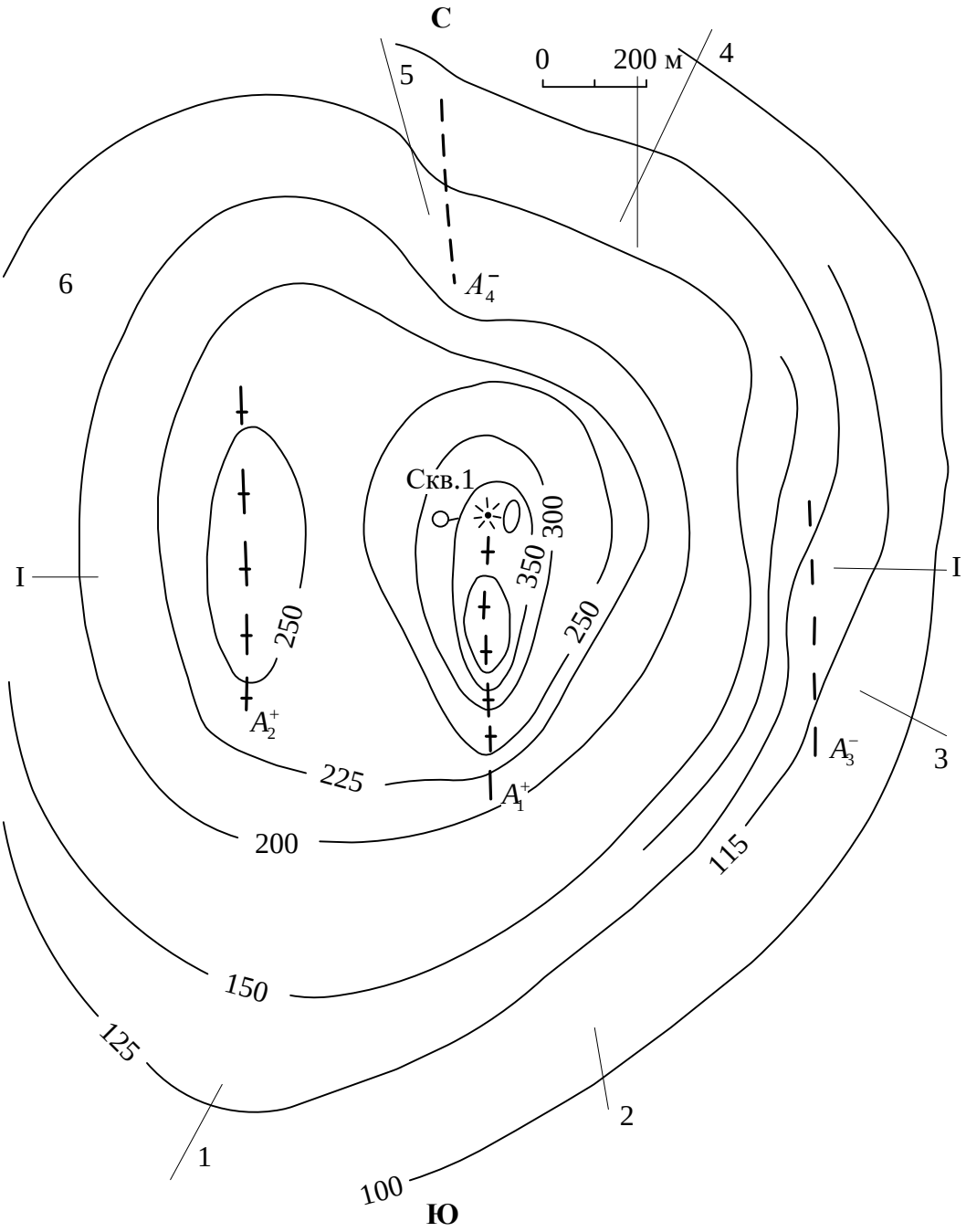


Рис. 4. План изолиний потенциала (в мВ) поля заряда, сделанного в рудное пересечение скв.1:

A^+, A^- - оси положительных и отрицательных аномалий, 1-6 – радиальные профили, *О* – эпицентр заряда; I – I – линия геологического разреза

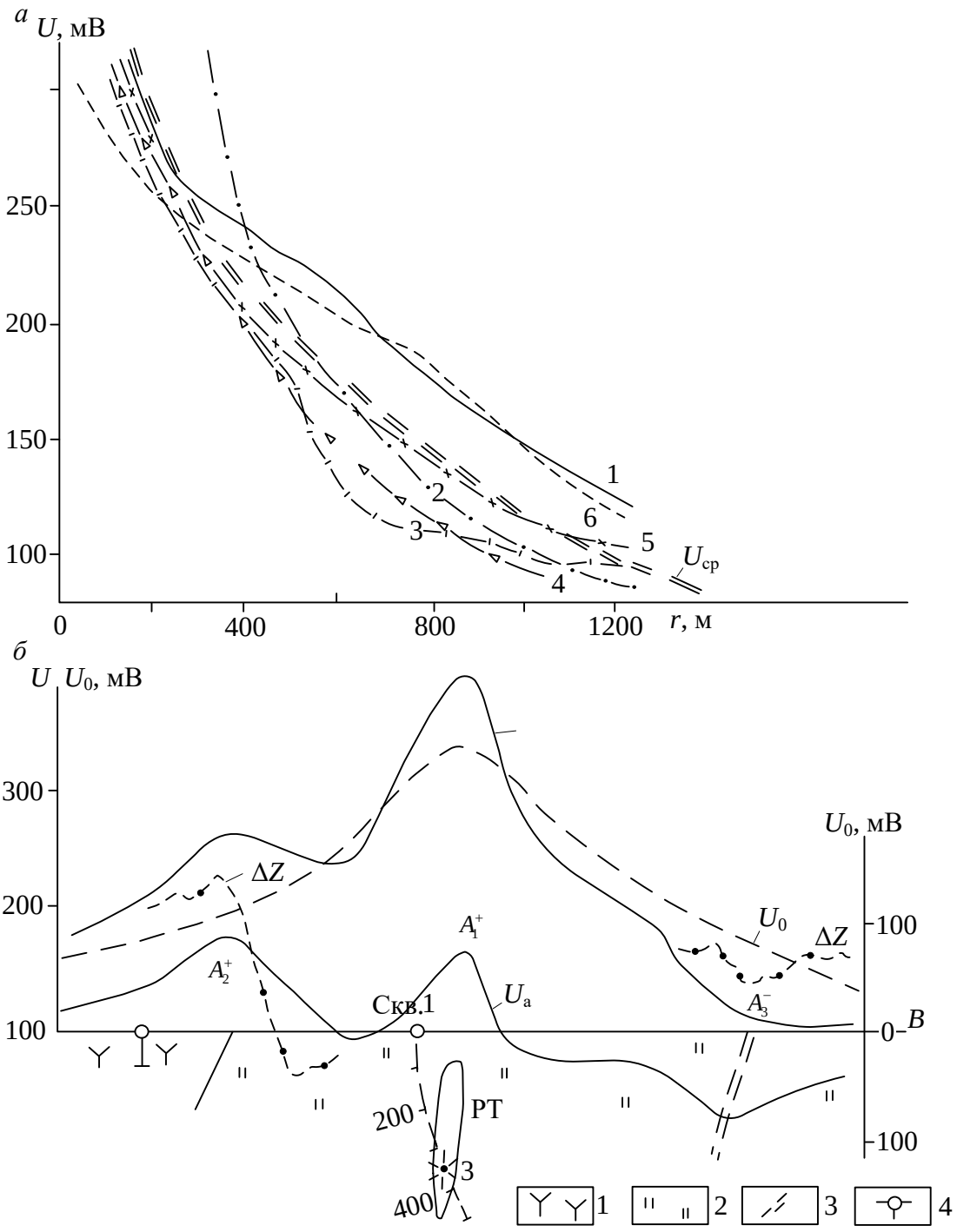


Рис. 5. Результаты обработки и интерпретации поля заряда в скважину 1 (исходные данные на рис. 4):

а – графики потенциала по системе радиальных профилей и осредняющая их кривая ($U_{ср} = U_0(r)$); *б* – графики измеренного, нормального и аномального потенциала (U, U_0, U_a), фрагменты измерений магнитного поля (ΔZ) и геологический разрез по профилю I–I.

1 – субвулканические липарито-дациты; 2 – гидротермально измененные породы; 3 – разрывные нарушения; 4 – скважины; З – заряд; РТ – рудное тело (проекция на плоскость разреза)

В случае наличия признаков проявления анизотропной вмещающей среды стахастический способ определения нормального потенциала в методе заряда применяют с учетом схемы перехода от анизотропной к изотропной среде [13].

По результатам определения нормального потенциала можно при любой ориентировке профилей съемки вычислить нормальный потенциал по профилю. Пример определения в методе заряда по плану изолиний (рис. 4) нормального потенциала по одному из поперечных профилей показан на рис. 5, *а*.

Геофизические аномалии

Геофизическая аномалия характеризует отклонение физического поля от его нормальных значений. По геофизическим аномалиям изучают неоднородности геологической среды различного масштаба, что позволяет получить представление о самой структуре земных недр. В общем случае, при анализе результатов геофизических измерений в качестве аномальной составляющей рассматривают величину разности между измеренным значением поля в *i*-ой точке (A_i) и местным нормальным полем (A_0): $A_{ai} = \Delta A_i = A_i - A_0$. Нормальное поле может быть постоянным или плавно меняющимся, задаваться некоторыми средними величинами или, при учете его дисперсии, в виде предельных значений. В общем случае к аномальным относятся значения, превышающие верхний предел нормального поля или оказывающиеся ниже его нижнего предела. В первом случае наблюдается положительная аномалия, а во втором случае отрицательная аномалия.

Например, на рис. 2 аномальная составляющая изображена заштрихованной областью и отражает появление отрицательной аномалии, связанной с экранным влиянием сульфидного рудного тела.

В качестве примера определения аномальной составляющей изучаемого поля могут служить результаты, полученные при обработке и интерпретации данных метода заряда, приводимые на рис. 4 и 5. Данные о распределении нормального потенциала $U_0(r)$ используются для выделения в рядовой точке аномальной составляющей U_a измеренного потенциала U, равной

$$U_a = U - U_0(r). \qquad (3)$$

По результатам определения нормального потенциала можно при любой ориентировке профилей съемки вычислить нормальный, а

затем и аномальный потенциал по профилю. Результаты подобных вычислений нормального потенциала, сопоставления его с измеренным полем и график аномального потенциала по одному из поперечных профилей с элементами геологической интерпретации показан на рис. 5, *б*.

В рассматриваемом примере аномалия A^{+}_{1} связана с приподнятой относительно заряда частью заряженного рудного тела, имеющего северное склонение. Другая положительная аномалия A^{+}_{2} обусловлена контактом гидротермально измененных пород, вмещающих заряженное тело, с менее электропроводной субинтрузией. Отрицательные аномалии фиксируют субвертикальные плоскости разрывных нарушений относительно повышенной электропроводности.

Безразмерные характеристики геофизических аномалий. В ряде случаев для характеристики аномального объекта целесообразно использовать нормирование аномалий относительно каких-то стандартных величин, при котором учитывается уровень фона, снижается зависимость от точности измерений, типа измеряемой аппаратуры, условий наблюдений, вида изучаемого поля. Появляется возможность сопоставлять аномальные эффекты, зафиксированные от одного и того же объекта различными методами или одним методом, но с применением различных технологий, и в других случаях.

В промысловой геофизике при оценке аномалий широко применяется двойной разностный параметр α. Он представляет отношение

$$\alpha = \Delta A_i / \Delta A_э = (A_i - A_0)/(A_э - A_0), \qquad (5)$$

где ΔA_i – аномалия на рядовом объекте, $\Delta A_э$ – максимальная аномалия на объекте принятом за эталон (может быть и любым объектом с которым производится сравнение). Например, при проведении измерений поля ПС в скважине на изучаемом пласте-коллекторе потенциал равен 20 мВ, на пласте с самыми высокими фильтрационно-емкостными свойствами потенциал равен 10 мВ, на глинах, рассматриваемых в качестве фона, зафиксированы значения 60 мВ. Следовательно, для изучаемого пласта имеем $\alpha_{ПС}$ = -40 / -50 = 0,8.

Применение безразмерного двойного разностного параметра удобно для установления корреляционной зависимости $\alpha_{ПС}$ от некоторых промысловых параметров, например, от коэффициента пористости $К_п$, определенного по данным лабораторных исследований, Подобные зависимости часто имеют достаточно универсальное значение и широко используются на производстве.

При геофизических поисковых и разведочных работах на твердые полезные ископаемые для характеристики аномальности *i*-го объекта при применении *j*-го метода используется показатель контрастности γ_{ij}, равный [1]:

$$\gamma_{ij} = \Delta A_i / S_0. \quad (6)$$

В этом параметре учитывается не только аномальность поля относительно уровня фона, но и дисперсия самого фона. Показатель контрастности удобен для сравнения эффективности методов при оценке их конкурентности, а также для вычисления аномальности объекта в случае применения комплекса методов. Для успешного применения метода необходимо условие $\gamma_i > |2|$.

Использование безразмерных величин γ_i позволяет учитывать результаты нескольких методов путем вычисления функции комплексного показателя θ, представляющую алгебраическую сумму показателей контрастности отдельных методов. Знак у показателей контрастности при суммировании устанавливается в соответствии с решаемой задачей, обеспечивая подчеркивание аномальности искомых объектов по комплексу методов. Подробнее этот вопрос рассмотрен ниже в разделах 3 и 5.

3. ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Геофизические методы применяются для изучения разнообразных геологических и технических объектов. Это могут быть геологические структуры, благоприятные на содержание ценного сырья, месторождения и отдельные тела полезных ископаемых. К типовым объектам также относятся земельные основания для строительства или прокладки автомобильных и железных дорог, скважины или другие горные выработки на разведуемых или эксплуатируемых месторождениях и др. При организации и проведении геофизических работ на любых объектах необходимо четко сформулировать цели исследований по выявлению и изучению в типовых условиях геологических образований. Следует также рассмотреть возможные варианты их параметров, физические предпосылки для успешного решения поставленных задач. Результаты, получаемые в процессе исследований, часто требуют оперативного и обоснованного внесения корректив в их технологию. Ответственным моментом является представление ито-

говых данных исследований в форме понятной и удобной для специалистов, организующих комплексные геологоразведочные или изыскательские работы.

Решение всех этих вопросов осуществляется с помощью сформированной для соответствующей стадии работ физико-геологической модели (ФГМ) объекта геофизических исследований. Существенный вклад в теорию и методику комплексирования геофизических методов, включая принципы формирования ФГМ, внес выпускник Свердловского горного института профессор Гелий Сергеевич Вахромеев [1].

ФГМ отражает упрощенно-обобщенное представление об изучаемом геофизическими методами объекте, предполагающее наличие системы геолого-геофизических сведений, имеющихся на данной стадии работ. ФГМ создают в период проектирования геофизических работ, в процессе их проведения по мере поступления получаемых данных, а также по завершению работ в виде итогового документа.

Обобщенную ФГМ можно представлять в виде совокупности частных моделей: геологической, петрофизической и физических полей в профильном, плоскостном или объемном варианте.

Геологическая модель. Примеры геологических моделей рудных полей

Геологическая модель отражает представление об объекте исследований как системе геологических тел и проявлений геологических процессов с изображением соответствующих разрезов, карт, блок-схем и т. п.

Представляет интерес рассмотреть обобщенные морфогенетические геологические модели постмагматогенных рудных полей, которые являются предметом изучения при поисках рудных месторождений. Под рудным полем понимают геологический объект, состоящий из генетически родственных сближенных рудных скоплений, гидротермально измененных минерализованных пород и малых магматических образований, представляющих собой фазы отщепления из общего материнского очага и использовавших в своем движении общие каналы. Поэтому при поисках рудных месторождений интерес представляет выявление всех этих структурных элементов рудных полей.

Наиболее отчетливо модели рудных полей продемонстрированы в работах П. Ф. Иванкина на основе детального изучения более 50

глубокозалегающих месторождений руд самого различного состава. Достоинство типизации рудных полей, выполненное П. Ф. Иванкиным, состоит в том, что сформированные им геологические модели отражают в наглядной форме главнейшие их структурные элементы, к выявлению которых могут успешно привлекаться геофизические методы. Об этом свидетельствует опыт успешных поисково-разведочных работ, отраженный в частности в монографии [13]. Большой набор примеров рудных месторождений, изученных в пределах разнотипных рудных полей, часть из которых приведена ниже, рассмотрен в справочнике [9].

Постмагматогенные рудные поля формируются выше или на периферии материнских интрузий, которые являются источником постмагматических растворов, создающих ореолы гидротермальных изменений горных пород и рудные скопления. По характеру взаимоотношений гидротермального оруденения с материнскими интрузиями можно выделить три рода рудных полей.

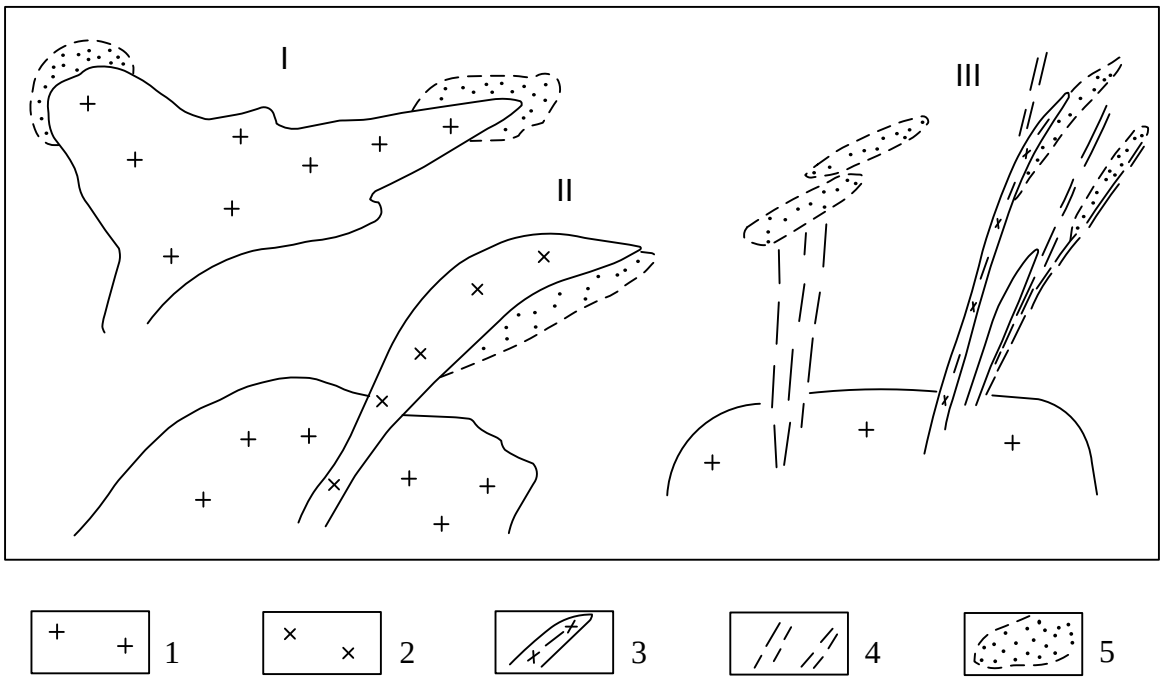


Рис. 6. Морфологические типы (геологические модели) постмагматических рудных полей разного рода (I, II, III) (по П. Ф. Иванкину):
1 – материнский плутон; 2 – тела поздних магматических отщеплений; 3 – лентовидные тела малых интрузий; 4 – разрывные нарушения; 5 – рудоносный комплекс, включающий гидротермально измененные породы и руды

Рудные поля I рода являются ореольными или бескорневыми (рис. 6). Они формируются на ранних стадиях остывания внедривше-

гося магматического тела в условиях широкого фронта отделения растворов по всей или части поверхности материнского интрузива. Растворы обычно обогащены водой, летучими и рудными компонентами. Минерализация вмещающих пород происходит вблизи места отделения растворов от остывающей магмы. В результате образуются широкие ореолы измененных пород с рассеянной или прожилковой минерализацией без богатых локальных скоплений. На поверхности они проявляются в виде полей измененных пород и рассеянной минерализации на достаточно обширных пространствах над погребенными интрузиями или вдоль границ вскрытых эрозией магматических тел. Примеры геологических разрезов месторождений типичных для ореольных рудных полей I рода приведены на рис. 7. Эти разрезы могут рассматриваться как геологические модели этих объектов. Главными структурными элементами их являются интрузии и ореолы рассеянной или прожилковой минерализации.

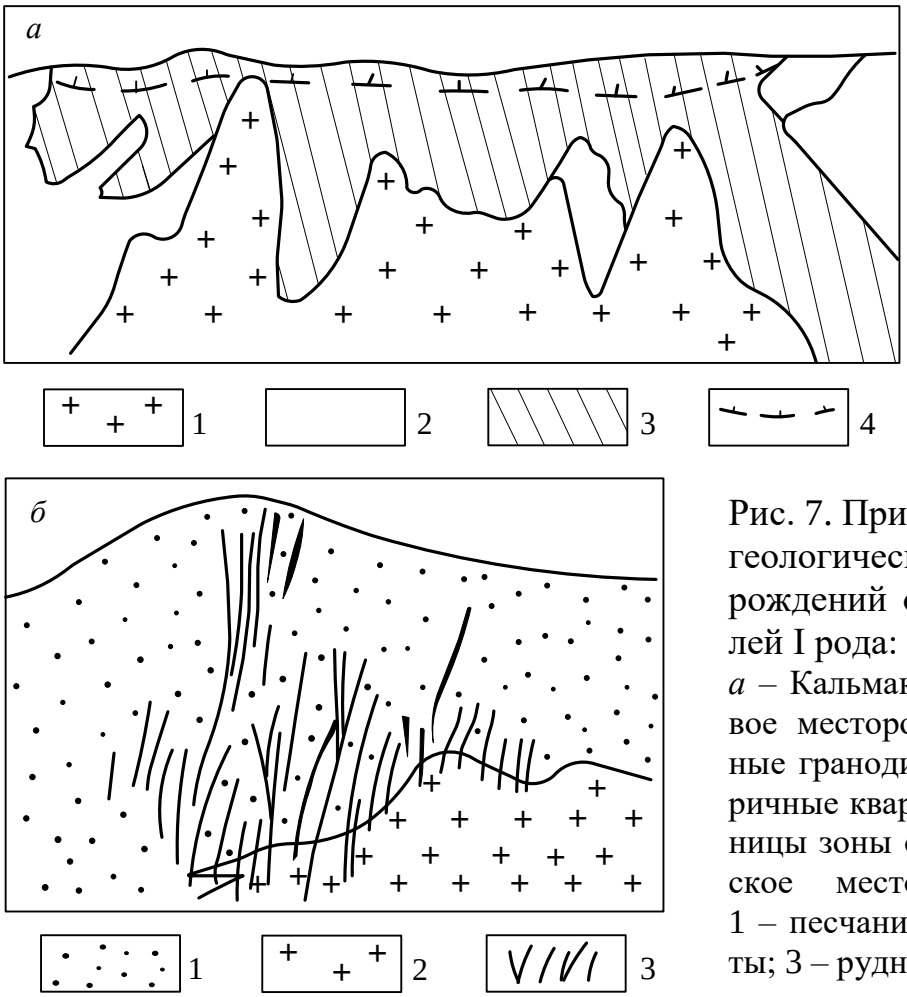


Рис. 7. Примеры схематических геологических разрезов месторождений ореольных рудных полей I рода:
а – Кальмакырское медно-порфировое месторождение: 1 – интрузивные гранодиорит-порфиры; 2 – вторичные кварциты; 3 – руды; 4 – границы зоны окисления; *б* – Иультинское месторождение вольфрама: 1 – песчаники и сланцы; 2 – граниты; 3 – рудные жилы

Рудные поля II рода – это системы рудных тел, окружающих их зон гидротермально измененных пород и поздних магматических от-

щеплений, имеющих общие корни (или рудно- и магмоподводящие каналы), уходящие внутрь крупного интрузива, производными которого все они являются (рис. 6.) Считается, что растворы поступали из верхних частей интрузива и проникали в их кровлю в виде потоков, двигавшихся по нарушениям, контактам или другим проницаемым каналам, что обусловило структурный контроль оруденения. Фигура рудного поля и свойства преобразованных в его пределах пород отражают направленность рудоносных растворов от корней к фронту поля. Рудные поля II рода характерны для гипабиссальных интрузий, часто приурочены к вулканическим постройкам, сформировавшихся над ними, имеют пологие и крутопадающие ветви. Примеры месторождений, типичных для корневых рудных полей II рода, приведены на рис. 8.

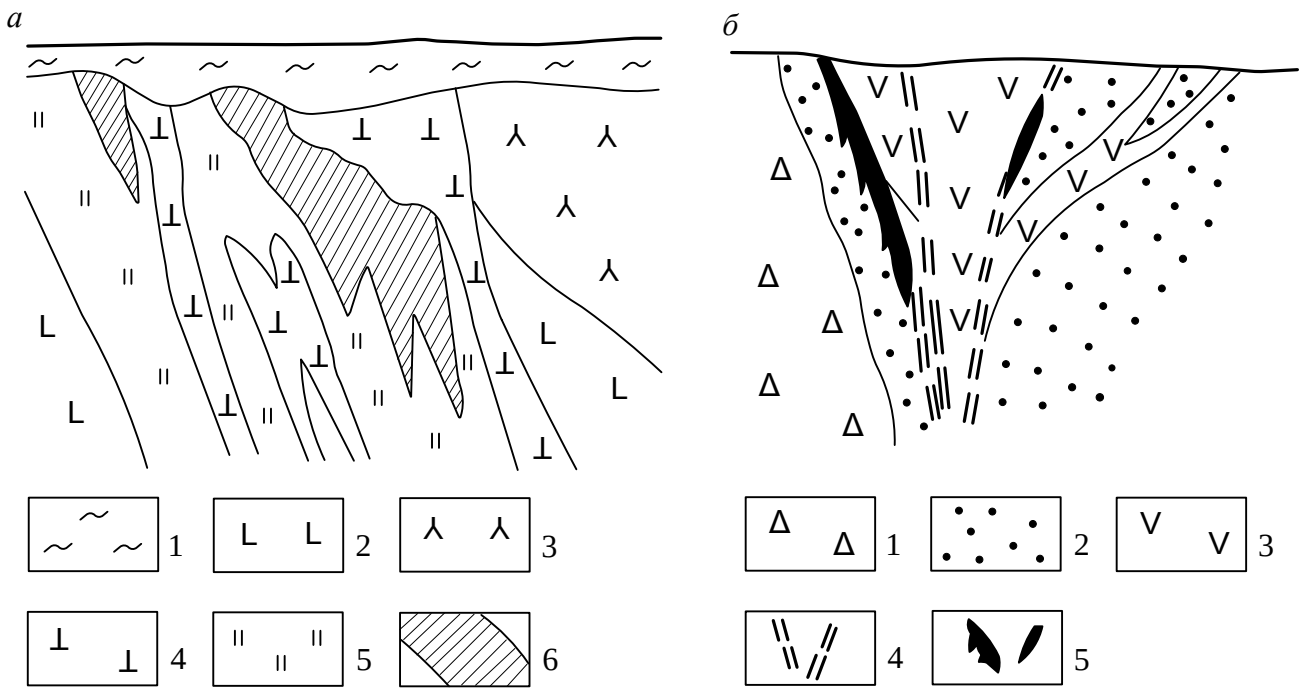


Рис. 8. Схематические геологические разрезы месторождений рудных полей II рода:

а – южная часть Гайского медноколчеданного месторождения: 1 – рыхлые отложения; 2 – туфы; 3 – диабазовые порфириты; 4 – субвулканические липарит-дациты (малая интрузия) ; 5 – метасоматиты; 6 – руды; *б* – молибден-урановое месторождение: 1 – диабазы и спилиты докембрия; 2 – переслаивающиеся осадочные и вулканогенно-осадочные породы; 3 – субвулканические андезиты (малая интрузия); 4 – разрывные нарушения; 5 – рудные тела

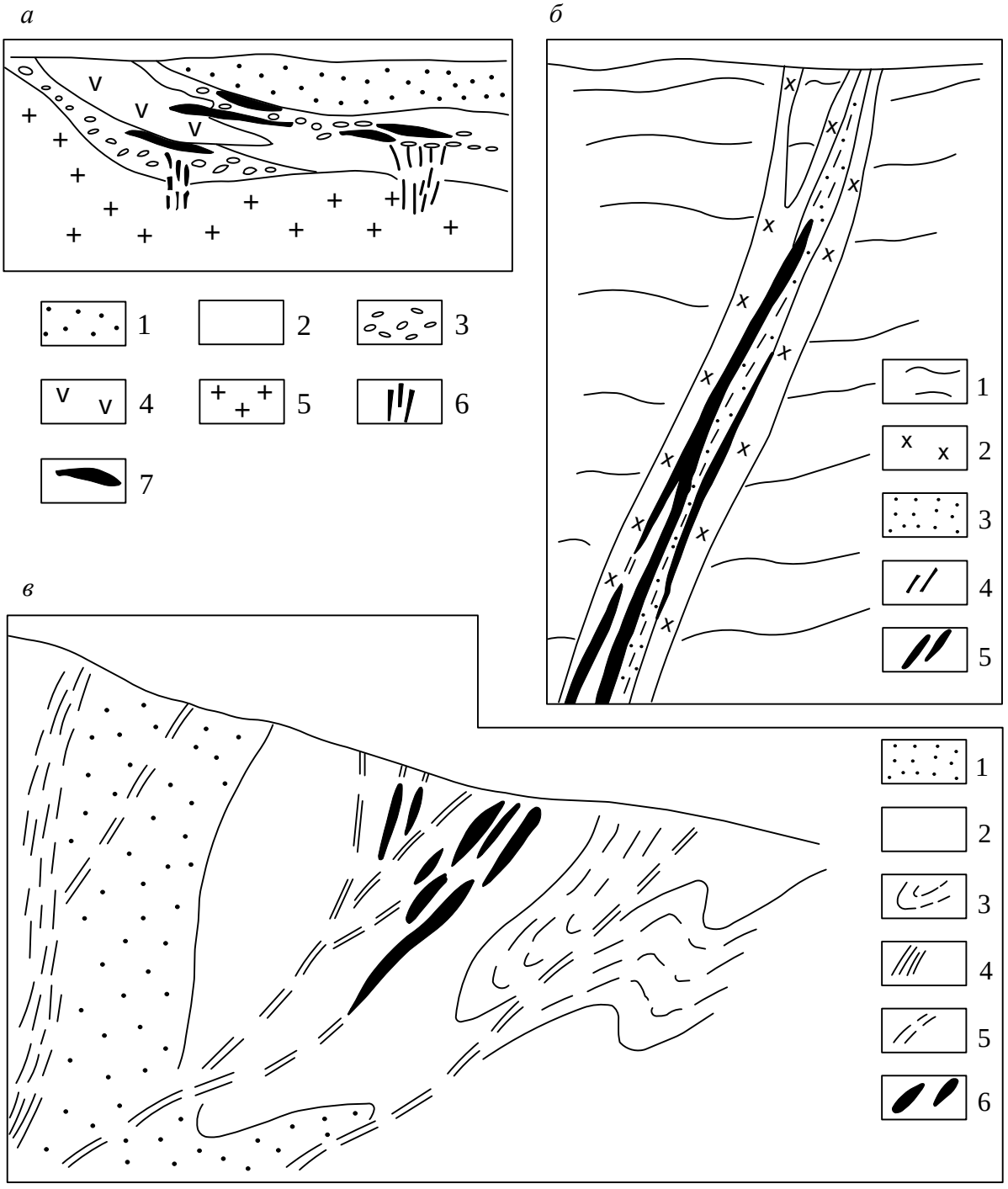


Рис. 9. Примеры геологических разрезов месторождений корневых рудных полей III рода:

а – мышьяково-урановое месторождение: 1 – алевролиты с прослоями песчаников; 2 – песчаники; 3 – конгломераты и гравелиты; 4 – туфолавы; 5 – граниты; 6 – разрывные нарушения; 7 – рудные тела; *б* – уран-титановое месторождение: 1 – кристаллические сланцы и гнейсы; 2 – пегматитовые жилы; 3 – гидротермально измененные породы; 4 – бластомилониты тектонических швов; 5 – рудные тела; *в* – Сахалинское месторождение киновари:1 – песчаники, конгломераты, алевролиты; 2 – глинистые алевролиты; 3 – пачки глин; 4 – главный разлом; 5 – оперяющие трещины; 6 – рудные тела

К рудным полям III рода относят систему рудных тел, окружающих их измененных пород и иногда сопровождающих их серии малых интрузий, значительно оторванных от глубинных интрузий (рис. 6). Образовавшие их потоки гидротерм приурочены к самостоятельным тектоническим зонам, уходящих на глубину, или к ветвям крупных разломов. Последние являлись открытыми системами и, хотя могут нести следы гидротермальных изменений и минерализации, но промышленных скоплений руды не содержат. В ответвлениях, выклинивающихся к дневной поверхности, или в локальных проницаемых геологических телах, игравшими роль экранированных для растворов резервуаров, с которыми контактировали тектонические нарушения, образуются рудные скопления. Поэтому рудные залежи в рудных полях этого рода залегают согласно со слоистыми толщами или разрывными нарушениями в породах с повышенной пустотностью. Примеры месторождений, характерных для рудных полей III рода, приведены на рис. 9.

Таким образом, как следует из геологических моделей, при поисках рудных месторождений главными объектами выявления геофизическими методами являются рудные залежи, включающие их ореолы околорудных изменений, рудоконтролирующие тектонические нарушения, крупные и малые интрузии. Все эти объекты имеют аномальные петрофизические свойства и благоприятные предпосылки для обнаружения при геофизических съемках.

Модели петрофизические и физических полей

Петрофизическая модель отражает сведения о распределении в геологическом пространстве физических свойств, характеризующих геологические тела, как объекты, имеющие предпосылки для выявления и изучения их геофизическими методами. При этом возможны случаи объединения нескольких геологических образований в структурно-вещественные комплексы (СВК) с одинаковыми или близкими физическими свойствами. В этом случае происходит упрощение петрофизической модели по сравнению с геологической моделью. Однако не исключены случаи, когда внутри условно единого геологического тела существуют участки изменений свойств за счет проявления процессов локального преобразования горных пород, которые отличаются по физическим свойствам и могут фиксироваться геофизическими методами. Такая картина наблюдается при локальном ме-

таморфизме, околорудных изменениях, развитии трещиноватости и др. процессах. В этих случаях петрофизическая модель может отражать результаты действия этих процессов и выглядеть сложнее, чем геологическая модель.

Петрофизическая модель может быть представлена в виде таблиц, типовых физико-геологических колонок, сводных геолого-геофизических разрезов, петрофизических карт или разрезов: самостоятельных или совмещенных с геологическими картографическими материалами. Желательно дополнять традиционно принятые в геологии мелкомасштабные литолого-стратиграфические разрезы (колонки) данными о физических свойствах, представленных на них толщ.

Исходные данные о физических свойствах горных пород для формирования петрофизической модели получают в результате лабораторных измерений на образцах, по данным интерпретации результатов каротажа или параметрических наблюдений физических полей на отдельных участках, а также путем использования справочной литературы. Помимо данных по изучаемой территории обязательно приводятся необходимые сведения об объектах-аналогах, что позволяет учесть опыт предшественников. Примером петрофизической модели месторождения может служить упрощенная типовая физико-геологическая колонка, изображенная на рис.11.

Физические поля или результаты их трансформации отражают данные, получаемые при решении прямой задачи на основе геологической и петрофизической моделей, или же отражают данные реальных наблюдений. Они необходимы для обоснования возможностей геофизических методов. На стадии проектирования это могут быть геофизические поля на объектах-аналогах, ранее изученных в схожих геологических условиях. Физические поля также приводятся как исходный материал, использованный при геологической интерпретации уже выполненных измерений, когда с помощью ФГМ представляются итоговые документы геофизических работ.

Пример физико-геологической модели

В качестве примера на рис. 10, 11 приводится ФГМ уранового месторождения, приуроченного к разрывным дислокациям в метаморфизованных породах протерозоя. По классификации П. Ф. Иванкина оно относится к корневым рудным полям III рода, оторванных от материнского глубинного плутона и приуроченных к тектониче-

ским зонам. На геологической модели (рис. 10, *а*) видно, что разрывные нарушения тяготеют к крыльям антиклинальной структуры, представленной вулканогенно-карбонатными отложениями. Оруденение локализуется в зонах проявления разрывной тектоники преимущественно в сланцевых толщах на участках с повышенной пористостью, появившихся вследствие разуплотнения пород. Рудоносные растворы помимо урана привнесли в зону их разгрузки вещества, сформировавшие ореолы гематитизации и сульфидизации. Эпигнетические изменения вмещающих пород сопровождались образованием в верхней части разреза зоны окисления.

Петрофизическая модель месторождения (рис. 11) отражает развитие аномальных проявлений в физических свойствах, как в контуре рудных тел, так и в околорудно-измененных породах. В рудах помимо высокой радиоактивности (J_γ) отмечается увеличение плотности (σ), магнитной восприимчивости (χ), поляризуемости ($\eta_к$) и понижение сопротивления ($\rho_к$). Вмещающие породы достаточно дифференцированы по физическим свойствам, что позволяет ожидать появление аномалий от складчатых структур. Анализируя петрофизическую модель, можно полагать, что зоны околорудно-измененных пород, характеризующиеся разуплотнением, повышением магнитной восприимчивости, электропроводности и поляризуемости, должны проявиться в магнитном поле, а также по данным методов электрометрии. Следует ожидать наложение на структурную составляющую полей проявлений, связанных с телами рудных тел и сопровождающих их ореолов минерализации.

Действительно, на графиках полей, измеренных комплексом методов по профилю, проходящему через рудоносную структуру (рис. 10, *б*), отражаются главнейшие ее элементы. Так отрицательной локальной аномалией силы тяжести отмечается ядро антиклинали (выход к поверхности карбонатов среди магматических пород). Расширение этой аномалии связано с проявлением зон разуплотнения и трещиноватости, обусловленных существованием здесь разрывных нарушений, как одного из признаков благоприятных условий для проникновения рудоносных растворов.

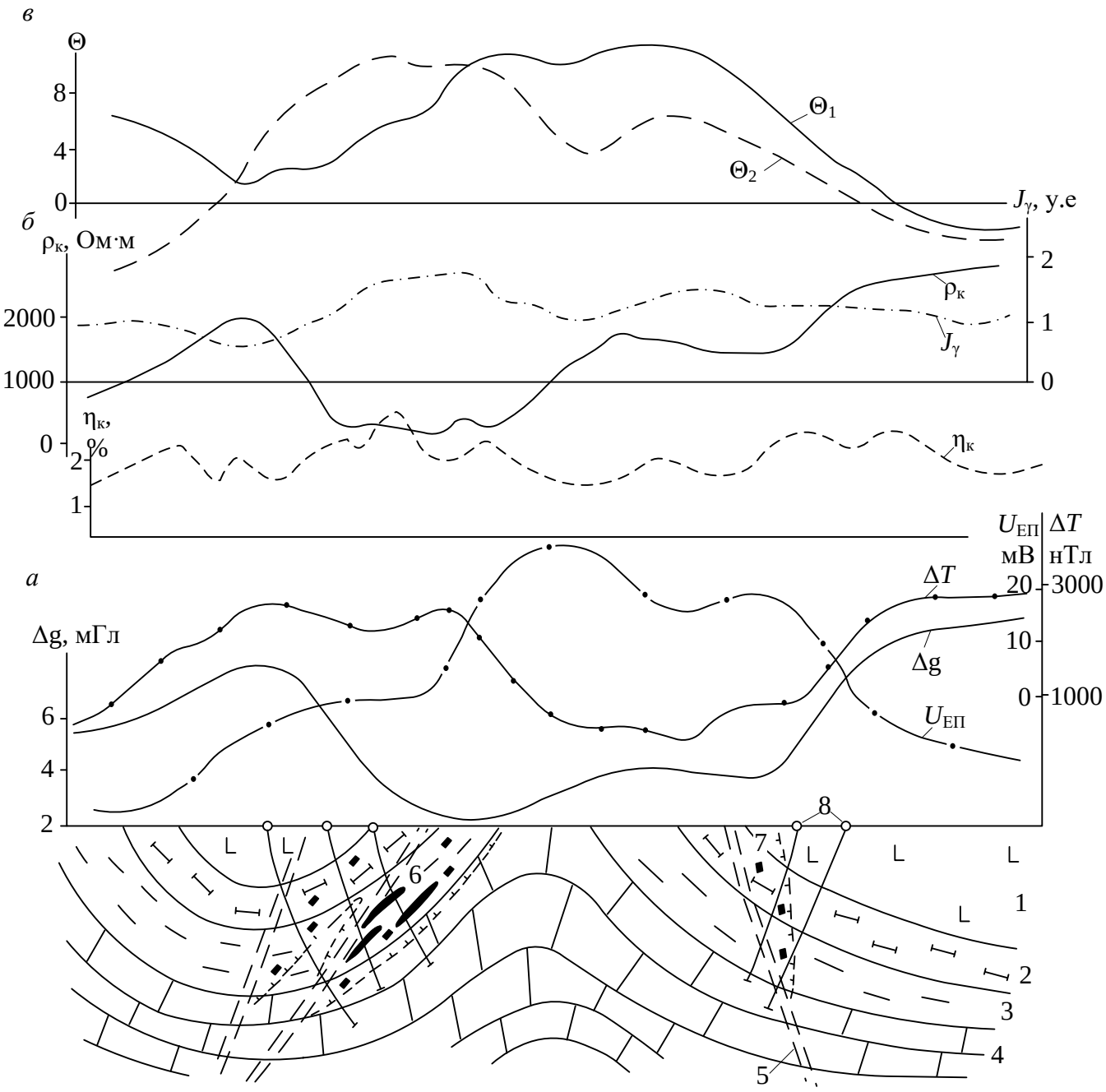


Рис. 10. ФГМ месторождения урана (по В. Е. Голомолзину, В. А. Титовой, А. В. Денисову):

а – геологический разрез (геологическая модель)месторождения: 1 – габбро-диабазы; 2 – пестроцветные слюдистые сланцы; 3 – слюдисто-карбонатные шунгитсодержащие сланцы; 4 – доломиты; 5 – тектонические нарушения; 6 – урановые руды; 7 – зоны гидротермально метасоматических изменений и минерализации; 8 – скважины; *б* – графики геофизических полей; *в* – функции комплексного показателя аномалий гравитационного и магнитного полей (θ_1), полей электрометрии и радиометрии (θ_2)

Отрицательная локальная аномалия магнитного поля, связанная с ядром антиклинали, явно уже гравитационной аномалии, то есть заметно повышение магнитного поля в районе ослабления поля силы

тяжести (над выходом к дневной поверхности рудоносных пород). Такое несоответствие двух полей является признаком отражения развития вторичных процессов, связанных с проявлением рассеянного ожелезнения, что характерно для фронтальной части ореола поступавших из недр рудоносных растворов. Это весьма благоприятный поисковый признак.

Для месторождения характерны участки профиля, на которых отмечается заметное уменьшение удельного сопротивления, хотя и слабое, но заметно повышение поляризуемости среды по данным срединного градиента с размером установки 1000 м. Так как над этим участком также наблюдается заметное повышение гамма-поля, то эти важные признаки следует также рассматривать как благоприятные для обнаружения оруденения.

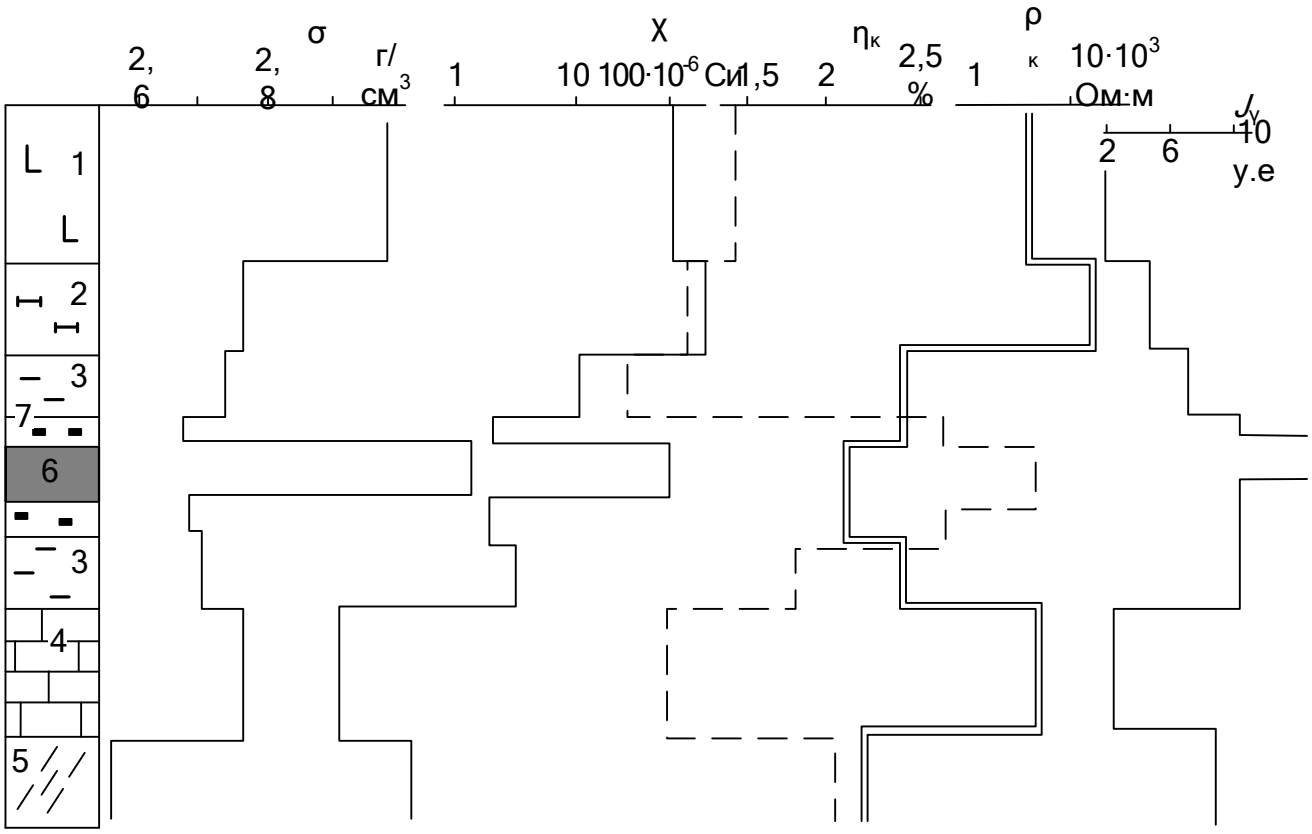


Рис. 11. Типовая физико-геологическая колонка (петрофизическая модель) месторождения урана (см. рис.10):
графики плотности (σ), магнитной восприимчивости (χ), кажущихся поляризуемости ($\eta_к$) и удельного сопротивления ($\rho_к$), радиактивности (J_γ) горных пород разреза (1-7 см. подрисуночные надписи к рис.10, *а*)

Весьма отчетливо влияние рудоносных пород проявляется в виде четкой положительной аномалии естественного электрического

поля. И хотя аномалия несколько смещена по восстанию относительно самого оруденения и наблюдается еще над участком с рассеянной минерализацией, однако, при наличии других признаков район, наиболее перспективный на оруденение, по аномалии естественного поля фиксируется достаточно надежно.

Представление о возможности совместного учета результатов нескольких методов показано на примере двух вариантов функции комплексного показателя (рис. 10, *в*). При вычислениях в качестве нормального поля использовались значения, типичные для участков профиля, проходящих над магматическими породами. Вычислительные формулы для Θ составлялись с таким расчетом, чтобы подчеркнуть положительными аномалиями присутствие объектов, представляющих первоочередной интерес.

Функция Θ_1 вычислялась по формуле $\Theta_1 = - \gamma_{ГР} - \gamma_м$ и отражает совместное проявление аномальности полей гравиметрии и магнитометрии. При структурных исследованиях интерес представляют выходы к дневной поверхности потенциально рудоносной толщи сланцев, и соответствующие им отрицательные аномалии этих полей являются положительными факторами контроля этих искомых объектов. Это обстоятельство учтено в формуле Θ_1. График функциии Θ_1 имеет картировочное значение и положительная аномалия Θ_{A1} хорошо соответствует выходам сланцев совместно с толщей карбонатных пород среди тел магматитов.

Функция Θ_2 отражает аномальность методов электроразведки (КС, ВП и ЕП) и радиометрии, связанных с самим месторождением урана и близрасположенного рудопроявления, и вычислялась по формуле $\Theta_2 = \gamma_{ВП} + \gamma_{ЕП} - \gamma_{КС} + \gamma_Р$. Результирующая аномалия этих методов подтверждает возможность применения данного комплекса методов для поисков урановых руд в геологических условиях близких тем, которые отражены на представленной ФГМ.

Таким образом, сформированная по данным геологии, измерений физических свойств в скважинах и полей на дневной поверхности ФГМ, позволяет расшифровать природу геофизических аномалий наземных методов, выявить те признаки, по совокупности которых можно обнаруживать урановые месторождения в районе с подобными геологическими условиями. Появляется возможность обосновать комплекс геофизических методов, при применении которого можно рассчитывать на успешные результаты поисков.

4. ФОРМИРРОВАНИЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ДАННЫМ РУДНОГО КАРОТАЖА

В настоящее время сведения о физических свойствах при проектировании, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых в основном получают по данным геофизических методов исследования скважин (ГИС). Одним из вариантов представления петрофизической модели объекта исследований является типовая геолого-геофизическая колонка разреза изучаемой геологической среды. В промысловой геофизике она получила название сводный геолого-геофизический разрез. Поскольку физические свойства осадочной толщи, изучаемой методами промысловой геофизики, достаточно стабильны по латерали, для формирования модели разреза используют диаграммы 2-3 скважин, имеющих пересечения всех структурных элементов разреза.

В рудных районах, характеризующихся высокой изменчивостью разнообразных признаков геологических образований, представление об их физических свойствах можно получить с помощью стохастической модели разреза.

Основными элементами структуры рудного поля являются геологические тела и зоны развития геологических процессов, мощности которых измеряются десятками метров. Отдельный элемент, исходя из опыта ГИС, представляет образование с включениями и его можно с некоторым приближением рассматривать как двухкомпонентную среду. Размеры включений обычно составляют первые метры. Роль включений играют мелкие чередующиеся пропластки пород иного состава по сравнению с вмещающей их средой. К включениям относят также локальные участки проявления выборочного эпигенетического преобразования в геологическом теле, останцы материнской породы, подвергшейся метаморфическим изменениям, и др.

Кодирование диаграмм ГИС

Рассматривая пересечение геологического тела в скважине как двухкомпонентную смесь, предложено выполнять кодирование диаграмм каротажа, позволяющее представить информацию о пересечении в виде характеристик изучаемого свойства (поля) А и долей содержания для каждого из компонентов [8]. Естественно полагать, что для одного из компонентов макросмеси присущи высокие значения

свойства $А_в$, а для другого – низкие значения этого свойства $А_н$. Коэффициенты, отражающие содержание каждого из компонентов, соответственно равны $К_в$ и $К_н$.

Для реализации простейшего способа определения характеристик такой макросмеси необходимо провести в пределах пересечения три линии, осредняющие значения измеряемого свойства для каждого из компонентов (средние значения $А_в$ и $А_н$) и диаграммы в целом (значение $А_{ср}$) (рис. 12). Первые два значения определяют свойства компонентов, а коэффициенты содержания каждого из компонентов находят по формулам:

$$К_в = (А_{ср} – А_н)/(А_в – А_н),\ К_н = (А_в – А_{ср})/(А_в – А_н) = 1 – К_в\ .\quad (4)$$

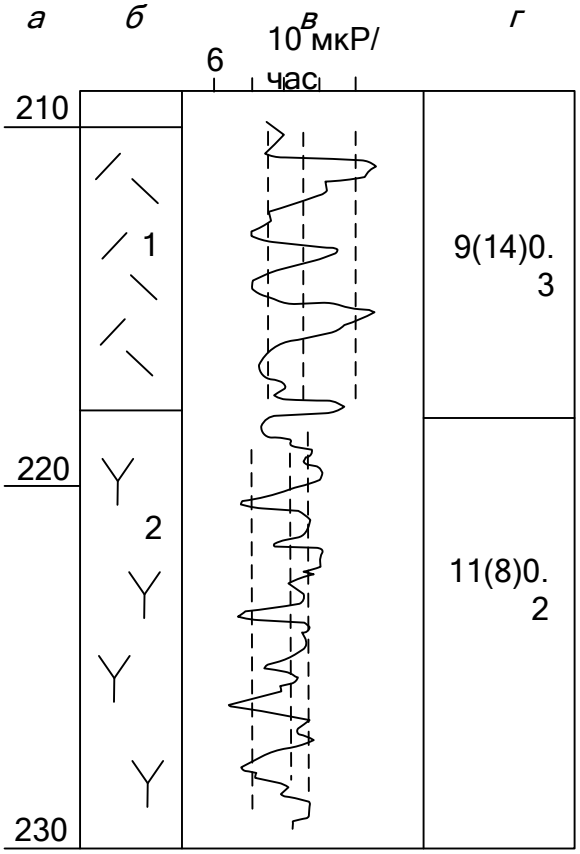


Рис. 12. Пример кодирования диаграммы ГК для двух интервалов участка скважины:
а – глубины; *б* – геологическая колонка; *в* – диаграмма; *г* – результаты кодирования; 1 – туфы; 2 – липариты

Очевидно, что, если мощность рассматриваемого пересечения составляет Н метров, то доли компонентов в метрах равны: $Н_в = НК_в$ и $Н_н = НК_н$.

Информацию об измеренном физическом признаке для каждого пересечения геологического образования можно представить в виде кода следующего вида: $А_{ок}(А_{вкл})К_{вкл.}$ Первое значение соответствует средней величине физического свойства основного компонента, доля

которого в макросмеси выше. Значение в скобках отражает среднее значение физического свойства компонента, рассматриваемого как включение, а последнее значение соответствует его доле в макросмеси. Следует заметить, что основной компонент также как и включения могут характеризоваться относительно высокими или низкими значениями свойства. Например, при кодировании данных измерений методом ГК естественной радиоактивности в мкР/час (рис. 12) для интервала 210-218 м (туфы) с помощью набора значений 9(14)0,3 фиксируется наличие среди основной части пласта мощностью 8 м включений (пропластков с повышенным содержанием кислой фации), на долю которых приходится 2,4 м. Основная масса туфов имеет радиоактивность 9 мкР/час, а более радиоактивные пропластки характеризуются значениями около 14 мкР/ч. Для липаритов, залегающих ниже туфов, пересечение которых зафиксировано в интервале 218-230 м, характерны средние значения для основного компонента 11 мкР/час, а для включений 8 мкР/час. Доля включений составляет 0,2, и поэтому результаты кодирования для этого интервала выражаются набором значений 11(8)0,2.

Имеется программа автоматического кодирования диаграмм методов ГИС, созданная В. А. Серковым при участии автора.

Результаты кодирования позволяют представить данные измерения физического свойства (поля) по скважине в компактной форме, удобной для хранения, трансляции, применения разнообразных способов обработки, построения петрофизических разрезов без потери информации о неоднородной структуре геологических образований, отражающей проявление определенных процессов. Например, имея данные кодирования диаграммы электрометрии с измерениями удельного сопротивления ρ в Ом·м, можно вычислить коэффициент электрической анизотропии λ. Для среды с двухосной анизотропией, характеризующейся удельным сопротивлением вкрест слоистости – ρ_n, по слоистости – ρ_t, справедливы следующие формулы:

$$\rho_n = К_в\rho_в + К_н\rho_н, \quad \rho_t = \rho_в\rho_н/(К_н\rho_в + К_в\rho_н), \quad \lambda = (\rho_n/\rho_t)^{1/2} \qquad (5)$$

Статистическая обработка результатов кодирования

Данные кодирования диаграмм методов ГИС, зарегистрированных по нескольким скважинам изучаемого участка на стадии поисков или разведки, позволяют сформировать петрофизические модели каждого элемента структуры этого участка. Задача практически сво-

дится к получению представления о типичных горных породах и рудах участка, как объектах исследования геофизическими методами. При этом следует отразить те изменения в свойствах этих пород, которые вызывают процессы тектоники, метаморфизма и минерализации.

Петрофизические модели, присущих изучаемому разрезу литотипов горных пород, формируются на основе статистических исследований по выборкам для каждого из них путем построения кривых распределения изучаемых физических характеристик. В выборку для конкретного литотипа включаются все его пересечения, которые на геологических колонках классифицированы приблизительно одинаково. Статистика проводится для каждого изучаемого геофизического свойства отдельно, подобно тому, как это делается при оценке уровня нормального поля стохастическим способом (см. раздел 2). Поскольку распределение для большинства физических свойств статистически однородных совокупностей горных пород подчиняется логнормальному закону, рассмотрим этот случай детально.

Для построения дифференциальной кривой распределения признака (физического поля или свойства) А необходимо выполнить группирование данных о нем по классам (интервалам равной ширины на оси абсцисс), применяя логарифмическую шкалу. Для достаточно представительных (репрезентативных) выборок удобно разбивать один порядок на 4 класса. Например, границы классов могут соответствовать значениям: 1-1,8-3,2-5,6-10-18-32 и т. д. В случае применения второй смещенной шкалы границы классов: 1,4-2,5-4,4-7,8-14-25 ит. д. При таком подходе отпадает необходимость применять бланки с логарифмической шкалой.

В таблицу группирования заносятся значения мощности в метрах. Для двухкомпонентных макросмесей в таблицу заносятся мощности компонентов $H_н$ и $H_в$ в классы в соответствии с характерными для компонентов значениями $A_н$ и $A_в$. В большинстве случаев они разносятся по разным классам, но при близких значениях измеряемого признака мощности компонентов могут попасть в один класс. Дифференциальная кривая распределения (функция частости) строится по данным о суммарной мощности (ординаты) каждого класса (на оси абсцисс это середины классов). Пример дифференциальной функции распределения приведен на рис. 13, *а*.

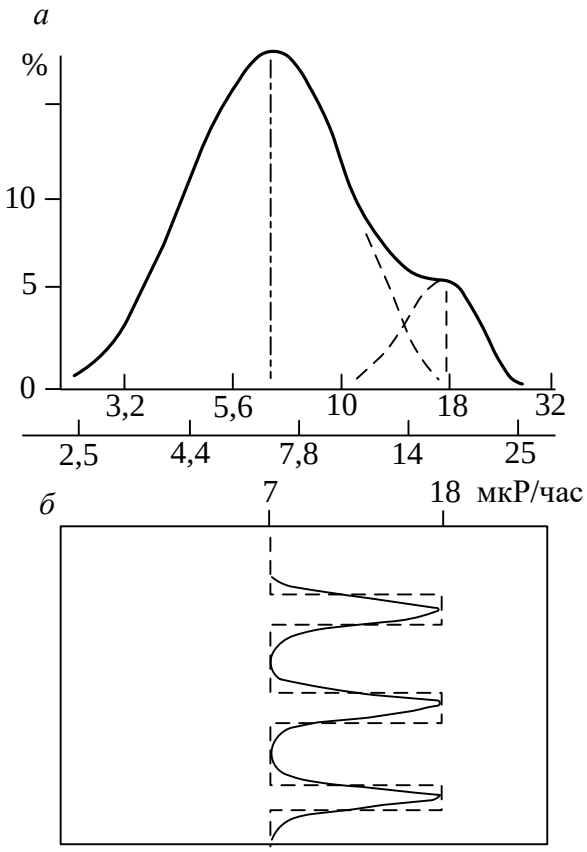


Рис. 13. Пример построения статистической диаграммы для туфов смешанного состава:
а – дифференциальная кривая распределения естественной радиоактивности (выборка по 5 скважинам); *б* – статистическая диаграмма ГК (поле в логарифмическом масштабе)

В большинстве случаев кривые распределения отражают статистическую неоднородность изучаемых образований, которая проявляется в двухгорбности кривых, или они имеют другие особенности, также позволяющие сделать вывод о двухкомпонентной структуре этих образований. Пользуясь известными приемами статистики сложную кривую распределения можно представить в виде двух элементарных кривых, соответствующих логнормальному закону. По ним легко определить центральные значения признака для каждого компонента, а также долю каждого компонента в выборке (по соотношению площадей элементарных кривых). Эти данные и используют для статистической характеристики изучаемых объектов по геофизическим признакам путем построения прямоугольных диаграмм, которые затем могут быть скорректированы с учетом специфики вида аномалий измеряемого в скважинах поля. Так для метода ГК аномальными являются пропластки (включения) с максимумом аномалии в середине пропластков и полумаксимумом на их границах.

Рис. 13, *б* иллюстрирует принцип построения статистической диаграммы для объекта по данным, получаемым при использовании распределения естественной радиоактивности туфов смешанного состава (измерения по 5 скважинам на периферии медноколчеданного

месторождения). О соотношение долей основного компонента и включений можно судить по ширине площадок значений радиоактивности основного компонента и включений. В рассматриваемом примере это соотношение 1:3 и, следовательно, на статистической диаграмме $К_{вкл} = 0,25$.

Построение типовой физико-геологической колонки

Построение начинается с формирования типовой геологической колонки, которая отражает в разрезе весь комплекс геологических тел, участвующих в создании структуры изучаемого участка с отражением последовательности их залегания. При мелкомасштабных исследованиях можно использовать литолого-стратиграфическую колонку, которая создается геологической службой в каждом районе геологоразведочных работ. Такие колонки обычно не имеют масштаба, а сведения о мощностях толщ или геологических тел приводятся на колонке в виде диапазонов их мощностей. На геологических колонках отдельно выделяются объекты, которые развиты в районе не повсеместно, то есть появляются в виде локальных тел. В первую очередь это относится к малым интрузиям, рудным телам и зонам метаморфизма. Подобные объекты изображаются в виде включений в толще вмещающих пород.

На основе дифференциальных кривых распределения геофизических признаков для каждого литотипа формируются статистические диаграммы по изученным признакам для всего разреза в соответствии с геологической колонкой. В большинстве случаев все геологические тела представляются на статистических геофизических диаграммах как образования с включениями. Неоднородность объектов показывают путем изображения прямоугольных или скорректированных с учетом типичной формы диаграмм, подобных той, которая представлена на рис. 13, *б*. Пример типовой физико-геологической колонки (упрощенный вариант без отражения компонентов в горных породах) приведен на рис.10.

Типовая физико-геологическая колонка дает представление о физических свойствах всего комплекса геологических образований в изучаемом районе и на ее основе могут решаться разнообразные задачи в период проведения геологоразведочных работ. Полученные данные используют при формировании петрофизической модели при исследовании участков с условиями близкими тем, которые учтены

при формировании типовой колонки, как на стадии проектирования работ, так при интерпретации измеренных полей. В период разведки типовая колонка помогает правильно классифицировать объекты, изученные методами ГИС.

5. ВЫБОР КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Выбор геофизического комплекса можно рассматривать как творческое решение сложной задачи, требующей высокой квалификации исполнителей. Поэтому недаром в вузах для выпускников геологического направления квалификационной работой обычно является проект поисково-разведочных работ, при защите которого судят о подготовленности выпускника умело обосновать необходимый комплекс методов для успешного решения конкретной задачи геологоразведочного производства.

При выборе геофизического комплекса руководствуются следующими положениями.

1. Необходимо использовать всю имеющуюся информацию о результатах ранее проводившихся в районе проектируемых работ геологических, геофизических и геохимических исследованиях. Это могут быть материалы регионального и среднемасштабного геологического картирования, спутниковой и аэрогеофизической съемки, результаты бурения и изучения опорных или структурных скважин и др.

2. Учесть опыт предшественников по геофизическим исследованиям в схожих геологических условиях, давших в первую очередь положительные результаты. Познакомится с типовыми комплексами применения геофизических методов для целей картирования и поисково-разведочных работ на определенные полезные ископаемые.

3. Сформировать рациональный геофизический комплекс, включающий минимально достаточное число методов, сочетание и последовательное применение которых имеет наилучшие перспективы для решения поставленной задачи с оправданным расходованием требуемых средств.

В комплекс включают методы, несущие разнородную информацию и позволяющие классифицировать (с определенной вероятностью) геологические объекты в пределах изучаемой среды. Методы подразделяют на основные и вспомогательные. Первые планируется

применять на всей площади работ, а вторые, часто рассматриваемые как детализационные, необходимы для определения природы и геометрических характеристик выявленных аномалиеобразующих объектов на участках ограниченных размеров.

Типовой комплекс включает избыточное число методов, поскольку обобщает опыт успешного применения геофизических методов для решения определенного класса задач в разнообразных условиях и при различной аппаратурной оснащенности исполнителей. Приводимые в справочной, учебной и научной литературы сведения дают возможность выбрать лишь оправданно необходимый минимум методов. Тем не менее, в проекте должно быть отражены данные о типовом комплексе и приведены обоснования для принятых решений о выбранном минимуме.

При некоторых геофизических исследованиях специальными документами регламентируется применение определенного обязательного комплекса с возможностью его дополнения методами, для применения которых имеется веские причины. Так, например, в промысловой геофизике результаты исследование скважин не считаются кондиционными, если не применялся обязательный для данной стадии комплекс методов.

Внутри рационального комплекса могут быть отдельно выделены целевые комплексы методов. Это круг методов, объединяемых для решения какой-то узкой задачи. В качестве примера можно привести целевой комплекс методов для выявления крутопадающих секущих разрывных нарушений. Комплекс включает высокоточную магниторазведку, комбинированное электропрофилирование, метод естественного электрического поля. Эффективность этого комплекса продемонстрирована в разделе 8.

При обосновании рационального комплекса следует привлекать количественные оценки геологической и экономической эффективности методов, а также учитывать временные факторы их применения.

Хорошо зарекомендовал себя на практике способ вычисления показателей контрастности отдельных методов γ_j (см. раздел 2) и функции комплексного показателя (ФКП) θ, представляющей сумму показателей контрастности нескольких методов для характеристики комплекса [1]. При обосновании выбора одного из конкурирующих методов предпочтение отдается тому, для которого при анализе условий выделения аномалиеобразующего объекта на материалах ФГМ

или на уже разведанном объекте – аналоге показатель γ_j по модулю больше.

Для комплекса методов составляется формула алгебраического суммирования показателей контрастности с таким расчетом, чтобы аномальные эффекты каждого измеряемого признака для главного объекта поисков или разведки давали увеличение функции θ. Это достигается изменением знака у показателей, соответствующих отрицательным аномалиям. Например, если сульфидное месторождение фиксируется положительными локальными аномалиями гравитационного поля (Гр) и вызванной поляризации (ВП), но отрицательными аномалиями кажущего сопротивления (КС) и магнитного поля (М), то формула для вычисления θ имеет вид:

$$\Theta = \gamma_{гр} + \gamma_{вп} - \gamma_{кс} - \gamma_{м}. \qquad (6)$$

Вычисление ФКП приводит к увеличению контрастности проявления искомого объекта и подавлению помех. Так при поисках сульфидных месторождений фиксируется много локальных положительных гравиметровых аномалий, не связанных с оруденением. С этими аномалиями часто коррелируются положительные аномалии КС и магнитного поля. В результате применения формулы (6) такие объекты-помехи будут сопровождаться низкими или даже отрицательными аномалиями ФКП, что позволит исключить их из рассмотрения.

Необходимо заметить, что для ФКП характерен некоторый фон, на величину которого влияет количество задействованных признаков, фактически число методов m, для которых определены показатели контрастности. В качестве фонового значения Θ_0 используется величина $\pm 2\sqrt{m}$, а в качестве аномальной рассматривается значение превышающее по модулю Θ_0. Поэтому эффективность комплекса оценивают величиной аномалии ФКП – Θ_a.

Эффективность комплекса выше, если Θ_a больше модуля показателя контрастности любого метода. Увеличение числа методов в комплексе приводит к росту фона для ФКП и вполне возможно, что при этом величина Θ_a увеличится незначительно. Поэтому требуется ограничиться минимальным числом методов, применение которых гарантирует уверенное выделение искомого объекта достаточно контрастной аномалией ФКП.

Выбор геофизического комплекса для картирования разрывных нарушений

Тектонические нарушения относятся к важнейшим объектам геофизических исследований, поскольку часто имеют контролирующее значение при формировании месторождений полезных ископаемых. Изучение разрывных нарушений с одной стороны может привести к открытию рудных залежей, а с другой стороны связано с необходимостью установить строение изучаемых геологических объектов, в том числе и рудовмещающих структур.

Разрывные нарушения подчиняются определенной иерархии по размерам и глубине проникновения на глубину. К общим закономерностям можно отнести существование сеток из нарушений различного масштаба, разнородность проницаемости вдоль нарушений, способность к заполнению относительно молодыми геологическими телами.

Наиболее крупные разрывные нарушения, обычно классифицируемые как глубинные разломы, проникают на глубину в сотни километров и имеют ширину до десятков километров. Разломы этого типа представляют полосы, в пределах которых образовались крупные интрузии различного состава, возникли вулканические центры. Пример схемы, образующей сеть из глубинных разломов субмеридиального и субширотного простирания в пределах Оренбургского Урала показан на рис. 14, *а* [4]. Места пересечения разнонаправленных разломов очевидно являлись наиболее проницаемыми каналами поступления из глубины рудномагматических потоков, поэтому именно в узлах сетки из разломов отмечены интрузии, вулканические аппараты и проявления рудной минерализации.

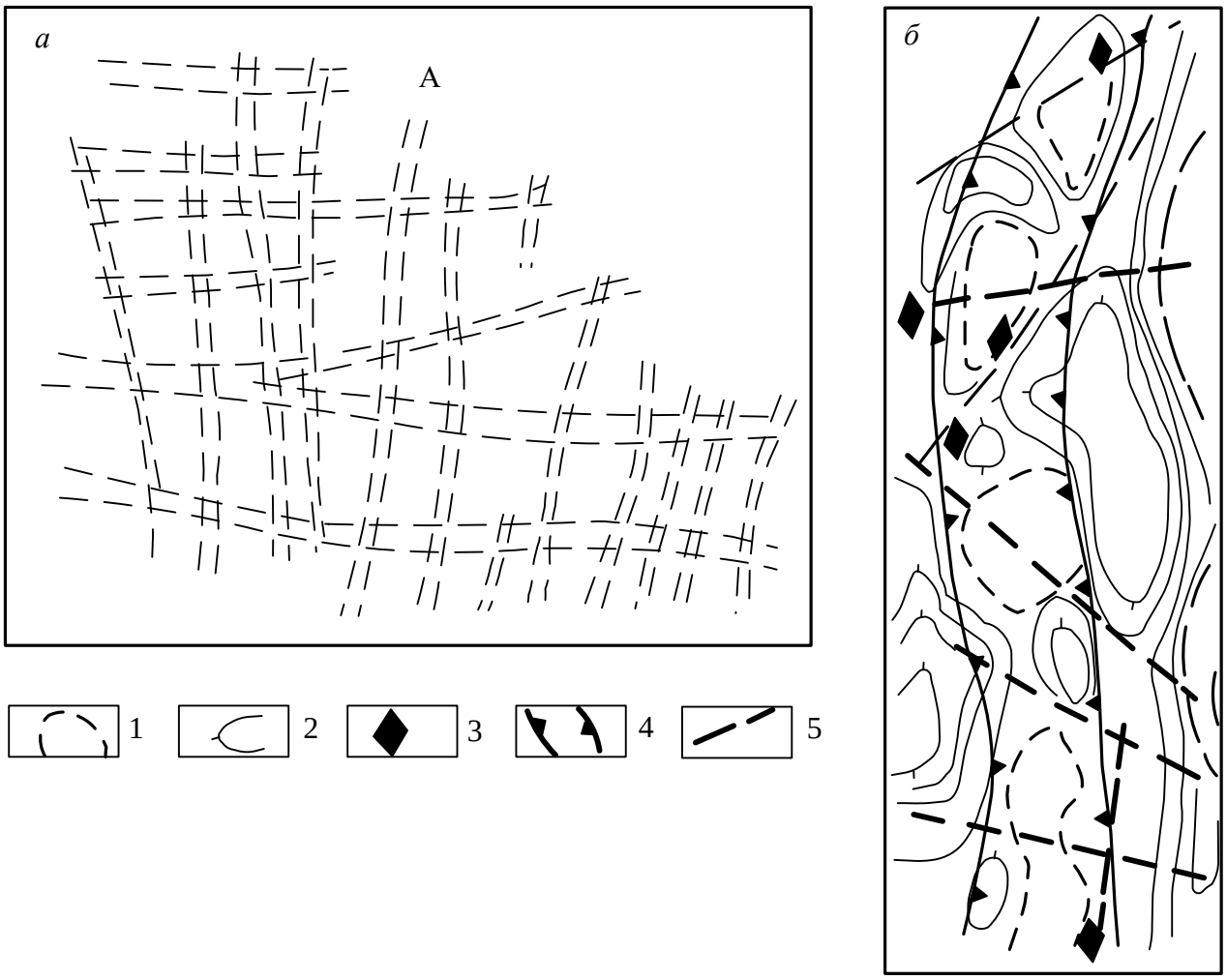


Рис. 14. Схемы сетки поясов глубинных разломов Оренбургского Урала (*а*) и Домбаровской рудной зоны в пределах Ащебутакского пояса (*б*), выделенные по данным гравиметрии (по А. М. Виноградову):
А – Ащебутакский глубинный разлом; *б*: 1 – участки отрицательных остаточных аномалий силы тяжести; 2 – некоторые изолинии положительных остаточных аномалий силы тяжести; 3 – медноколчеданные месторождения; 4 – зона магмовыводящего разлома; 5 – секущие разрывные нарушения

Гравиметрия является наиболее надежным геофизическим методом, обнаружения глубинных разломов, поскольку характеризуется наибольшей глубинностью и способностью выявлять крупные геологические тела при относительно простой технологии съемки.

На примере Домбаровской рудной зоны (рис. 14, *б*), являющейся частью Ащебутакской полосы магмовыводящего глубинного разлома (рис. 14, *а*), видно, что известные медноколчеданные месторождения расположены на периферии отрицательных остаточных аномалий силы тяжести. Последние обусловлены установленными или предполагаемыми на глубине интрузиями гранитоидов. Такое представление о

связи корневых рудных месторождений с глубинными интрузиями преимущественно кислого состава, развиваемого П. Ф. Иванкиным (см. раздел 3), разделяет и крупный специалист в области рудной геофизики Урала А. М. Виноградов [4]. Отметим также приуроченность рудных месторождений Домбаровской зоны к более мелким секущим разломам (рис. 14, *б*), что подчеркивает важность картирования данных объектов. Свой вклад в решение этой задачи может вносить детальная гравиметровая съемка.

Существуют благоприятные предпосылки выявления разломов регионального значения по данным аэросъемки. Наиболее простым является случай, когда тектонический контакт разделяет две разнородные толщи (часто это мегаблоки) с различной магнитной восприимчивостью пород. Разлом определяется по линейной узкой полосе смены знака аномалии магнитного поля типа уступ. В областях смятия разломам соответствуют полосы несогласованности ориентировки локальных аномалий и другие отличительные признаки (см. раздел 8).

По магнитным данным часто картируются тектонические зоны, пересекающие однородный комплекс кристаллических пород. Появление аномального эффекта в подобных случаях связывается с интенсивной гидротермальной проработкой пород, в результате которой сильно намагниченные образования могут утратить свои магнитные свойства. В этом случае наблюдаются линейно-вытянутые локальные по ширине понижения магнитного поля. В других случаях гидротермальная деятельность может привести к значительному обогащению тектонических зон ферромагнитными минералами, что приводит к созданию цепочек вытянутых положительных аномалий.

Накоплен солидный опыт картирования разрывных нарушений по комплексу признаков в гравимагнитных полях, имеющих общие особенности. Подборка типичных проявления в аномальных полях уходящих на глубину разломов на картах площадных съемок приведена ниже в разделе 8 (рис. 24).

Как и при наземной съемке, благоприятные условия для картирования разломов аэросъемкой возникают при проникновении в тектонические зоны интрузий основного и ультраосновного состава. В результате формируются полосы чередующихся локальных для мелкомасштабных карт аномалий, подобных показанным на рис. 14, *б*.

В комплексе с магнитной часто применяют радиометрическую съемку в аэроварианте. Данные гамма-спектрометрических измерений помогают разделить блоки пород различного состава, отличающиеся содержанием радиоактивных элементов. Нередко разломы сопровождаются линейными аномалиями гамма-поля, знак и интенсивность которых зависят от целого ряда факторов.

Сейсморазведка весьма ограниченно используется для обнаружения глубинных разломов в районах перспективных на твердые полезные ископаемые. Исключения составляют работы по отдельным профилям ГСЗ (глубинное сейсмическое зондирование). Основной вклад в изучение глубинной тектоники сейсморазведка вносит в процессе поисковых работ на углеводороды.

Существует группа глубинных разломов более высокого порядка, чем рассмотренные выше, с меньшими размерами в пространстве. Их ширина измеряется сотнями метров. Они также образуют линейные пояса с локальными интрузиями преимущественно одного формационного типа. Подобные разломы нередко выделяются совпадающими гравитационными и магнитными линейными аномалиями. Пример такого разлома, фиксирующего раздвиг в массиве сланцев, показан на рис. 15.

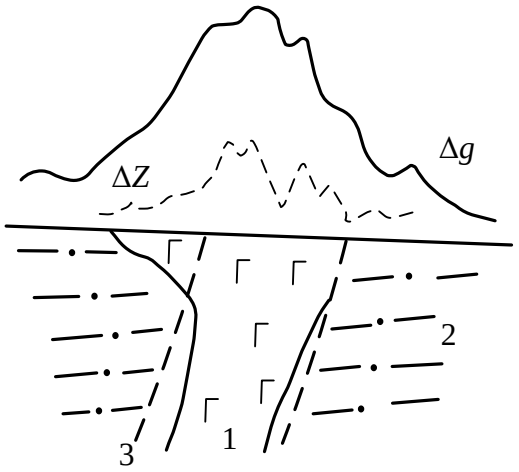


Рис. 15. Пример проявления в гравимагнитных полях разлома, заполненного базальтоидной интрузией [4]:
1 – базальтоиды; 2 – сланцы; 3 – тектонические контакты

Часто разрывные нарушения являются границами относительно жестких участков земной коры, принявшей под действием тектонических сил блоковое строение. Блоки и разделяющие их разломы могут быть различной величины в пространстве и образовываться в результате горизонтальных и вертикальных сдвигов. В этом случае в пределах блоков геологические и геофизические характеристики обладают некоторыми стабильными признаками, а на границах блоков они из-

меняются резко. Примером в этом отношении могут служить материалы, представленные на рис. 16. По нему заметно, что на тектонических границах блоков происходит смена характера гравитационного, магнитного полей и поля электросопротивления.

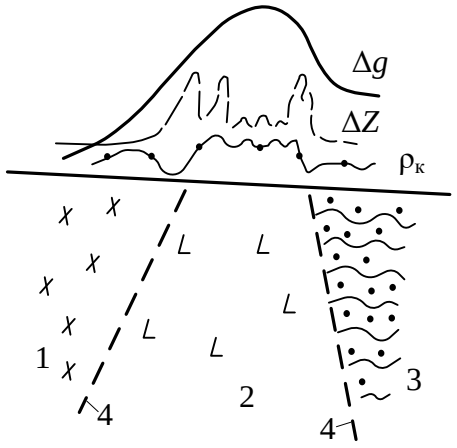


Рис. 16. Пример проявления в геофизических полях (силы тяжести, магнитном, удельного сопротивления) разрывных нарушений, являющихся границами блоков [4]:
1 – гранитоиды; 2 – вулканогенные породы основного состава; 3 – осадочные отложения; 4 – разрывные нарушения

Нередко блоковая структура проявляется в пределах однородных по составу массивов горных пород. Разрывные нарушения, являющиеся границами блоков, имеют относительно небольшую ширину (первые десятки метров и меньше) и представляют зоны трещиноватости с частично измененными дислокациями и другими процессами свойствами горных пород. В районах развития над коренными породами покровов рыхлых наносов и коры выветривания часто над зонами трещиноватости наблюдаются увеличения мощности покрова, что придает дополнительные аномальные свойства разрывным нарушениям. В верхних частях разреза, подвергшихся одновременному воздействию тектонических сил и агентов выветривания, происходит понижение значений многих физических свойств: плотности, магнитной восприимчивости, удельного сопротивления. Эти изменения обуславливают появление отрицательных аномалий гравимагнитных и электрических (кажущегося сопротивления при электропрофилировании и зондировании) полей.

Разрывные нарушения в зависимости от структуры участка и гидрогеологического режима подземных вод могут играть роль дренажной системы или, напротив, системы притока подземных вод. В первом случае над разрывным нарушением наблюдаются отрицательные, а во втором положительные аномалии естественного поля фильтрационной природы. Пример выделения разрывного нарушения комплексом геофизических методов приведен на рис. 17.

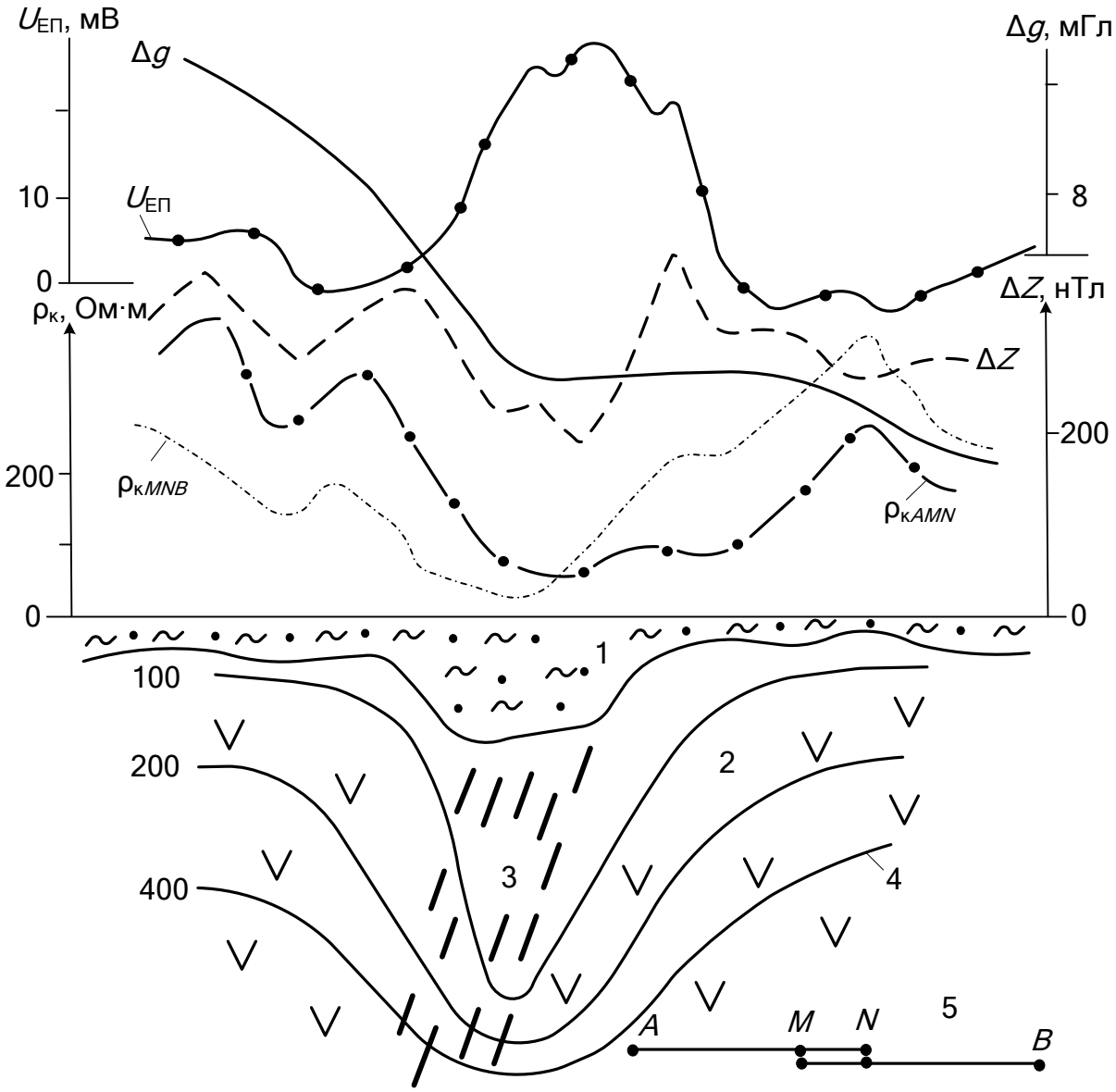


Рис. 17. Аномальные графики геофизических полей и геоэлектрический разрез, фиксирующие разрывное нарушение:
1 – рыхлые отложения; 2 – базальты; 3 – зона трещиноватости; 4 – изолинии кажущегося сопротивления геоэлектрического разреза (результаты метода ВЭЗ); 5 – установка комбинированного электропрофилирования

Приводимые на этом рисунке характеристики геофизических полей получены для относительно простой обстановки, когда тектоническое нарушение рассекает относительно однородные горные породы.

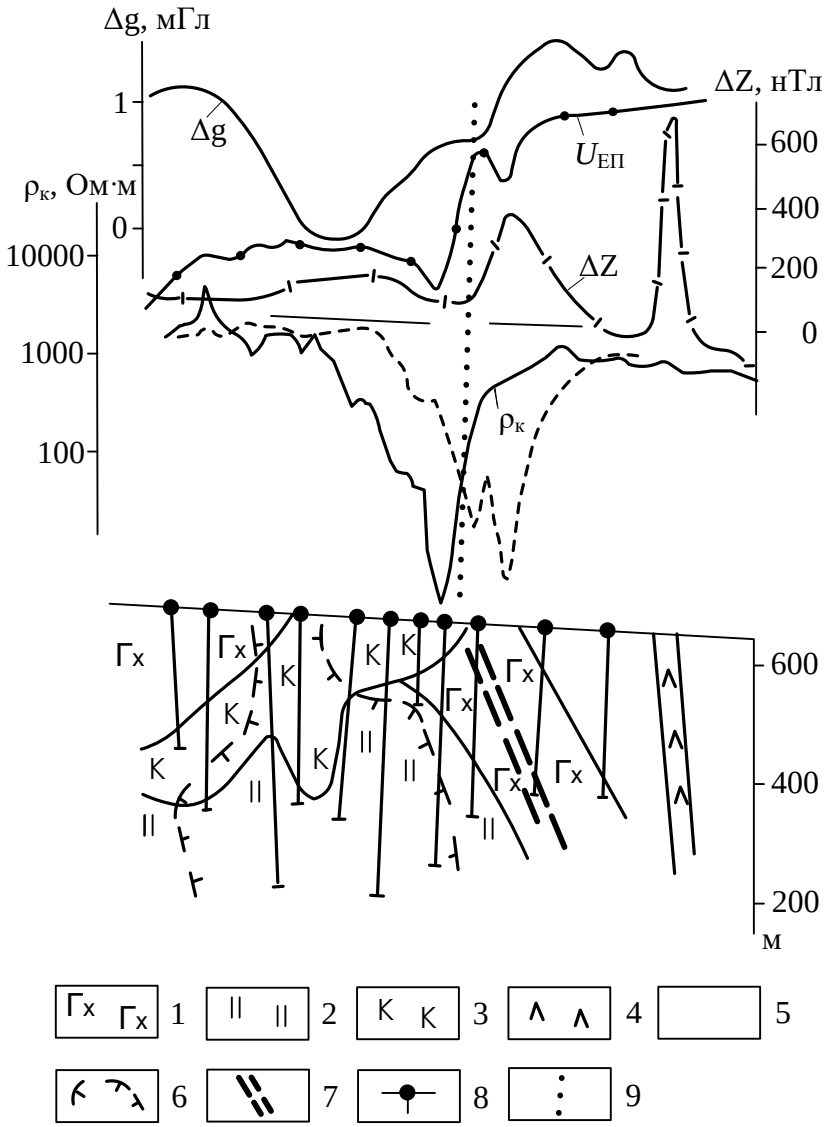


Рис. 18. Пример проявления в геофизических полях золоторудного месторождения в коре выветривания и разрывного нарушения, игравшего роль рудоподводящего канала (по материалам Северо-Енисейской геофизической экспедиции):
1 – кварц-графитистые сланцы; 2 – кварц-карбонатно-слюдистые сланцы; 3 – золотоносные коры выветривания; 4 – дайка пород основного состава; 5 – кварц-слюдистые сланцы; 6 – контур пород с повышенным содержанием золота; 7 – разрывное нарушение; 8 – скважины; 9 – корреляционная ось локальных аномалий геофизических полей над разрывом

Более интересен случай проявления разрыва на участке его действия как рудоподводящего канала. Примером в этом отношении являются материалы, представленные на рис. 18. На нем показаны графики геофизических полей, измеренные над золоторудным месторождением, сформировавшимся в коре выветривания. Рудоносные

породы отчетливо выделяются отрицательной аномалией силы тяжести как участок разуплотнения, который, видимо, существовал до начало рудообразования, и был подчеркнут изменениями при поступлении активных золотонесущих растворов. К индикаторным признакам изменений в горных породах также относятся понижения магнитного поля и удельного сопротивления, отрицательная аномалия естественного поля. Увеличивает вероятность проявления золоторудного месторождения существование в краевой части ореола измененных пород наклонного разрывного нарушения, которое фиксируется типичным набором локальных аномалий, близким по виду, тому, который наблюдается на рис. 17. Отличие состоит в том, что над разрывом в рудовмещающих породах локальные аномалии проявляются на более сложном фоне.

Наличие четких аномалий над разрывным нарушением подчеркивает важное значения этого объекта для формирования месторождения. С большой долей вероятности можно полагать, что по этому каналу трещиноватых пород и поступали к палеодневной поверхности рудоносные растворы. Просочившись в проницаемую среду они сформировали золоторудную зону, которая классифицируется как приуроченная к коре выветривания.

В условиях перекрытия разрывных нарушений мощным покровом осадочных пород или в случае слабой проявленности изменений физических свойств в зонах тектонических дислокаций существенную помощь в выявлении разрывных нарушений может оказать обобщение данных нескольких методов в форме функции комплексного показателя (см. раздел 2). В качестве примера на рис. 19 приведены результаты исследований над тектонической зоной дробления, включающей пегматитовую жилу. Тектоническая зона фиксируется четкой аномалией ФКП с максимумом равным 11,5 единиц при уровне фона для трехметодного комплекса в 3,4 единицы. По показаниям отдельных методов (радиометрии, магнитометрии и электропрофилирования) эта зона почти не проявлена.

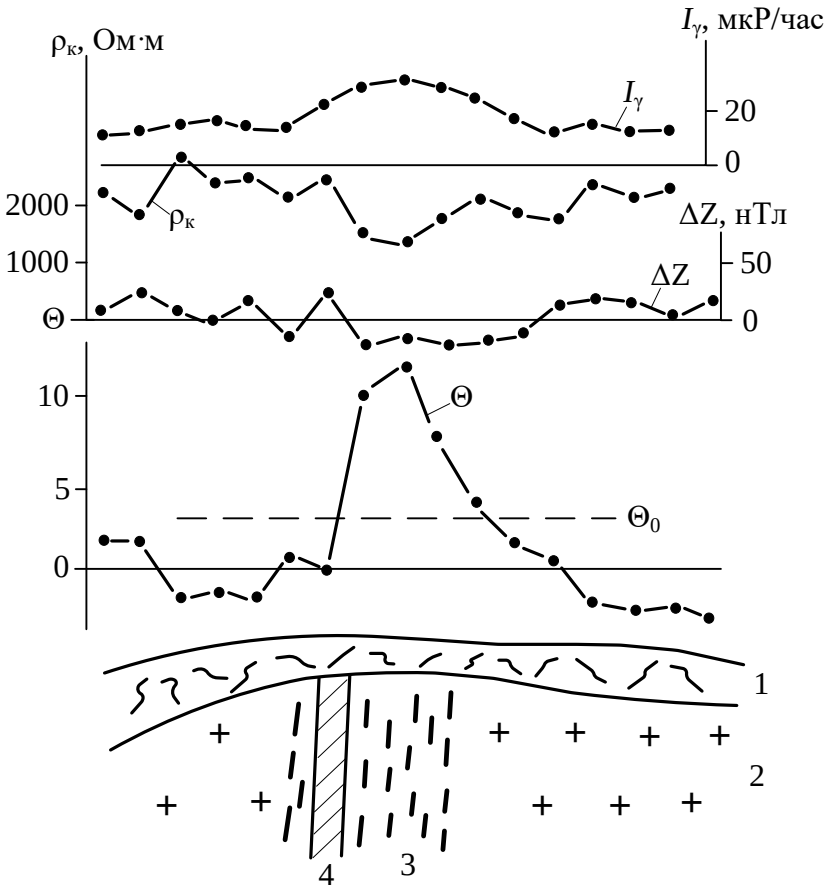


Рис. 19. Графики наземной гамма-съемки, электропрофилирования и магниторазведки над зоной дробления, включающей пегматитовую жилу, обобщенные способом построения ФКП (по Г. С. Вахромееву):
1 – элювиальные отложения, 2 – граниты; 3 – зона дробления; 4 – пегматиты

Определенную помощь в выделении разрывных нарушений особенно на стадии поисков рудных месторождений может оказать малоизвестный способ картирования горных пород по вектору градиента электропроводности [12]. Доказано, что многие геологические тела, включая зоны смятия, трещиноватости, ореолы околорудных изменений и др., характеризуются областями изменений электропроводности, что, как было показано на приведенных ранее примерах (рис. 10, 17, 18), позволяет успешно применять для их выделения методы электрометрии. Отличительным свойством рассматриваемого метода является способность измерять новый параметр – градиент кажущегося удельного сопротивления (в дальнейшем сопротивления), а также выявлять геологические образования, когда над ними не окажется ни одной точки наблюдения.

Для практической реализации метода рекомендуется крестообразная установка. Она включает питающий электрод *A*, а также две

пары приемных электродов M_1 N_1 и M_2 N_2, расположенных на взаимно перпендикулярных линиях. Каждый из приемных электродов удален от центра (A) установки на одинаковое расстояние r. Отрицательный питающий электрод относят, как и в методе заряда на значительное расстояние. Для определения направления наиболее резкого падения сопротивления $\Delta\rho_r$ в окрестностях установки строят вектор по измеряемым составляющим (разностям потенциалов) ΔU_1 и ΔU_2, оси для которых направлены из A на приемные электроды N_1 и N_2. Значение $\Delta\rho_r$, которое согласно теории метода представляет разность сопротивлений в центре установки и минимальным сопротивлением на окружности радиуса r, вычисляют по формуле:

$$\Delta\rho_r = 2\pi r J^{-1}(\Delta U_1^2 + \Delta U_2^2)^{1/2}. \quad (7)$$

Величина градиента сопротивления равна $\delta\rho_r = \Delta\rho_r / r$.

Крестообразная установка рекомендуется не для детальных исследований, а для выделения на исследуемой площади главнейших аномальных по электропроводности объектов, к каким относятся и разрывные нарушения. Съемку можно проводить по редкой и нерегулярной сети с радиусами измеряемыми сотнями метров. При картировании геологических образований руководствуются типичными картинами поведения векторов градиента и перпендикулярным им изолиниям сопротивления [12]. Естественно, что изолинии должны оконтуривать участки, на которых происходит изменение электропроводности горных пород. Так разрывные нарушения должны иметь линейную форму изолиний сопротивления и систему векторов градиента, перпендикулярных простиранию разрыва.

На рис. 20 приведены результаты, полученные на территории, включающей медноколчеданное месторождение. Исходные данные для построения векторов градиента сопротивления получены И. М. Петруниным. В пределах изученной площади по векторам градиента и изолиниям сопротивления (перпендикулярным векторам) выделяются главные элементы рудоносной структуры: субмеридиональная зона смятия (фиксируемая комплексом геофизических методов и подтвержденная бурением), игравшая роль рудоподводящего канала, оперяющее секущее тектоническое нарушение со следами околорудных изменений в боковых породах (рудораспределяющий канал) и само месторождение. Отметим, что на изученной площади зафиксированы другими геофизическими методами многочисленные аномалии, создающие сложную для расшифровки картину.

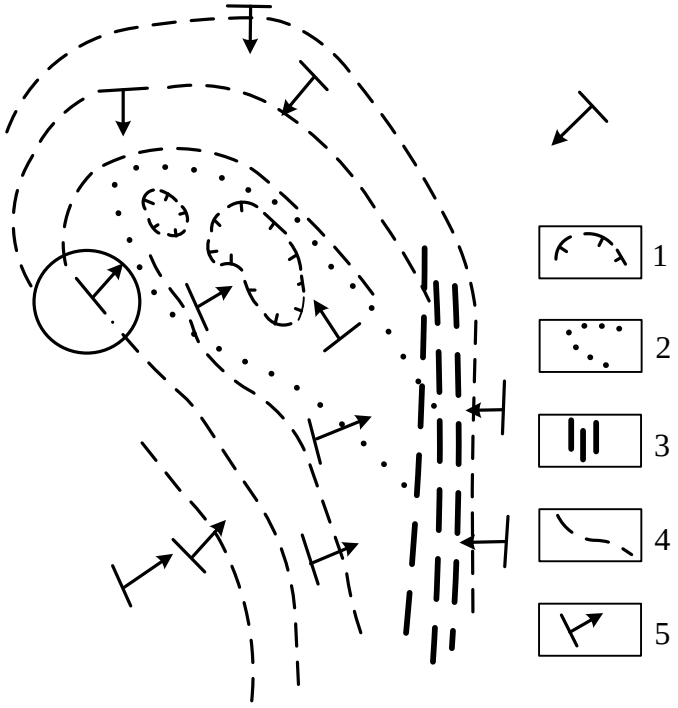


Рис. 20. Результаты измерений градиента электропроводности на южноуральском медноколчеданном месторождении:
1 – контуры рудных залежей; 2 – контуры ореола околорудных изменений; 3 – тектоническая зона смятия; 4 – изолинии удельного сопротивления; 5 – векторы градиента электропроводности

Завершая тему выбора геофизического комплекса для выделения разрывных нарушений, еще раз подчеркнем необходимость учитывать их иерархию, сложность структуры объектов из-за насыщенности внедрившихся в ослабленные зоны более локальных по размерам геологических тел, типичные размеры разрывов различного порядка и возможности их выявления разноглубинными методами.

Пример формирования поискового комплекса геофизических методов

Рассмотрим пример формирования геофизического комплекса на примере детальных поисков урановых месторождений в условиях геологической среды, представление о которой дает геологическая модель, изображенная на рис. 6, *а*. Планируются поиски эндогенных месторождений секущего типа в пределах складчатой области в условиях развития разнообразных по составу и возрасту пород (субинтрузии магматических пород в толщах осадочных отложений и метаморфизованных комплексов). Мощность рыхлых отложений не пре-

вышает 30 м. Оруденение локализуется в пределах наиболее проницаемых разностей осадочных и метаморфических пород. Положение рудных залежей контролируется системами разрывных нарушений. Вдоль рудоконтролирующих систем развиты ореолы гидротермально измененных пород с проявлением сульфидной минерализации и процессов окисления продуктов метасоматоза. В периферийной части этих ореолов отмечается увеличение концентрации темноцветных минералов с повышенной магнитной восприимчивостью. Внутри ореолов, напротив, превалируют щелочные минералы с ухудшением магнитных свойств. Рудные скопления образуют крутопадающие линзо- и жилообразные, реже штокверкоподобные залежи.

На основе опыта применения геофизических методов для поисков месторождений урана данного типа в справочной литературе рекомендуется следующий типовой комплекс для масштабов съемки 1:10000 и крупнее [2].

Геофизические методы, применяемые при детальных поисках урановых месторождений секущего типа

Метод	Решаемые задачи	Особенности геофизических полей
Гамма-съемка спектрометрическая	Обнаружение урановой минерализации, картирование интрузивных массивов	Гамма-аномалии
Эманационная съемка (шпуровая)	Выявление ореолов рассеивания урана	Локальные аномальные зоны
Гравиразведка	Картирование субинтрузий, крупных разрывных нарушений	Положительные аномалии над субинтрузиями, ослабление поля над зонами разломов
Магниторазведка	Картирование субинтрузий, обнаружение признаков ореолов гидротермалитов	Положительные аномалии над субинтрузиями, нарушение корреляции магнитных и гравиметровых аномалий над ореолами
Электроразведка (ЭП, ВЭЗ, ВП, заряд, ЕП, ЗСП, МПП и др.)	Литолого-петрографическое картирование, прослеживание рудоносных ореолов, зон трещиноватости, участков окисления и восстановления в зонах минерализа-	Дифференциация пород по удельному сопртивлению от высокоомных субинтрузий до низкоомных метасоматитов и зон трещиноватости, выявление участ-

	ции, определение мощностей рыхлых отложений и коры выветривания.	ков с сульфидной минерализацией как признака околорудных изменений
Сейсморазведка	Расчленение геологического разреза на глубину	Выделение границ толщ, фиксация зон тектонических нарушений в разрезе

Поиски начинаются со специализированного геологического картирования, задача которого является уточнение существующих геологических карт в масштабах 1:25000 и 1:10000 с последующей локализацией площадей под поиски. Основными являются гравиразведка, магниторазведка, электропрофилирование по системе редких профилей, метод ВЭЗ в отдельных точках в помощь электропрофилированию, радиометрия. По результатам предварительной интерпретации материалов съемки всех геофизических методов строятся прогнозные разрезы, для уточнения которых задаются мелкометражные скважины.

Интерпретация геофизических данных осуществляется с целью выделения и оконтуривания участков проявления поисковых признаков, преимущественно косвенных. На выявленных перспективных площадях проводятся детальные поиски масштаба 1:5000 и 1:2000 в комплексе с разведочным бурением, проходкой канав. На этих площадях сгущается сеть ранее применявшихся методов, в комплекс вводятся детализационные методы: заряда, ВП, ЕП, эманационная съемка в шпурах и мелких скважинах. В глубоких скважинах выполняются каротажные работы комплексом методов, включая метод ГК.

Эффективность комплекса поисковых геофизических методов показана на примере материалов, на основе которых сформирована ФГМ для одного из районов, в пределах которого было открыто урановое месторождение (см. раздел 3).

6. ТОЧНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЙ

Вопрос о точности наблюдений возникает как в период проектирования геофизических работ, так и по их завершении. При планировании точности наблюдений необходимо знать уровень аномалий от объектов, представляющих интерес для решения стоящих задач, погрешности измерений, которые возникают при применении имеющейся аппаратуры и планируемой технологии измерений, а также вероятный диапазон геологических помех, типичный для фоновых образований из-за их неоднородности.

Сведения об интенсивности аномалий, подлежащих обнаружению, получают исходя из анализа сформированной ФГМ и опыта предшественников. Обычно ориентируются на некоторую минимальную по интенсивности аномалию, которая характерна для объекта,п представляющего интерес при решении поисковой задачи.

Необходимо учитывать, что искомую аномалию придется обнаруживать на фоне нормального поля, присущего среде, вмещающей искомый аномалиеобразующий объект. Нормальное поле всегда имеет некоторую дисперсию D_0, которую можно охарактеризовать через среднеквадратичную погрешность измерения нормального поля S_0, поскольку $D_0 = S_0^2$. Как уже отмечалось в разделе 2, величину S_0 можно оценить несколькими способами. К стандартным относится аналитический способ, основанный на использовании данных n измерений поля А в пределах фоновой среды и формулы (1). В случае малой выборки вместо n применяют значение $n–1$.

Дисперсия значений в пределах нормального поля слагается из дисперсии геологических помех $S_{Г,}$ вызванных неоднородностью фонового объекта, и дисперсии показаний, связанных с аппаратурно-методическими (условно приборными) погрешностями измерений $S_П$. Поэтому общая дисперсия измерений фона равна: $S_0^2 = S_Г^2 + S_П^2$.

Приборная погрешность оценивается по результатам независимых контрольных n измерений поля по формуле

$$S_п = \pm\sqrt{\sum_1^n (A_1 - A_2)^2 / (2n-1)},$$

A_1 и A_2 – соответственно первичное и контрольное измерение на i-ой точке.

По величине составляющей $S_Г$, которая равна $S_Г = (S_0^2 - S_П^2)^{1/2}$, получают представление о влиянии геологических помех.

Для успешного выделения аномальных значений A_a, как это уже отмечалось в разделе 2, необходимо чтобы выполнялись условия: $A_a < (\bar{A}_0 - 2 S_0)$ или $A_a > (\bar{A}_0 + 2 S_0)$. В первом случае выделяется отрицательная, а во втором случае положительная аномалии.

Для снижения общей погрешности измерений S_0 руководствуются следующими положениями [1,3].

1. Если $S_Г > S_П$, то для снижения $S_Г$ полезным оказывается применение специальных методов обработки данных съемки с целью подавления геологических помех, носящих часто случайный характер. Например. простое сглаживание измеренного поля по N точкам уменьшает $S_Г$ почти в N раз.

2. Если $S_П > S_Г$, то есть смысл применить более точную аппаратуру или усовершенствовать технологию измерений. Например, за счет многократного (N кратного) измерения поля на одной точке и использования осредненного его значения удается уменьшить величину $S_П$ приблизительно в $\sqrt{N}$ раз.

Среднеквадратичная приборная погрешность $S_П$ вычисляется по результатам каждой съемки. Обычно планируется для выполненного объема наблюдений провести приблизительно в 5 % точках контрольные измерения.

7. ОБОСНОВАНИЕ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ

Как правило, сеть наблюдений представляет систему параллельных профилей, на которых намечаются с определенным шагом точки наблюдения. Условно принимают, что профили параллельны оси x и перпендикулярны оси y. Тогда расстояния между профилями – Δy, а между точками – Δx.

Обычно геофизическая съемка проводится в помощь геологическому картированию определенного масштаба. Исходя из этого масштаба расстояние между профилями должна составлять на отчетной карте съемки 1 см. Например, при масштабе 1:50000 необходимо иметь Δy = 500 м. Шаг наблюдений обычно в 2 раза меньше межпрофильного расстояния. В рассматриваемом примере Δx = 250 м.

При непрерывной регистрации характеристик физического поля (на борту самолета, вертолета, судна, автомобиля) в силу инерционности регистрирующей аппаратуры условным шагом съемки можно

считать величину $\Delta x = V \cdot \tau$, учитывающую скорость и постоянную времени движущегося измерителя.

В условиях резкой изменчивости свойств геологической среды масштаб геофизической съемки может быть принят вдвое крупнее, чем для геологического картирования.

При проектировании поисковых геофизических работ, проводимых, как правило, в масштабах 1:10000 и 1:5000, необходимо предвидеть вид и величину ожидаемых аномалий от объектов, представляющих первоочередной интерес для решения поисковой задачи. Этими объектами могут быть не только тела полезных ископаемых, но и связанные с ними генетически и пространственно малые интрузии, разрывные нарушения, ореолы околорудных изменений и др., имеющие обычно меньшую контрастность по аномальным признакам. Представления о форме и размерах аномальных зон искомых геологических объектов формируются на основе анализа ФГМ.

Сеть наблюдений выбирают такой, чтобы в контур аномальной зоны попал хотя бы один профиль с двумя точками наблюдений, на которых аномальный объект будет зафиксирован.

Существует возможность теоретически оценить вероятность P обнаружения объекта [1, 6]. Обычно форму аномальной зоны объекта отождествляют с эллипсом, оси которого равны L (длина зоны) и B (ширина зоны). В наиболее простом случае вероятность пересечения аномальной зоны одним из профилей, ориентированных перпендикулярно большой оси (т.е. вкрест простирания), когда $L \leq \Delta y$, выражается простой дробью: $P = L / \Delta y$. При неизвестной ориентировке такого объекта вероятность его пересечения определяется классическим решением «задачи об игле», сформулированной монахом Ж. Бюффоном еще в 18 веке:

$$P = 2L/\pi\,\Delta y. \qquad (7)$$

Можно отметить, что только за счет неизвестной ориентировки объекта поисков по отношению к направлению съемочных профилей при $L=\Delta y$ вероятность его обнаружения снижается с 1 до $P = 2/\pi = 0{,}637$.

Если известен угол β отклонения профилей от нормали к простиранию объекта в радианах, то при $L \leq \Delta y$ вероятность обнаружения объекта равна:

$$P = L \sin\beta / (\beta \Delta y). \qquad (8)$$

Полезно заметить, что для значения $\beta = \pm \pi/6$ величина $\frac{\sin\beta}{\beta} = 0{,}955$, т.е. мало отличается от 1. Поэтому на практике достаточно чтобы сеть профилей была ориентирована только приближенно правильно. Если это условие соблюдается, то при $\Delta y = 0{,}9\,L$ пересечение аномальной зоны профилем гарантированно.

Общее решение задачи о вероятности пересечения контура аномалии профилем при произвольном значении угла β, когда $L / \Delta y \geq 1$, приводит к выражению:

$$\mathrm{P} = \frac{2}{\pi}\left[\frac{L}{\Delta y} + \cos^{-1}\frac{\Delta y}{L} - \sqrt{\left(\frac{L}{\Delta y}\right)^2 - 1}\right]. \qquad (9)$$

При $L = \Delta y$ снова получаем $\mathrm{P} = 2/\pi = 0{,}637$.

Общее выражение для вероятности пересечения аномальной зоны эллиптического вида с осями L, В и периметром П при произвольной ориентировке профилей съемки имеет вид:

$$\mathrm{P} = \Pi/\pi\Delta y, \qquad (10)$$

$$\Pi = \frac{\pi}{2}\left[1{,}5(L + \mathrm{B}) - \sqrt{L \cdot B}\right]. \qquad (11)$$

Две точки профиля, пересекающего аномальную зону, окажутся внутри ее контура, если $\Delta x \leq \mathrm{B}/2$.

Для более скурпулезной оценки вероятности P имеется серия номограмм, учитывающих возможные варианты соотношения размеров контура аномалии, параметров сети и углов β [1, 3].

Оценим для примера вероятность обнаружения аномальной зоны размером 200×50 м сетью с ячейкой 100×25 м при неизвестном простирании оси зоны. В этом случае L = 200 м, Δy = 100 м. и по формуле (9) получим P = 0,83. С использованием специальных номограмм можно установить, что объект будет обнаружен с вероятностью P = 1, если отклонение профилей от нормали к простиранию объекта будет меньше 60°.

Следующая задача может быть сформулирована в виде задания. Необходимо определить какого минимального размера аномальная зона с неизвестным простиранием может быть обнаружена с помощью сети размером в м 250×50. Для решения найдем величину периметра зоны П из формулы (10) для случая P = 1, полагая В = 100 м и Δy = 250 м. Эта величина равна П = 785 м. Решая уравнение для П от-

носительно L (методом подбора или составив квадратное уравнение относительно $\sqrt{L}$), получим искомую величину: L = 360 м.

На стадиях детальных поисков и разведки сеть наблюдений бывает самой разнообразной. Помимо прямоугольной сети при детальных съемках возможно проложение радиальных и криволинейных профилей, допустимо отклонения от равномерности изучения площади съемки. Повышенная детальность принята для интерпретационных профилей, шаг наблюдений на которых допустимо устанавливать таким, чтобы выявить характерные точки измеряемого физического поля (экстремумы, точки перегиба, перехода через ноль и т. п.). Обычно пункты наблюдения сгущают в районе эпицентра аномалий и разряжают на участках выхода в нормальное поле. В результате детальных работ необходимо установить конфигурацию, размеры аномалии, ее амплитуду и другие особенности, которые затем используют в процессе интерпретации.

Шаг наблюдений подбирают с таким расчетом, чтобы при аппроксимации поля между двумя фиксированными точками прямой линией отклонение фактических его значений от этой прямой не превышало 5 % средней величины значений поля. Например, при съемке естественного поля с шагом 20 м амплитуда аномалии составила 58 мВ, откуда следует, что среднее значение аномалии на профиле приблизительно равно 29 мВ. Между двумя рядовыми точками съемки, на которых получены значения 27 и 39 мВ, выполнено промежуточное измерение с результатом 36 мВ. Разница между последним значением и средней величиной рядовых измерений равна 3 мВ, что составляет 10,3 % от среднего значения аномалии. Следовательно, необходимо сгустить сеть, уменьшив шаг наблюдений по крайней мере в 2 раза.

8. ВЫДЕЛЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ И ИХ КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Конечным результатом геофизических съемок является выявление и геологическое истолкование тех неоднородностей геологической среды, которые по размерам и контрастности свойств способны создавать ощутимые аномалии.

Важнейшими проблемами анализа измеренных полей являются исключение или ослабление их составляющих, связанных с влиянием

геологических помех, разделение выделенных на фоне помех аномалий на региональные и локальные (возможно нескольких порядков). Необходимы классификация выделенных аномалий на перспективные (отвечающие целевым задачам) и неперспективные, выполнение качественной и количественной интерпретация аномалий и определение их геологической природы.

Выделение аномалий

При анализе поля А принимается аддитивная (суммирующая) его модель, согласно которой существующая в рядовой точке функциональная величина аномалии $A_а$ имеет региональную $A_{ар}$, локальную $A_{ал}$ и случайную $A_{ас}$ (помеха) составляющие:

$$A_а = A_{ар} + A_{ал} + A_{ас}. \quad (12)$$

Помехи обычно отождествляют со случайными функциями и эта их особенность позволяет применять специальные методы математической фильтрации, основанные на исключении составляющих поля с высокочастотным спектром и некоррелируемостью характеристик поля по площади. Простейшей операцией по ослаблению случайной составляющей является сглаживание в окне из нескольких точек. Если взять 5 точек и применить полином третьей степени, то формула для сглаживания измеренных значений А в рядовой точке с номером *i* с использованием данных по соседним точкам имеет вид:

$$A_{сгл}(i)=0{,}486A(i)+0{,}343\{A(i+1)+A(i-1)\}-0{,}086\{A(i+2)+A(i-2)\}. \quad (13)$$

Процедура сглаживания приводит к уменьшению дисперсии фона главным образом за счет снижения геологической погрешности при незначительном изменении неслучайной аномалии. В результате уменьшения общей среднеквадратической погрешности наблюдений увеличивается контрастность аномалии и, следовательно, улучшаются условия для ее выделения.

Примером могут служить результаты выделения слабой аномалии кажущейся поляризуемости, приводимые на рис. 21. Согласно исходным измерениям (график *а*), диапазон колебаний фоновых значений $\eta_к$ составляет 0,5-2,5 % , а среднее значение равно 1,5 %. Выше верхнего предела фона зафиксированы 2 точки со значениями около 3 %. Полагая, что аномальные значения в этих точках равны 1,5 %, а среднеквадратичное отклонение для фона составляет 0,5 %, вычисленный показатель контрастности аномалии (см. (6)) для данных условий равен 3.

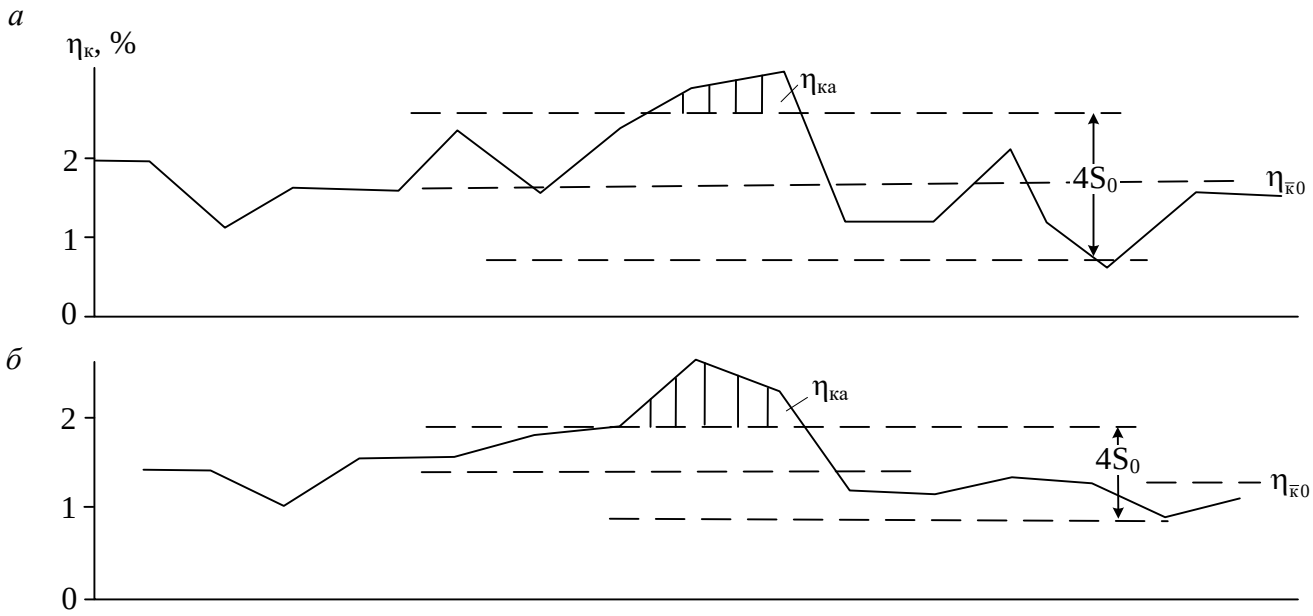


Рис. 21. Результаты выделения слабой аномалии кажущейся поляризуемости $\eta_к$ по данным измеренного поля (график *а*) и после его сглаживания (график *б*)

После сглаживания исходного графика $\eta_к$ по 5 точкам (график *б*), фоновые значения находятся в пределах 1-2 % при среднем 1,5 %, а аномальные значения остаются близкими к 3 %. Заметно, что на сглаженном графике аномалия проявляется более отчетливо. Этот эффект подтверждается и вычислением показателя контрастности, который становится близким к 6, то есть увеличивается в 2 раза относительно первоначального значения.

В инструкциях по ряду полевых методов к достоверной (надежность 99,5 %) аномалии относятся такие совокупности значений в не менее чем 3 точках, для каждого из которых выполняется условие: $A_a/S_0 \geq 3$. Если за аномалию принимать значения в 2 раза превышающее среднеквадратическую погрешность фона, то есть $A_a/S_0 \geq 2$, то надежность выделения такой аномалии согласно теории вероятности составляет 95 %. Оценивая надежность с точки зрения энергетического отношения аномалия/помеха, получим для последнего условия 82 %.

При выделении геофизических аномалий в общем случае проводится разделение региональных и локальных аномалий, отличающихся областью их проявления. Наилучшие условия разделения этих аномалий существуют в случае резкого их различия по размерам и интенсивности. В зависимости от целевой задачи подавляется либо одна либо другая составляющая геофизического поля. Нередко инте-

рес представляют как региональные аномалии, отражающие крупные структурные особенности геологической среды, так и локальные аномалии, которые связаны с влиянием мелких геологических тел, например рудных залежей.

Выделение региональных аномалий проводится на основе сглаживания наблюденного поля, предполагающего существенное ослабление влияния помех и локальных объектов. К основным способам выделения региональных аномалий относятся следующие.

1. Усреднение поля вдоль профилей или по площади. Часто используют поточечное усреднение в пределах круга определенного радиуса.

2. Тренд-анализ, под которым понимается процедура аппроксимации эмпирических данных вполне определенными функциями, аргументами которых являются координаты точек наблюдения. Аппроксимация может осуществляться с помощью алгебраических полиномов, как правило, невысоких степеней. При кусочно-полиноминальной аппроксимации применяют сплайн-функции, представляющие кубические полиномы для ограниченных участков площади.

3. Пересчет в верхнее полупространство позволяет существенно ослабить влияние небольших геологических неоднородностей и упростить процесс интерпретации региональной аномалии, которая проявляется более отчетливо.

Локальные аномалии определяют после исключения из измеренного поля региональной составляющей. Для того чтобы подчеркнуть существование локальной аномалии осуществляют пересчет измеренного поля в нижнее полупространство и вычисляют производные высшего порядка. Это позволяет усилить высокочастотную составляющую, связанную с геологическими телами небольших размеров.

Пример совместного проявления региональной и локальных аномалий в поле силы тяжести в районе медноколчеданного месторождения показан на рис. 22. На фоне плавного почти линейного уменьшения поля Δg в краевой части крупного массива базальтов (основные породы с повышенной плотностью) фиксируется локальная отрицательная аномалия (условно первого порядка), связанная с субинтрузией гранитоидов (породы кислого состава менее плотные по сравнению с базальтами). Региональная аномалия от массива ба-

зальтов показана на рис. 22, *б* штриховой линией ($\Delta g_р$). В висячем боку субинтрузии гранитоидов внутри зоны гидротермально измененных пород (метасоматиты с минимальной для разреза плотностью) находится рудная залежь (с максимальной для разреза плотностью). Ореол метасоматитов создает отрицательную аномалию (условно второго порядка), на фоне которой проявляется локальная положительная аномалия (условно третьего порядка) от рудной залежи. Для наглядности все три локальные аномалии (1, 2, 3) изображены отдельно на рис. 22, *в*.

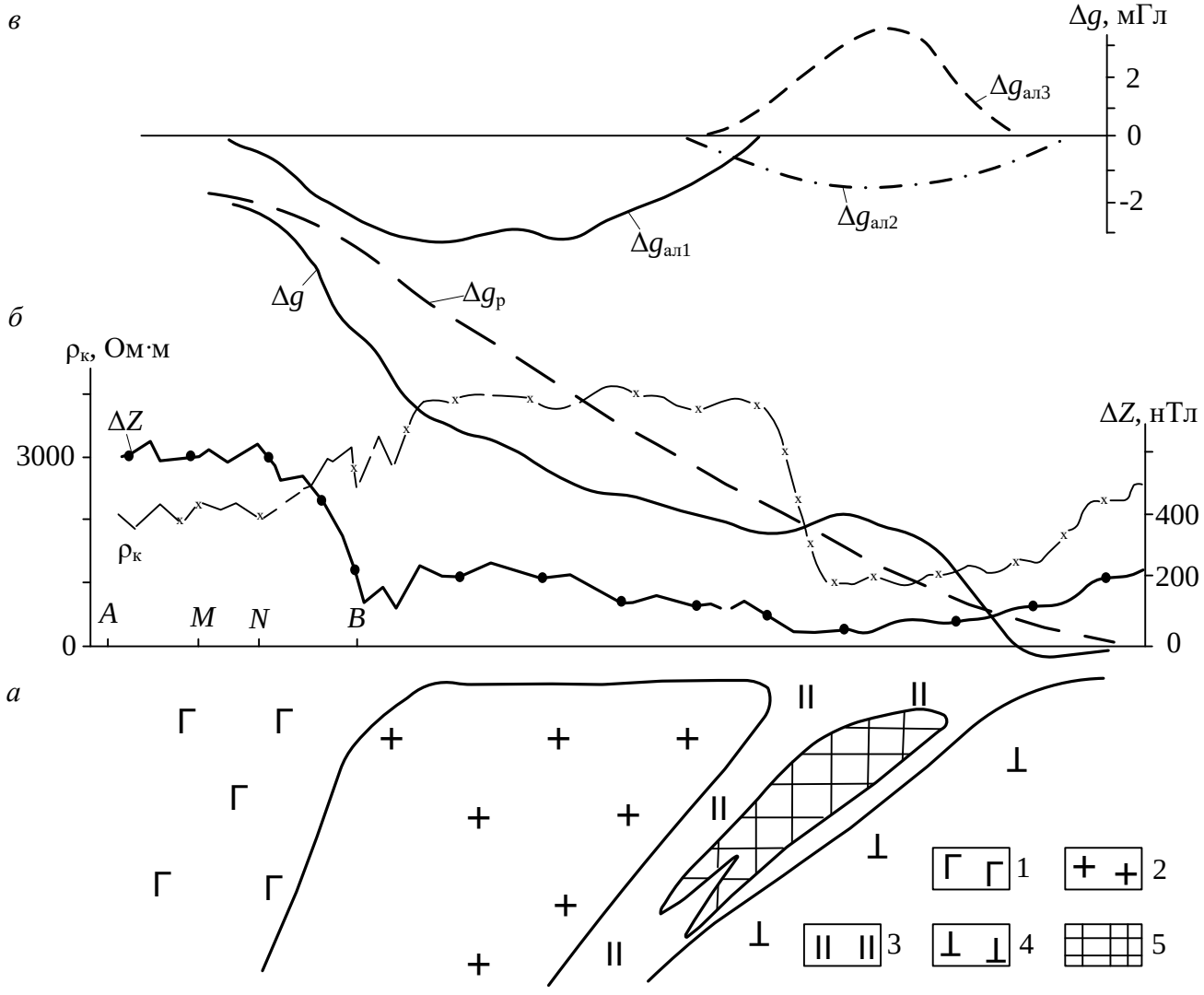


Рис. 22. Пример сложной аномалии силы тяжести, которая в совокупности с данными магниторазведки и электроразведки отражает присутствие в разрезе медноколчеданного месторождения комплекса геологических тел:
а – геологический разрез: 1 – базальты; 2 – гранитоиды; 3 – гидротермально измененные породы; 4 – туфы; 5 – руды; *б* – графики измеренного поля силы тяжести (Δg) и его регионального фона($\Delta g_р$), магнитного поля (ΔZ), удельного сопротивления ($\rho_к$); *в* – графики локальных аномалий поля силы тяжести, отражающие присутствие в раз-

резе субинтрузии ($\Delta g_{ал1}$), зоны гидротермально измененных пород ($\Delta g_{ал2}$), рудной залежи ($\Delta g_{ал3}$)

О существовании нескольких локальных аномалий поля силы тяжести можно предположить по данным других геофизических методов. Так присутствие субинтрузии гранитоидов, которым соответствует обширная отрицательная локальная аномалия гравитационного поля (1), отчетливо фиксируется ступенчатым понижением магнитного поля относительно уровня, характерного для базальтов, и увеличением в этом районе кажущегося сопротивления. Выход к дневной поверхности зоны гидротермально измененных пород, которому соответствует локальная отрицательная аномалия (2), совпадает с областью минимальных значений магнитного поля и кажущегося сопротивления, что является довольно типичным признаком для ореолов околорудных изменений. Существование в этой же области слабой локальной положительной аномалии силы тяжести (3) является следствием влияния рудных масс с аномально высокой плотностью. Слабость влияния рудной залежи связано с тем, что над ее верхней кромкой залегают низкоплотные породы (метасоматиты и кора выветривания), а также эффектом наложения положительной аномалии от руды на более обширную отрицательную аномалию от зоны гидротермалитов.

Необходимо подчеркнуть важность разделения аномалий силы тяжести, поскольку результаты их количественной интерпретации позволяют сформировать представления о пространственных контурах геологических тел, создающих эти аномалии. Данные же большинства других методов имеют значение для картирования неоднородностей в верхней части разреза.

Принципы комплексной интерпретации геофизических аномалий

Цель комплексной интерпретации данных различных методов состоит в том, чтобы выполнить классификацию геологических объектов, создающих достоверные аномалии, уделяя первоочередное внимание перспективным аномалиям.

Использование эталонных аномалий. Комплексная интерпретация может осуществляться с помощью как аналитических, так и вероятностно-статистических методов. Первым этапом интерпретации является построение рабочих (интерпретационных) физико-геологических моделей, которые позволяют задать некоторые априорные рамки и сузить неопределенность решения обратной задачи, выбрав

наиболее вероятные варианты. В аналитических способах комплексной интерпретации геологические объекты и их параметры для ФГМ задаются в виде начальных приближений итерационного цикла решения обратной задачи. Интерпретатор должен представлять вид типичных аномалий, характерных для некоторого класса моделей геологических тел, подходящих для условий изучаемой среды. При этом учитываются ограничения, которые вытекают из представлений об априорной ФГМ и данных, полученных применявшимися геологическими (результаты проходки канав, шурфов, скважин), геохимическими и геофизическими методами.

Примером приемов решения обратных задач на участке проведения съемки методом заряда служит геологический разрез, построенный на основе комплексной интерпретации аномального поля заряда с учетом данных измерений магнитного поля и проходки скважин глубокого и картировочного бурения (рис. 5, *б*). При интерпретации аномального поля заряда использован набор некоторых теоретических аномалий электрического потенциала над типовыми объектами геологических разрезов рудных полей, приведенный на рис. 23.

Пособием по интерпретации локальных аномалий комплекса геофизических методов может служить таблица-схема, представляющая подборку аномалий от тел простейшей геометрической формы с аналитическими выражениями для вычислений полей в некоторых характерных точках (приложение 1).

Традиционными являются приемы визуального сопоставления аномалий, выделяемых по различным измеренным физическим полям. При анализе аномалий ориентируются по совпадению определенных признаков на установлении меры аналогии исследуемых и эталонных объектов. В качестве эталонов используют геологические тела, детально изученные как геофизическими, так и геологическими методами, подтвержденные бурением и горными выработками.

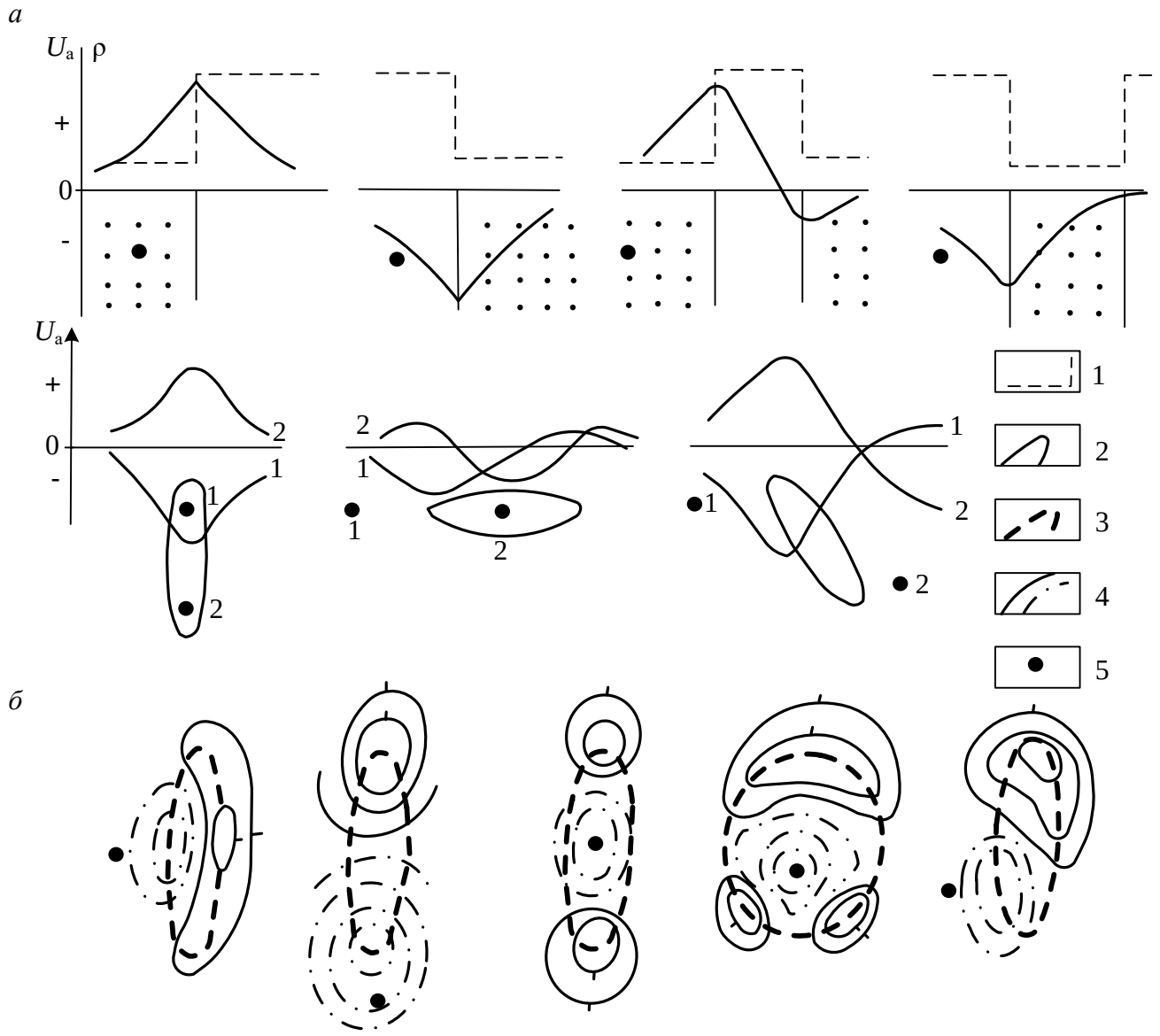


Рис. 23. Графики (*а*) и планы изолиний (*б*) аномального электрического потенциала (U_a) поля заряда в присутствии пластовых и сфероидальных тел:
1 – графики удельного сопротивления (ρ) слоистых сред; 2, 3 – погруженный сфероидальный проводник в разрезе (2) и плане (3); 4 – изолинии положительного (сплошные линии) и отрицательного (штрихпунктирные линии) аномального потенциала; 5 – заряд

Фактически задача подготовки к комплексной интерпретации сводится к созданию физико-геологических моделей типовых объектов-эталонов. Например, составляется сводка признаков, по которым могут быть откартированы тектонические нарушения. К их признакам обычно относят: отрицательные аномалии гравитационного, магнитного полей, кажущегося сопротивления, связанные с разрыхлением пород в зоне нарушения, увеличением над ним коры выветривания. В ряде случаев нарушениям в плане соответствуют узкие полосы

резкого изменения поля, связанного с различием свойств двух блоков, разделенных разрывом. Для тектонических нарушений характерна линейность в проявлении отмеченных признаков. В качестве эталонных аномалий гравитационных и магнитных полей, фиксирующих проявления разрывной тектоники, может служить подборка, приведенная на рис. 24. Признаки разрывов выражаются в сгущении изолиний, смене ориентировки большой группы локальных аномалий, повторяющимся изломом аномалий, наличием линейно вытянутых аномалий большой протяженности, смещении осей локальных аномалий или характерные деформации изолиний в определенном направлении. Все эти особенности аномальных полей можно видеть на рис. 24.

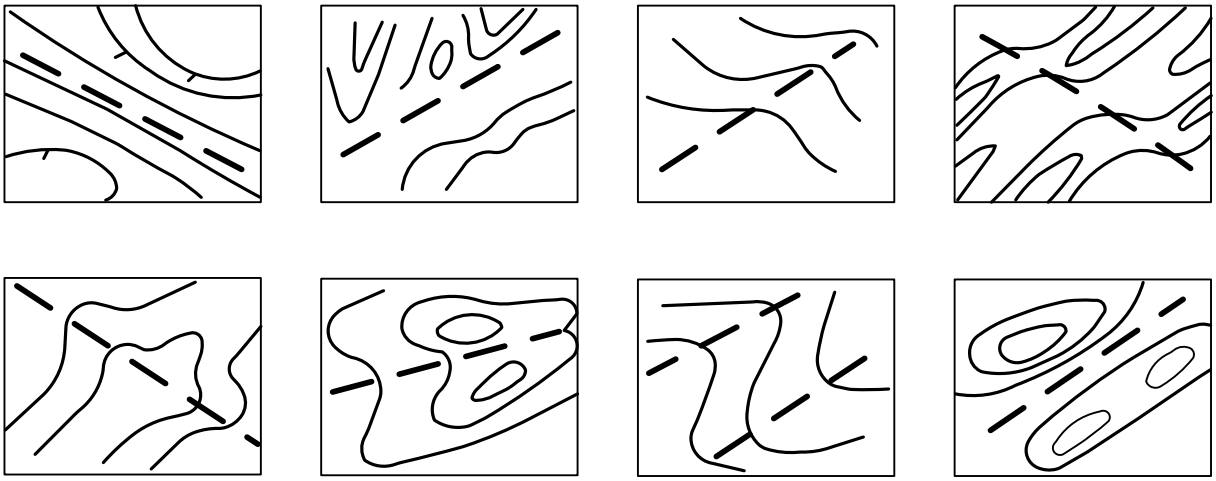


Рис.24. Примеры проявления тектонических нарушений (штриховые линии) в аномальных гравитационном и магнитном полях (по Г. Г. Кассину)

Разработаны специальные программы, позволяющие выделять и классифицировать комплексные аномалии в автоматическом режиме на основе некоторого набора эталонных образов типовых объектов. Результатом компьютерных способов распознавания образов являются прогнозные карты изученной территории с разбиением на несколько классов, характеризующихся различным набором признаков и имеющие определенное геологическое значение [2].

Одним из путей решения задачи диагноза геофизических аномалий является вычисление функций комплексного показателя (ФКП) θ, интегрировано обобщающих результаты измерений несколькими методами одновременно. Они служат для: 1) свертывания информации, полученной несколькими методами исследования; 2) приведения

наблюдений к уровню нормального поля; 3) выделения слабых аномалий; 4) разделения выявленных комплексных аномалий на перспективные и неперспективные [1].

Техника вычисления ФКП рассмотрена в разделах 3 и 5, а пример ее использования рассмотрен на материалах, послуживших основой при построении ФГМ для поисков месторождений урана (см. раздел 3, рис. 6). Полезность определения ФКП продемонстрирована также на рис 19.

Приводимое на рис. 6 раздельное вычисление ФКП для данных гравимагнитных исследований и поисковых методов электроразведки и радиометрии связано с различием задач, которые ставятся перед этими комплексами. С помощью первых методов можно картировать выходы к дневной поверхности потенциально рудоносных сланцев и подстилающих карбонатных отложений. Как показано на рис.6, эта задача решается успешно и выявляемые аномалии ФКП (Θ_1) являются перспективными и локализуют участки для детальных поисков.

В случае применения поискового комплекса обнаружение аномалий ФКП для этого комплекса (Θ_2), подобной той, которая изображена на рис. 6, позволяет отнести ее к перспективным и рассматривать как признак присутствия уранового оруденения.

Количественная комплексная интерпретация наиболее эффективна для сильных аномалий, то есть при больших значениях показателей контрастности. Данные совокупности методов позволяют более надежно установить возможные ограничения, которые необходимо учитывать при применении интерпретационного аппарата математической физики. Наиболее успешным является метод подбора параметров аномалиеобразующих объектов, позволяющий получить решение прямой задачи, соответствующее эмпирическим данным об изучаемых полях.

Прежде чем перейти к построению детальной ФГМ осуществляется экспресс-интерпретация полей путем оценочных вычислений ожидаемых для модели аномалий и их сопоставления с реально измеренными полями на участке работ. Для этих целей можно воспользоваться уже упоминавшейся выше таблицей-схемой аномалий для тел правильной геометрической формы. Таблица дает представление о виде геофизических аномалий и их амплитуде при известных форме, размерах, условиях залегания и аномальности физических (плотност-

ных, магнитных, электрических) свойств большой группы объектов, моделирующих геологические тела.

Способ подбора. Для уточнения форм аномалиеобразующих геологических тел используется способ подбора, который предполагает отыскание их границ по полям для отдельных методов с учетом ограничений, вытекающих из данных других методов. Например, при интерпретации сложных гравиметровых аномалий по профилю необходимо предварительно определится с уровнем региональной аномалии и создающей ее неоднородностью, а также с количеством и видом локальных аномалий, подлежащих количественной интерпретации. Существенную помощь при этом могут оказать данные других геофизических методов. Например, как это показано по материалам рис. 22, можно обосновать возможность выделения локальных аномалий от нескольких объектов и высказать предположения об их геологической природе.

По данным электрозондирования часто удается установить положение кровли коренных горных пород и вероятные физические характеристики скрытых под наносами геологических тел (на основе корреляционных зависимостей между электрическими и другими физическими свойствами). Часто по аномалиям методов естественного электрического поля и вызванной поляризации проявляются участки рассеянной сульфидной минерализации, типичные для околорудноизмененных пород. Пример подобных аномалий приведен в разделе 3 на рис. 10. Естественно, что имеет смысл геометризовать в пространстве эти участки, данные о выходах к дневной поверхности которых устанавливаются электроразведкой. Особый интерес представляет задача определить положение в пространстве рудных залежей, признаки существования которых заметны в аномальном поле силы тяжести и могут проявиться по данным специальных методов, например метода переходных процессов.

Для реализации способа подбора в рамках каждого метода разработаны разнообразные программы. Например, применительно к методу ВЭЗ разработан набор программ, как для ручной, так и машинной (компьютерной) интерпретации. Подбор сводится к сопоставлению наблюденных кривых с теоретически рассчитанными графиками для горизонтально-слоистой среды с известными параметрами (удельное сопротивление и мощность) слоев. Для снижения неоднозначности интерпретации используют данные о сопротивлении не-

которых опорных слоев или точно установленных границах на отдельных участках работ. Наиболее достоверные данные получают при наличии скважин.

Классификация геологических объектов на принципе самообучения

Этот принцип позволяет по совокупности геофизических данных разделить площадь исследований на некоторое число однородных (по совокупности признаков) классов (объектов), причем их геологическая природа может до определенного времени оставаться неясной. Для установления природы таких классов требуется выполнить геологические исследования (анализ проб, проходка скважин и др.), однако объем заверочных исследований невелик. Достаточно проанализировать данные по типичным представителям классов.

Примером реализации такого подхода могут служить материалы петрофизической классификации и картирования горных пород по данным измерений физических полей в скважинах [10]. Так при разведке медноколчеданного месторождения Осеннее на Южном Урале было установлено, что рудовмещающая структура представляет сложно построенную вулкано-тектоническую депрессию, осложненную крутопадающими и межслоевыми нарушениями. Всего в разрезе месторождения выделялось около десятка разновидностей литотипов [11], представлявших сложный комплекс геологических тел. Определенные сложности возникали с установлением наименования пород, подвергшихся гидротермальному метасоматозу, а также с определением роли субвулканических липарито-дацитов в формировании месторождения.

Для классификации геологических объектов на месторождении были привлечены данные каротажа естественной радиоактивности (ГК), которые, как известно, наиболее тесно связаны с литологическими особенностями горных пород. По этому свойству легче всего определить тип породы, подвергшейся эпигенетическим преобразованиям и принявшей черты метаморфизованной разновидности. Построенная по результатам статистической обработки диаграмм ГК, по методике изложенной в разделе 3, дифференциальная кривая распределения радиоактивности изображена на рис. 25. Из этой кривой следует, что все рудовмещающие породы можно разделить на три статистически однородные совокупности (А, Б, В) и определить границы

между ними (9 и 25 мкР/час) для построения петрорадиоактивных разрезов.

Результаты анализа химического состава показали, что радиоактивность рудовмещающих пород возрастает пропорционально увеличению кремнезема (47,6, 57,3, 65,7 %) и калия (1,9, 3,3, 4,8 % K_2O) и положительно коррелируется с повышением кислотности пород, которая в свою очередь отражает последовательность поступления в изучаемый массив магматических инъекций. Построенные петрофизические разрезы значительно проще геологических разрезов и наглядно отражают структурные особенности и историю формирования месторождения. Для этого на петрорадиоактивный разрез наложены контуры зон, отражающие степень сульфидной минерализации пород, установленные в результате статистической обработки диаграмм метода электродных потенциалов (МЭП). Данные метода фиксируют степень рудной концентрации (>0,65, 0,65-0,3,<0,ш3), соответствующей уровню сплошных руд (класс Р), сильно измененных и сульфидизированных пород (класс С) и слабо измененных околорудными процессами участков разреза.

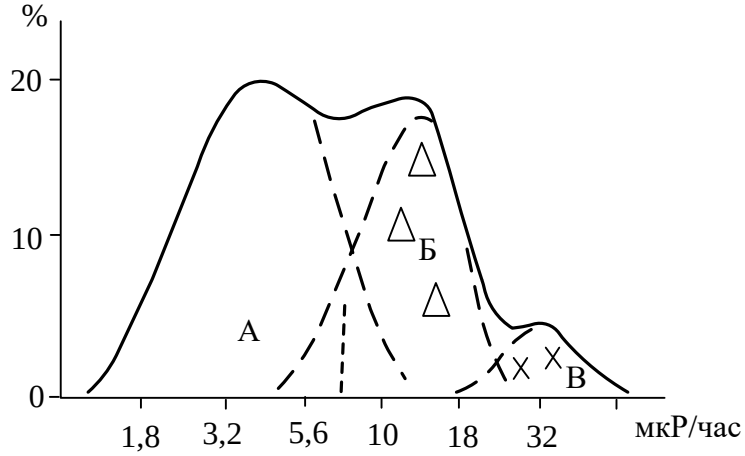


Рис. 25. Дифференциальная кривая распределения гамма-активности рудовмещающих пород медноколчеданного месторождения Осеннее

Результаты классификации геологических объектов по данным измерений двух геофизических полей на принципах самообучения с помощью статистического способа позволили построить петрофизические разрезы, на которых породы разделены на обоснованное огра-

ниченное число классов, отражающих главные черты рудоносной структуры.

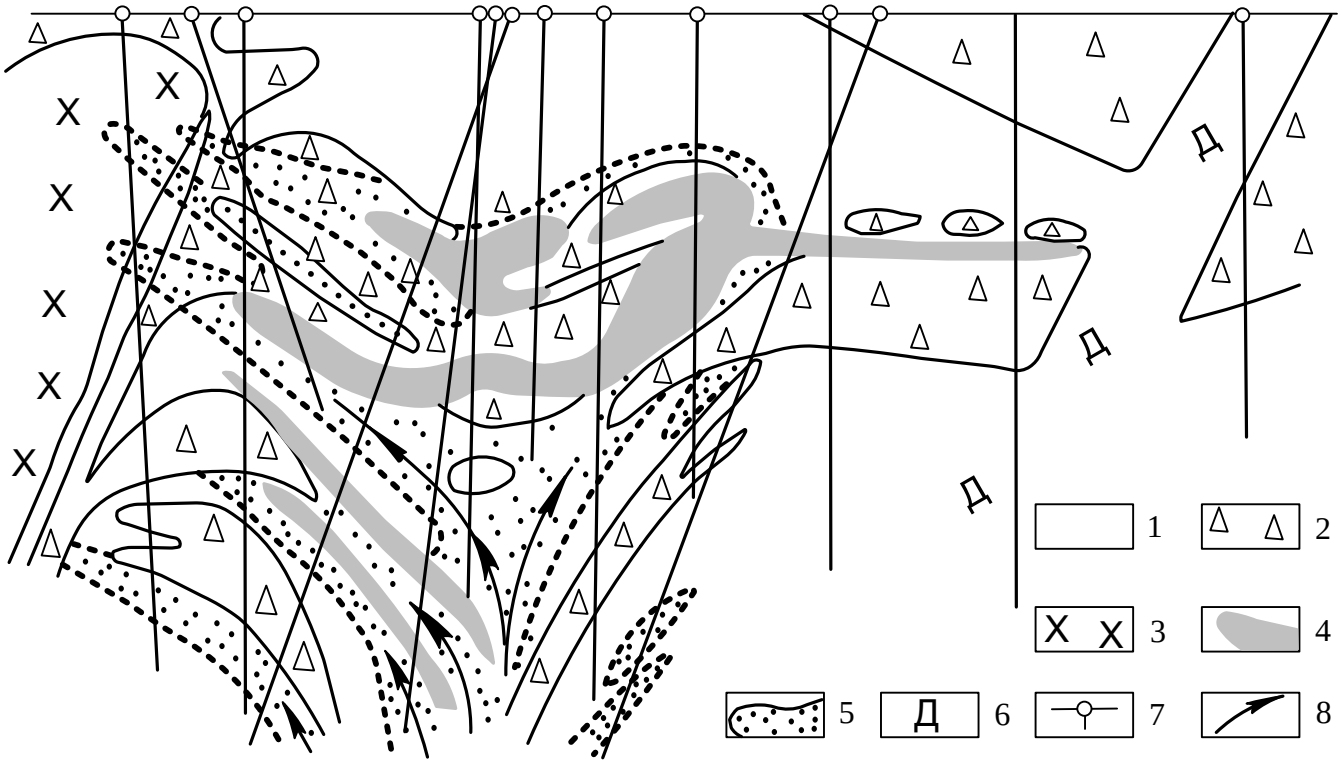


Рис. 26. Петрофизический разрез (классификация по двум геофизическим полям: ГК и МЭП) медноколчеданного месторождения Осеннее:
1, 2, 3 – петрорадиоактивные группы пород А, Б и В, соответственно; 4 – сплошные руды (класс Р); 5 – богатая сульфидная минерализация (класс С); 6 – дайка основных пород; 7 – скважины; 8 – предполагаемые пути движения рудоносных растворов

Один из таких разрезов приведен на рис. 26. Из него видно, что в массив, сложенный комплексом вулканогенных пород основного состава (комплекс пород класса А с низкой радиоактивностью) на завершающей стадии активного вулканизма по субвертикальной тектонической зоне внедрились субинтрузии кислых пород (липарито-дацитовые порфиры – класса Б по радиоактивности). Эти породы имеют силлобразную форму с корнями, уходящими на глубину. На заключительной стадия вулканизма ранее формированная толща была прорвана интрузией (сиенит-диориты класса В с наибольшей радиоактивностью). Поступление рудоносных растворов происходило по каналу уже пройденному субинтрузиями липарит-дацитов, кото-

рые перекрыли сквозную тектоническую зону, образовав экранированную структуру с участками повышенной проницаемости на контактах кислых и основных пород. Эти участки брекчирования и явились теми самыми резервуарами, в которых накапливались руообразующие смеси.

Контуры зон, отражающих классы пород с высокой и умеренной степенью сульфидной минерализации (классы Р и С, соответственно) фиксируют картину проникновения рудных растворов с глубоких горизонтов вверх по узкому субвертикальному каналу. Очевидно, что в верхней части разреза происходило распределение этих растворов по экранированным пологим участкам брекчирования на контактах вулканогенных и субинрузивных пород, где увеличивалась концентрация рудного вещества. По данным комплексной интерпретации геофизических полей медноколчеданное месторождение Осеннее является типичным представителем корневых рудных полей II рода, геологические модели которых рассмотрены в разделе 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основной

1. *Вахромеев Г. С.* Основы методологии комплексирования геофизических исследований при поисках рудных месторождений. М.: Недра, 1978. 152 с.

2. *Комплексирование методов разведочной геофизики*: Справочник геофизика / под ред. В. В. Бродового, А. А. Никитина М.: Недра, 1984, 384 с.

3. *Никитин А. А., Хмелевской В. К.* Комплексирование геофизических методов: учебник для вузов. Тверь: ООО Изд. «ГЕРС», 2004, 294 с.

Дополнительной

4. *Виноградов А. М.* Геополя и колчеданы Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004, 187 с.

5. *Геофизические методы разведки рудных месторождений*. / В. В. Бродовой, В. Д. Борцов, Л. Е. Подгорная и др. под ред. В. В. Бродового. М.: Недра, 1990, 296 с.

6. *Геофизические методы поисков и разведки неметаллических полезных ископаемых* / под ред. П. В. Вишневского, Г. С. Вахромеева, И. Л. Шаманского. М.: Недра, 1984, 223 с.

7. *Геофизические поиски рудных месторождений* / под ред. В. А. Кличникова. Алма-Ата: Каз.ФВИРГ, 1970, 610 с.

8. *Кассин Г. Г.* Геофизические методы на региональном этапе геологоразведочного процесса. Екатеринбург: УГГА, 1996, 104 с.

9. *Рудные месторождения СССР* / под ред. В. И. Смирнова. Том 3. М.: Недра, 1974, 392 с.

10. *Сапожников В. М.* Использование диаграмм каротажа для петрофизического картирования рудовмещающих горных пород. / Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений. Вып.1. Межвуз. науч. темат. сб. Свердловск: изд. УПИ, 1977, с. 11-19.

11. *Сапожников В. М., Голиков Ю. В., Берг Л. Я.* Опыт объемного петрофизического картирования рудовмещающих пород месторождения Осеннее / Методика поисков и разведки глубокозалегаю-

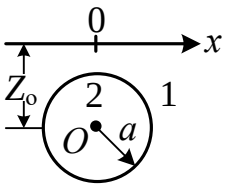
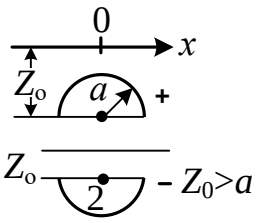
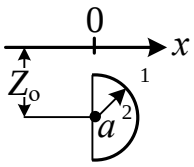
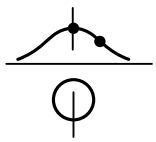
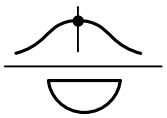
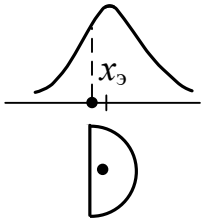
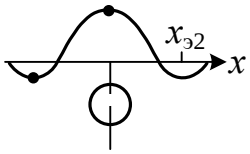
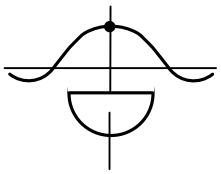
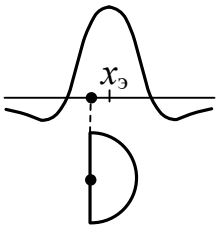
щих рудных месторождений. Вып.1. Межвуз. науч. темат. сб. Свердловск: изд. УПИ, 1977, с. 20-27.

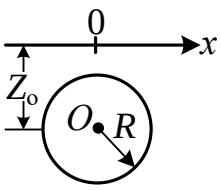
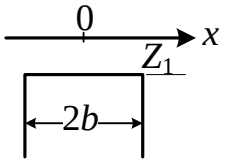
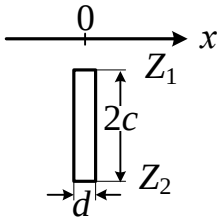
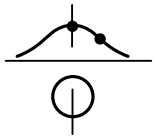
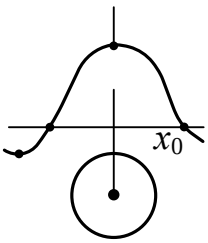
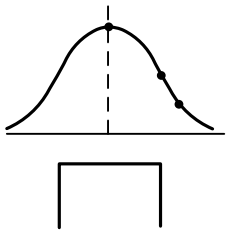
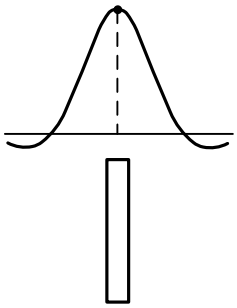
12. *Сапожников В. М., Шевченко В. Г.* Теория и методика электроразведки в градиентных средах. Л.: Недра, 1992, 135 с.

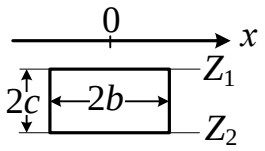
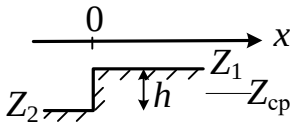
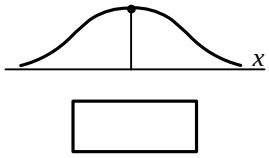
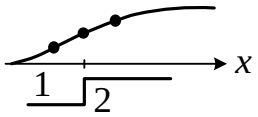
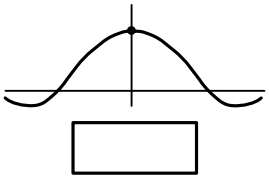
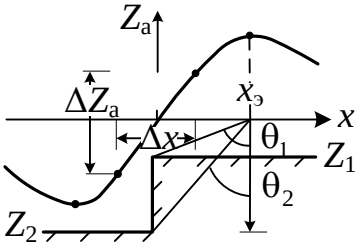
13. *Электроразведка рудных полей методом заряда* / М. В. Семенов, В. М. Сапожников, М. М. Авдевич, Ю. В. Голиков. Л.: Недра, 1984, 216 с.

Приложение 1

Сводка формул для вычисления значений аномальных полей в характерных точках

1		Ш	$ПШ_Г$	$ПШ_В$
2	разрез			
3	$\Delta g_a^э$	$\frac{4G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}$ $x_{1/2} = 0{,}77Z_0$ 	$\frac{2G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}\left(1 \pm \frac{3a}{4Z_0}\right)$ 	$\frac{2G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}$ $x_э = \frac{3}{8}a$ 
4	$Z_a^э$	$\frac{8\pi a^3 J}{3Z_0^3}$ $x_0 = \pm Z_0\sqrt{2}$ $x_{э2} = \pm 2Z_0$ $Z_{a2}^э = -0{,}036Z_a^э$ 	$\frac{4\pi a^3 J}{3Z_0^3}\left(1 \pm \frac{9a}{8Z_0}\right)$ 	$\frac{4\pi a^3 J}{3Z_0^3}$ $x_э = \frac{3}{8}a$ 
5	$\rho_к^э$ $\eta_к^э$	$\frac{2к_1\rho_1 a^3}{Z_0^3}$	$\frac{2\rho_1(\mu-1)a^3}{5\mu+1}\times$ $\times\left(\frac{1}{Z_0^3} \pm \frac{9a}{8Z_0^4}\right)$	$\frac{\rho_1(\mu-1)a^3}{(\mu+2)Z_0^3}$

1		Ц	МП	ТП
2	разрез			
3	$\Delta g_a^э$	$\frac{2G\pi R^2\Delta\sigma}{Z_0^2}$ $x_{1/2} = \pm Z_0$ 	$\pm\infty$	$2Gd\Delta\sigma\ln\frac{Z_2}{Z_1}$ $x_{1/2} = \pm\sqrt{Z_1 Z_2}$ 
4	$Z_a^э$	$\frac{2\pi R^2 J}{Z_0^2}$ $x_{\min} = \pm Z_0\sqrt{3}$ $x_0 = \pm Z_0$ 	$4J\,\mathrm{arctg}\frac{b}{Z_1}$ $x_{1/2} = \pm\sqrt{b^2 + Z_1^2}$ $x_{1/4} = \pm\sqrt{x_{1/2}^2 + 2Z_1\lvert x_{1/2}\rvert}$ 	$2J\,d\left(\frac{1}{Z_1} - \frac{1}{Z_2}\right)$ 
5	$\rho_к^э$ $\eta_к^э$	$\frac{2\kappa\rho_1 R^2}{Z_0^2}$	$\frac{2\rho_1(\mu-1)}{\pi}\mathrm{arctg}\frac{b}{Z_1}$	$\frac{\rho_1 d}{\pi m}\left(\frac{1}{Z_1} - \frac{1}{Z_2}\right)$ $m = \frac{\mu}{\mu-1} - \frac{c}{b+c}$ $d = 2b$

1		Пр	У
2	разрез		
3	$\Delta g_{\text{а}}^{\text{э}}$	$2G\Delta\sigma\left\{b\ln\frac{Z_2^2+b^2}{Z_1^2+b^2}+\right.$ $\left.+2(f_2-f_1)\right\}$ $f_i = Z_i \operatorname{arctg}\frac{b}{Z_i}$ 	$2\pi Gh\Delta\sigma$ $x_{\text{э}} \to \infty$ $x_{1/2} = 0$ $x_0 \to -\infty$ $x_{1/4} = -Z_{\text{ср}}$ $x_{3/4} = Z_{\text{ср}}$ 
4	$Z_{\text{а}}^{\text{э}}$	$4J\left(\operatorname{arctg}\frac{Z_2}{b}-\operatorname{arctg}\frac{Z_1}{b}\right)$ 	$Z_{\text{а}} = 2J(\theta_1-\theta_2)$ $\theta_{1,2} = \operatorname{arctg}\frac{x}{Z_{1,2}}$ $x_0 = 0$ $x_{\text{э}} = \pm\sqrt{Z_1 Z_2}$ $x=0 \quad \Delta Z_{\text{а}}/\Delta x = \frac{2J}{Z_1}$ 
5	$\rho_{\text{к}}^{\text{э}}$ $\eta_{\text{к}}^{\text{э}}$	$\frac{2\rho_1}{\pi m}\left(\operatorname{arctg}\frac{Z_2}{b}-\operatorname{arctg}\frac{Z_1}{b}\right)$ $m = \frac{\mu}{\mu-1}-\frac{c}{b+c}$	$\rho_{\text{ка}} = \rho_1\frac{(\mu-1)(\theta_1-\theta_2)}{\mu\pi}$ при $\rho_2 = \rho_1$ $\eta_{\text{ка}} = (\eta_2-\eta_1)\frac{\theta_1-\theta_2}{\pi}$

Пояснения

Аномальные геофизические поля: гравитационное (Δg_a), магнитное (Z_a), удельное сопротивление ($\rho_{ка}$) и поляризуемость ($\eta_{ка}$).

Тела: шар (Ш), полушары вертикальный ($ПШ_В$) и горизонтальный ($ПШ_Г$), цилиндр (Ц), мощный пласт (МП), тонкий пласт (ТП), прямоугольная прямая призма (ПР), вертикальный уступ (У).

Размерности: линейные величины в м, $\Delta\sigma$-избыточная плотность в г/см^3; $G=6.67\cdot10^3$ внесистемный вариант гравитационной постоянной, позволяющий получать Δg_a в мГл.; $\Delta\chi$-избыточная магнитная восприимчивость в системе СГС ($\Delta\chi_{СГС}=4\pi\cdot\Delta\chi_{СИ}$); J_i -интенсивность вертикального намагничивания: $J_i=\Delta\chi\cdot Z_н$; $Z_н$ – нормальное поле Земли: $Z_н\approx0.5$ Э; 1 Эрстед=10^5 нТл.; artg x в радианах; ρ_1 и ρ_2 – удельное сопротивление вмещающей среды и тела, соответственно; $\mu=\rho_2/\rho_1$; $K=(\mu-1)/(\mu+1)$; $K_1=(\mu-1)/(2\mu+1)$; $\rho_к=\rho_1+\rho_{ка}$; $\eta_к=1-\rho_к/\rho_к^*$; $\rho_1^*=\rho_1/(1-\eta_1)$; $\rho_2^*=\rho_2/(1-\eta_2)$; $\mu^*=\rho_2^*/\rho_1^*$; $\rho_к^*=\rho_1^*+\rho_{ка}^*$; $\eta_{ка}=\eta_к-\eta_1$; графики $\rho_{ка}$ и $\eta_{ка}$ подобны графикам $Z_а$; $x_э=0$ (кроме уступа).

Учебное издание

Сапожников Вадим Михайлович

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Учебное пособие

Редактор _____
Компьютерная верстка Г. А. Косаревой,

Подписано в печать _____ 2019 г. Бумага писчая. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____. Тираж . Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

А. Г. Талалай

Комплексная интерпретация геофизических данных

Методические указания
по выполнению индивидуальных заданий курса
«Комплексная интерпретация
геофизических данных»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации
Геофизические методы исследования скважин

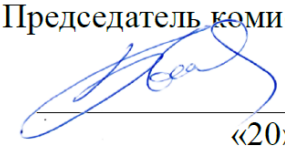
Екатеринбург
2020

Министерство образования и науки РФ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

Комплексная интерпретация геофизических данных

Методические указания
по выполнению индивидуальных заданий курса
«Комплексная интерпретация
геофизических данных»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации
Геофизические методы исследования скважин

Методические указания по выполнению индивидуальных заданий по курсу «Комплексная интерпретация геофизических данных» для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки, специализации «Геофизические методы исследования скважин»

Методические указания содержат работы по построению физико-геологической модели объекта поисков, статистической обработке результатов измерений физических свойств горных пород, оценке геологической информативности геофизических методов, выделению аномалий на фоне нормальных значений геофизических полей и комплексной интерпретации геофизических наблюдений с и пользованием функции комплексного показателя.

Методические указания предназначены для студентов 21.05.03 Технология геологической разведки, специализации Геофизические методы исследования скважин.

Составитель: А. Г. Талалай, проф., д.г.-м.н.

I. Работа № I. ПОСТРОЕНИЕ АПРИОРНОЙ ФГМ ОБЪЕКТА ПОИСКОВ

Под физико-геологической моделью объекта геофизических поисков (ФГМ) понимается абстрактное возмущающее тело, обобщенные размеры, форма и физические свойства которого с той или иной степенью приближения аппроксимируют реальные геологические и рудные образования, подлежащие обнаружению. ФГМ является обобщенным, типизированным и формализованным представлением о целой группе подобных геологических объектов. Это абстракция типа "описание-обобщение".

От реальных геологических объектов ФГМ отличается определенными размерами и обобщенной формой. Сложные по морфологии и вещественному составу геологические объекты заменяются сочетанием геометрически правильных объектов (сфера, цилиндр) с именными статистически усредненными физическими свойствами. Это позволяет использовать простые алгоритмы для решения обратных задач на ЭВМ.

ФГМ характеризуется следующими свойствами: носит вероятностный характер, обусловленный стокастичностью используемых для ее построения геологических и петрофизических данных, отличается простотой расчета ожидаемых физических полей, характеризуется схематизированным и обобщенным характером полей, которые отражают наиболее существенные черты данного класса объектов.

Физико-геологическая модель должна соответствовать целям и задачам геофизических исследований, типу района поисков и условиям ведения работ, отражать состояние геолого-геофизической изученности данного класса объектов, отличаться по физическим свойствам от вмещающих пород и характеризоваться оптимальной сложностью.

Отличительной чертой ФГМ является ее полиморфность в отношении физических свойств и геометрических параметров объекта. Количественные параметры ФГМ зависят от факторов, которые можно объединить в три группы: физические свойства пород и руд (x_1 , x_2 , x_3 ...), размеры объекта (y_1 , y_2 , y_3 ...) и его форма (z_1 , z_2 , z_3 ...). Например, крутопадающая линза сплошных медноколчеданных руд является в одно и то же время проводящим электрический ток пластом с положительной избыточной плотностью, сжатым эллипсоидом с повышенной поляризуемостью, генератором естественного электрического поля, источником формирования ореолов рассеяния меди и т.д. Пример физико-геологической модели линзы медноколчеданных руд (по данным Г.С.Вахромеева) приведен на рис.I.

Построение априорной ФГМ объекта поисков производится на базе справочных и литературных источников. При построении используются принципы аналогии, корреляции и обратной связи.

Принцип аналогии состоит в том, что выбор модели объекта исследований производится на основе данных, полученных на объектах со сходными геолого-геофизическими условиями. Как показывает практика ФГМ, разработанная на примере месторождения определенного класса крупности по запасам (например, среднего), может быть справедлива для аналогичных месторождений других классов крупности (например, мелких) при условии кратного изменения размеров, формы и физических свойств модели и сохранения общих условий залегания месторождений (мощность рыхлых отложений, перекрывающих и подстилающих пород).

Принцип корреляции состоит в использовании регрессионных зависимостей параметров и физических свойств объекта исследований от наблюдаемых физических полей и от других физических свойств того же объекта. Например, при разведке железорудных месторождений можно использовать связь между магнитной восприимчивостью и содержанием железа в руде. Установлены связи между скоростью распространения продольных волн и плотностью, между электрическим сопротивлением, скоростью продольных волн и плотностью, между плотностью и магнитной восприимчивостью. Например, Н.Н.Пузыревым установлена взаимосвязь скорости и плотности в виде $V = 6\sigma - 11$, связь эта может меняться в зависимости от возраста горных пород и района исследований. В поверженных породах по мере роста основности возрастают плотность и намагниченность. Породы осадочного происхождения характеризуются обратной зависимостью плотности, электрического сопротивления и скорости распространения упругих волн от пористости и т.д.

Принцип обратной связи заключается в использовании результатов обработки и интерпретации материалов экспериментальных полевых исследований с целью совершенствования ФГМ. Полученные в результате интерпретации геофизических измерений геологические выводы используются для уточнения физических свойств, размеров и формы

объекта исследований.

Физические свойства пород и руд определяются путем исследования образцов, по данным каротажа, параметрических измерений в обнажениях и по итогам интерпретации полевых геофизических методов. Данные о физических свойствах должны характеризовать все необходимые физические параметры, обеспечивающие построение комплексной ФГМ, обеспечивать по точности измерений решение поставленной геологической задачи, иметь пространственную и геологическую привязку, быть представительными для статистической обработки, т.е. замеры должны быть массовыми и достаточно представительными. Сведения о размерах и форме объекта поисков получают при его разведке.

I.I. Задание

Построить априорную физико-геологическую модель объекта геофизических поисков, используя для этой цели основные принципы построения ФГМ, материалы преддипломной производственной практики, справочники по физическим свойствам и литературные источники.

I.2 Содержание работы

Составить объяснительную записку, в которой сформулировать геологические задачи, которые ставятся перед геофизическими исследованиями в районе работ, например: поиски и разведка месторождений полезных ископаемых, опробование горных пород и руд, определение процентного содержания полезных компонентов, уточнение геологического разреза по измерениям в скважинах и т.д. Разделить геологические задачи на основные и дополнительные. Перечислить материалы, на основе которых строится ФГМ.

Оценить геологические условия региона и участка работ. Дать характеристику горных пород региона и участка, проанализировать размеры и условия залегания геологических объектов, вещественный состав и наличие минералов, оказывающих влияние на физические свойства горных пород района. Охарактеризовать предполагаемый объект поисков: его физические свойства, размеры, форму, глубину залегания рудных тел, запасы руды, наличие перекрывающих и подстилающих горных пород, глубины и типы коры выветривания, мощность поверхностных рыхлых отложений, наличие ореолов рассеяния элементов, рельеф местности и т.д.

Проанализировать результаты предшествующих геофизических работ в районе и аналогичных районах, физические и геологические предпосылки, характер аномальных и нормального полей, установить регрессионные зависимости параметров и физических свойств объекта поисков от наблюдаемых физических полей и других физических свойств того же объекта. Обработать и проинтерпретировать данные предшествующих экспериментальных геофизических исследований с целью уточнения физических свойств, размеров и формы объекта исследований.

На основании имеющихся материалов и литературных источников составить априорную физико-геологическую модель объекта поисков. Результаты работы обобщить и представить в форме таблицы I.

I.3. Материалы и оборудование

I.3.I. Геологические карты региона и участка работ

Результаты геофизических исследований района работ: графики измерений физических полей по профилям, карты физических полей с нанесенными изолиниями равных значений потенциала поля, карты векторов напряженностей физических полей, вариационные кривые и гистограммы физических свойств горных пород и руд, корреляционные зависимости физических свойств от вещественного состава горных пород и другие материалы производственных практик.

I.3.2 Микрокалькулятор типа Б3-2I

I.4. Порядок выполнения работы

I) Ознакомиться с понятием физико-геологической модели по настоящей инструкции.

2) Сформулировать геологические задачи.

3) Оценить физические свойства, размеры и форму предполагаемого объекта поисков.

4) Проанализировать, обработать и проинтерпретировать результаты предшествующих геофизических работ в районе. Рассчитать вариационные кривые и построить гистограммы физических свойств объекта поисков.

5. Составить объяснительную записку.

I.5. Содержание отчета

В отчете следует сформулировать геологические задачи, стоящие перед геофизическими методами в районе работ.

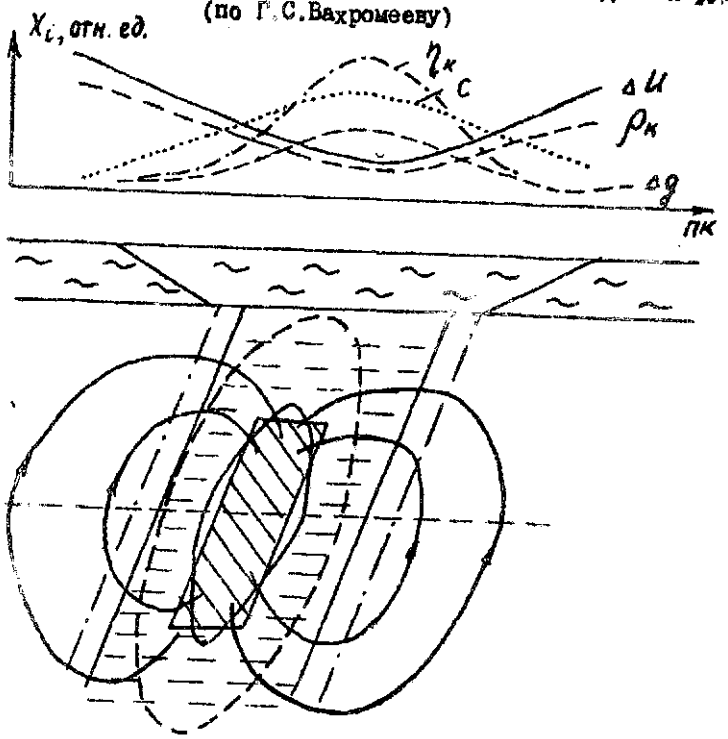
Кратко указать значение выбранного объектом поисков полезного ископаемого для народного хозяйства. Дать определение ФПМ. Привести сведения о физических свойствах, размерах и форме искомого объекта. Отчет должен содержать графики исходных данных, необходимых для построения ФПМ, результаты измерений геофизических полей по профилям или в плане, расчетные или взятые из справочников таблицы физических свойств и итоговое, схематизированное обобщенное описание комплексной полиморфной ФПМ в виде таблицы I.

Таблица I

Параметры физико-геологической модели объекта геофизических поисков

Физические свойства ($x_1, x_2, x_3 \ldots$)	Размеры ($y_1, y_2, y_3 \ldots$)	Форма ($z_1, z_2, z_3 \ldots$)
x_1 Магнитная восприимчивость $\varkappa$	y_1 Горизонтальная мощность $2b$	z_1 Показатель горизонтальной протяженности $L/2b$
x_2 Остаточная намагниченность J_n	y_2 Глубина залегания верхней кромки h	z_2 Показатель вертикальной протяженности $\frac{H-h}{h}$
x_3 Избыточная плотность $\Delta\sigma$	y_3 Глубина залегания нижней кромки H	z_3 Показатель погруженности $\frac{H-h}{2b}$
x_4 Удельное электрическое сопротивление ρ	y_4 Длина по простиранию L	
x_5 Поляризуемость η	y_5 Угол падения α	
x_6 Естественная радиоактивность J	y_6 Радиус (для изометрических тел) R	z_4 Показатель изометричности $c:d:\ell$
x_7 Скорость распространения упругих колебаний v	y_7 Размеры по большой c, средней d и малой ℓ осям (для трехмерных объектов)	. . . .
x_8 Длина замедления быстрых нейтронов L_s	y_8 Расстояние до центра H_u	
x_9 Длина диффузии тепловых нейтронов L	. . . . .	
. . . . .		

Физико-геологическая модель линзы медноколчеданных руд (по Г.С.Вахромееву)



1 – 2 – 3 – 4 – 5

6 – 7 – 8 – 9

1 – контур промышленной залежи, 2 – наклонный пласт положительной избыточной плотности, 3 – зона повышенной проводимости, 4 – контур сжатого эллипсоида повышенной поляризуемости, 5 – первичный ореол рассеяния элементов, 6 – вторичный ореол рассеяния элементов, 7 – токовые линии естественного электрического поля, 8 – уровень подземных вод, 9 – современный элювио-делювий

Δg – аномалия силы тяжести, $\rho_к$ – аномалия электрического сопротивления, $\eta_к$ – аномалия вызванной поляризации, ΔU – аномалия естественного поля, C – аномалия содержания меди.

Рис. I

2. РАБОТА № 2

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Необходимым и достаточным условием успешного применения геофизических методов является заметная дифференциация (контрастность) физических свойств горных пород в районе работ. Физические свойства пород зависят от многих геологических факторов: возраста, глубины залегания, метаморфизма горных пород, степени их выветренности, пористости, влагонасыщенности и т.д. По этой причине частные значения физических параметров обычно колеблются в широких пределах. Для получения достаточной представительности результатов необходимо, чтобы измерения носили массовый характер. Для каждой разновидности горных пород желательно иметь не менее 30–50 определений.

Перечень основных физических свойств горных пород и руд приведен в таблице 2.

Физические свойства определяются обычно путем исследований на образцах, в естественном залегании (параметрические замеры), по данным каротажа и по итогам интерпретации результатов полевых геофизических наблюдений соответствующими методами. Образцы берут из коренных обнажений пород и руд, по возможности слабо затронутых вторичными процессами. Места отбора образцов равномерно распределяют по площади и отмечают на карте с целью изучения закономерностей изменения физических параметров по площади исследований.

Изменчивость физических свойств пород и руд обусловливает широкое использование статистических методов обработки с целью компактного представления данных о физических свойствах, выявления в общей совокупности самостоятельных групп пород, определения доверительных границ изменения физических параметров горных пород, установления корреляционной зависимости между различными физическими параметрами и изучения зависимости физических свойств от состава и структуры горных пород.

2.I. Эмпирические распределения

Множество значений физического признака, обладающего свойствами случайной величины, будем называть статистической совокупностью. В статистической совокупности значения физического признака располагаются в порядке их получения и записи при изучении геологического

Таблица 2

Перечень основных физических свойств горных пород

Метод	Физический параметр	Единица измерения
Магниторазведка	I. Магнитная восприимчивость, $\varkappa$	$СИ_{\varkappa}$
	2. Остаточная намагниченность,	А/м
Гравиразведка	I. Плотность, σ	г/см^3
Электроразведка	I. Удельное электрическое сопротивление, ρ	Ом м
	2. Поляризуемость, η	%
Сейсморазведка	I. Скорость распространения упругих колебаний, v	м/с
	2. Модуль Юнга	кг/м^2
Радиометрия	I. Естественная радиоактивность, J	мкр/ч
	2. Коэффициент радиоактивного равновесия, Krp	
	3. Коэффициент эманирования, α	%
Ядерная геофизика	I. Длина замедления быстрых нейтронов, L_s	см
	2. Длина диффузии тепловых нейтронов, L_α	см
	3. Время замедления быстрых нейтронов, τ_s	с
	4. Время жизни тепловых нейтронов, τ , c	с

объекта поисков. Для удобства математической обработки производят упорядочение статистической совокупности, которое заключается в том, что отдельные значения признака располагают в возрастающем или убывающем порядке. Упорядочение совокупностей непрерывных физических признаков производится методом группирования и последующего построения вариационных рядов и соответствующих им графиков

Упорядочение непрерывных физических признаков производится в интервальной форме. Число интервалов K можно оценить по формуле $K = \sqrt{N}$, где N – объем совокупности равный общему числу наблюдений. Для выбора ширины интервала группирования используется формула Стреджесса:

$$\Delta x = \frac{x_{max} - x_{min}}{1 + 3{,}3 \lg N}$$

где x_{max} , x_{min} – максимальное и минимальное значение физического параметра x . Вычисленные значения Δx округляют до удобной величины.

Вариационный ряд статистической совокупности непрерывного физического признака представляется в виде таблицы, в которой в возрастающем порядке перечислены интервалы или середины интервалов группирования и соответствующие им частоты и частости встречи физических признаков. Перед составлением таблицы вычисляют значения середины интервалов $x_i = \frac{a_i + b_i}{2}$, где a_i и b_i , соответственно, начало и конец i -го интервала группирования, подсчитывают частоту n_i и частость $\omega_i = n_i/N$ попадания физического признака на i -ый интервал группирования. Пример построения вариационного ряда приведен в таблице 3. Проверка правильности построения вариационного ряда осуществляется по формулам $\sum_{i=1}^{K} n_i = N$, $\sum_{i=1}^{K} \omega_i = 1$.

Для компактного и наглядного представления результатов массовых измерений физических свойств горных пород вариационный ряд может быть представлен графически в виде полигона, гистограммы или кумуляты.

Полигоном называется ломаный график, построенный в декартовой системе координат. По оси абсцисс откладываются в возрастающем порядке середины интервалов группирования физического параметра, а по оси ординат соответствующие им частоты или частости.

Таблица 3

Вариационный ряд распределения плотности перидотитов Бакеновского месторождения хризотил-асбеста

Номера интервалов,	Границы интервалов, г/см³	Середина интервалов x_i, г/см³	Частоты n_i	Частости $\omega_i = \frac{n_i}{N}$
I	2,5-2,7	2,6	2	0,04
2	2,7-2,9	2,8	6	[illegible]
3	2,9-3,I	3,0	8	0,16
4	3,I-3,3	3,2	I3	0,26
5	3,3-3,5	3,4	II	0,22
6	3,5-3,7	3,6	7	0,14

$N = 50$ $\quad \sum_{i=1}^{\kappa} \omega_i = 1,0$

Гистограммой вариационного ряда называется ступенчатый график, состоящий из серии примыкающих друг к другу прямоугольников с основаниями на оси абсцисс, равными ширине интервала группирования, и высотами по оси ординат, соответствующими значениями частот или частостей.

Кумулятой называют монотонно растущий график, который образуется, если по оси абсцисс откладывать середины интервалов группирования, а по оси ординат сумму частот или частостей с нарастающим итогом.

Пример построения полигона, гистограммы и кумуляты вариационного ряда распределения плотности перидотитов Бакеновского месторождения хризотил-асбеста приведен на рис. 2.

Наряду с построением вариационных рядов и графиков при обработке результатов измерений физических свойств вычисляются статистические характеристики положения (средняя величина, медиана, мода) и рассеяния результатов измерений (дисперсия, стандарт, коэффициент вариации, показатель асимметрии и показатель эксцесса).

Средняя величина $\bar{x}$ характеризует массовый уровень физического признака в статистической совокупности. Для вариационных рядов совокупностей с непрерывным или дискретным признаком средняя величина признака подсчитывается, как средняя взвешенная по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{\kappa} n_i x_i}{N} \qquad (2.I)$$

где κ - число интервалов или отдельных значений вариант.

Медиана (Me) - значение признака, соответствующее середине упорядоченного вариационного ряда. Медиана делит упорядоченную совокупность физических признаков на две равные по объему части.

Мода (Mo) - значение признака, которое характеризуется наибольшей частотой или частостью и совпадает с абциссой максимума вариационной кривой.

Статистические характеристики рассеяния указывают на степень и характер концентрации или рассеяния отдельных значений физического параметра относительно характеристик положения.

Дисперсия (S^2) - это средний квадрат отклонений отдельных вариант от средней величины. Для упорядоченной в вариационный р

Пример построения полигона (а), гистограммы (б) и кумуляты (в) вариационного ряда распределения плотности перидотитов Баженовского месторождения хризотил-асбеста

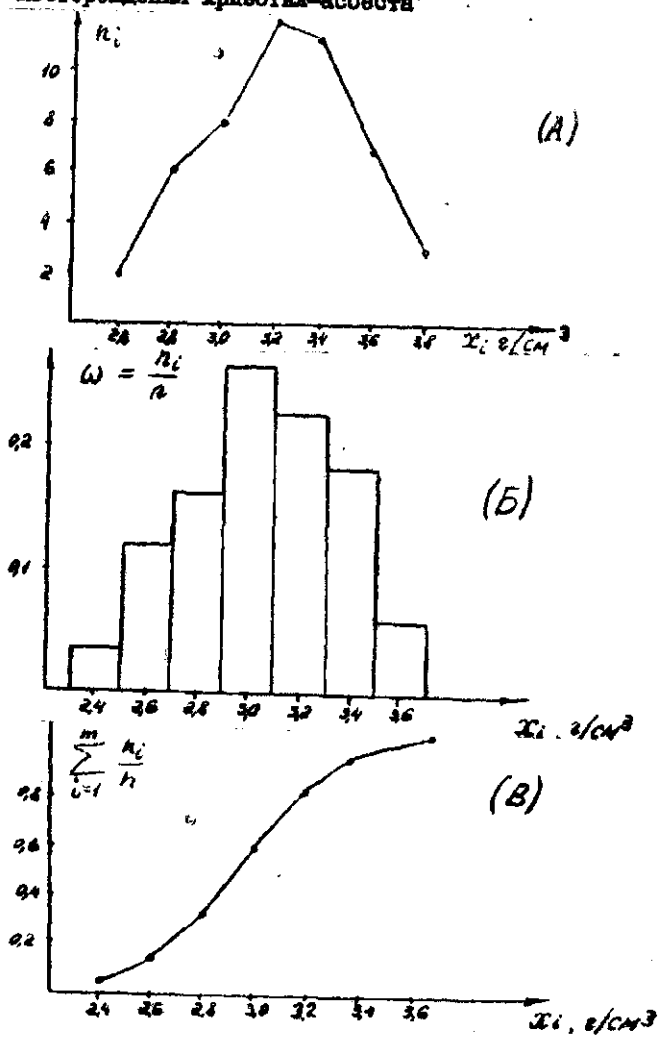


Рис. 2

совокупности дисперсия вычисляется по формуле:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i (x_i - \bar{x})^2}{N} \qquad (2)$$

Стандарт (S) – среднее квадратическое отклонение, равное корню квадратному из дисперсии.

Коэффициент вариации (V) – это относительное среднее квадратическое отклонение, которое подсчитывается в процентах по формуле:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \qquad (3)$$

Показатель ассиметрии (А) указывает на характер и степень симметрии вариационной кривой. Для упорядоченной совокупности показатель асимметрии вычисляется по формуле:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i (x_i - \bar{x})^3}{S^3 N} \qquad (4)$$

Показатель эксцесса (Э) характеризует степень крутовершинности вариационной кривой по отношению к вершине кривой нормального распределения. Для вариационных рядов эксцесс вычисляют по формуле:

$$Э = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i (x_i - \bar{x})^4}{S^4 N} - 3 \qquad (5)$$

Все статистические характеристики, кроме моды и медианы, вычисляются методом моментов. Статистический момент порядка ρ подсчитывается по формуле:

$$M_\rho = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i \sigma_i^{\rho}}{N} \qquad (6)$$

где $\sigma_i = x_i - x_0$ – отклонение i-го интервала вариационного ряда x_i от интервала x_0, принятого за начало отсчета, k – количество интервалов вариационного ряда.

Различают начальные m_ρ и центральные μ_ρ моменты вариационного ряда. Момент называется начальным, если начало отсчета совпадает с нулем $x_0 = 0$ и центральным, если начало отсчета

совпадает со средней величиной ряда $x_0 = \bar{x}$.

Первый начальный момент совпадает со средним взвешенным значением измеряемого физического параметра. Второй центральный момент совпадает с дисперсией значений физического параметра.

Частные от деления центральных моментов ρ -го порядка на стандарт в ρ -ой степени называют основными моментами $\beta_\rho = \mu_\rho / S^\rho$. Третий основной момент β_3 соответствует показателю ассиметрии, четвертый основной момент β_4 используется для вычисления показателя эксцесса.

Вычисление статистических характеристик выполняется в следующем порядке. После составления вариационного ряда и занесения данных в таблицу вычисляют условные варианты, нормированные к ширине интервала группирования, по формуле:

$$\delta_i = \frac{x_i - x_0}{\Delta x} \qquad (7)$$

где x_i - середина i -го интервала вариационного ряда, x_0 - принятое начало отсчёта, Δx - ширина интервала группирования.

Вычисляют начальные моменты условных вариант m_ρ^δ до четвертого порядка включительно по формуле:

$$m_\rho^\delta = \frac{\sum_{i=1}^{n} n_i \delta_i^\rho}{N} \quad (\rho = 1,2,3,4) \qquad (8)$$

Вычисляют среднее значение физического параметра по формуле:

$$\bar{x} = x_0 + \Delta x\, m_1^\delta \qquad (9)$$

Вычисляют второй, третий и четвертый центральные моменты, используя формулы их связи с начальными моментами условных вариант

$$\mu_2 = (\Delta x)^2 \left[m_2^\delta - (m_1^\delta)^2 \right] = S^2 \qquad (10)$$

$$\mu_3 = (\Delta x)^3 \left[m_3^\delta - 3 m_2^\delta m_1^\delta + 2 (m_1^\delta)^3 \right] \qquad (11)$$

$$\mu_4 = (\Delta x)^4 \left[m_4^\delta - 4 m_3^\delta m_1^\delta + 6 m_2^\delta (m_1^\delta)^2 - 3 (m_1^\delta)^4 \right] \qquad (12)$$

Вычисляют стандарт S , показатель асимметрии A и показатель эксцесса $Э$ по формулам:

$$S = \sqrt{\mu_2} \qquad (13)$$

$$A = \beta_3 = \frac{\mu_3}{S^3} \qquad (14)$$

$$Э = \beta_4 - 3 = \frac{\mu_4}{S^4} - 3 \qquad (15)$$

Для вариационного ряда нормального распределения $\beta_4 = 3$. Поэтому при оценке крутовершинности вариационной кривой из основного момента четвертой степени вариационной кривой вычитается основной момент четвертой степени нормального распределения физического параметра.

Вычисляют коэффициент вариации по формуле (2.3).

Подсчитывают значение моды по формуле:

$$M_0 = x_{M_0} + \Delta x \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2} \right) \qquad (16)$$

где x_{M_0} - начало интервала группирования, в котором находится мода, Δx - ширина интервала, Δ_1 - разность частот модального и домодального интервала, Δ_2 - разность частот модального и послемодального интервала.

Подсчитывается значение медианы по формуле:

$$Me = x_{Me} + \Delta x \left(\frac{\frac{N}{2} - n_{sMe}}{n_{Me}} \right) \qquad (17)$$

где x_{Me} - начало медианного интервала, N - объем совокупности, n_{sMe} - накопленная частота интервала, предшествующего медианному, n_{Me} - частота медианного интервала. Под накопленной частотой для данного интервала понимается сумма частот, начиная с первого интервала, включая данный. Накопленная частота подсчитывается по формуле:

$$n_{s_i} = \sum_{i=1}^{S_i} n_i \qquad (18)$$

Накопленные частоты служат основой для построения интегрального полигона (кумуляты) вариационного ряда.

Пример. Вычислить статистические характеристики вариационного ряда распределения содержания железа в сплошных медноколчеданных рудах Гайского месторождения меди.

Составим таблицу для вычисления исходных данных.

Таблица 4

Вариационный ряд распределения содержания железа в сплошных медноколчеданных рудах Гая

	Интервалы, %	n_i	x_i	δ_i	$n_i\delta_i$	$n_i\delta_i^2$	$n_i\delta_i^3$	$n_i\delta_i^4$
I	38–40	6	39	–2	–I2	+24	–48	+96
2	40–42	I0	4I	–I	–I0	+I0	–I0	+I0
3	42–44	I5	43	0	0	0	0	0
4	44–46	I3	45	+I	+I3	+I3	+I3	+I3
5	46–48	6	47	+2	+I2	+24	+48	+96
	Сумма	50			+3	+7I	+3	+2I5

Выберем место нуля совпадающим с серединой центрального интервала $x_0 = 43$ и подсчитаем условие варианты δ_i. Проверка правильности вычисления исходных данных производится по формуле Шарлье:

$$\sum_{i=1}^{k} n_i(\delta_i+1)^4 = \sum_{i=1}^{k} n_i\delta_i^4 + 4\sum_{i=1}^{k} n_i\delta_i^3 + 6\sum_{i=1}^{k} n_i\delta_i^2 + 4\sum_{i=1}^{k} n_i\delta_i + \sum_{i=1}^{k} n_i \qquad (9)$$

При правильной подготовке данных формула Шарлье обращается в тождество. Вычисляем начальные моменты ряда в условных вариантах

$$m_1^{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^{5} n_i\delta_i}{N} = \frac{+3}{50} = +0{,}06$$

$$m_2^{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^{5} n_i\delta_i^2}{N} = \frac{+71}{50} = +1{,}42$$

$$m_3^{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^{5} n_i\delta_i^3}{N} = \frac{+3}{50} = +0{,}06$$

$$m_4^{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^{5} n_i\delta_i^4}{N} = \frac{+215}{50} = +4{,}3$$

Вычисляем среднее значение содержания железа $\bar{x}$, стандарт S и центральные моменты μ_3 и μ_4, используя формулы связи начальных моментов в условных вариантах m_p^{δ} с центральными моментами μ_p.

$$\bar{x} = m_1 = x_0 + \Delta x\, m_1^{\delta} = 43 + 2(+0{,}06) = 43{,}12\%\ Fe$$

$$S = \sqrt{\mu_2} = \Delta x\sqrt{m_2^{\delta} - (m_1^{\delta})^2} = 2\sqrt{1{,}42 - (0{,}06)^2} = 2{,}38\%\ Fe$$

$$\mu_3 = (\Delta x)^3\left[m_3^{\delta} - 3m_2^{\delta}m_1^{\delta} + 2(m_1^{\delta})^3\right] =$$

$$= 2^3\left[+0{,}06 - 3(+1{,}42)(+0{,}06) + 2(+0{,}06)^3\right] = -1{,}56$$

$$\mu_4 = (\Delta x)^4\left[m_4^{\delta} - 4m_3^{\delta}m_1^{\delta} + 6m_2^{\delta}(m_1^{\delta})^2 - 3(m_1^{\delta})^4\right] =$$

$$= 2^4\left[+4{,}3 - 4(+0{,}06)(+0{,}06) + 6(+1{,}42)(+0{,}06)^2 - 3(+0{,}06)^4\right] =$$

$$= 69{,}12$$

Определяем основные моменты и показатели асимметрии А и эксцесса Э.

$$A = \rho_3 = \frac{\mu_3}{S^3} = \frac{-1,56}{(2,38)^3} = -0,12$$

$$Э = \rho_4 - 3 = \frac{\mu_4}{S^4} - 3 = \frac{69,12}{(2,38)^4} - 3 = 2,15 - 3 = -0,85$$

Находим коэффициент вариации:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 = \frac{2,38}{43,12} \cdot 100 = 5,5\%$$

По формуле (2.I6) определяем модальное значение:

$$Mo = x_{Mo} + \Delta x \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2} = 42 + \frac{2(15-10)}{(15-10)+(15-13)} =$$

$$= 43,43\ \%\ Fe$$

Для вычисления медианы составим таблицу накопленных частот исследуемого вариационного ряда:

Таблица 5

Интервалы вариационного ряда, %	38–40	40–42	42–44	44–46	46–48
Частоты, n_i	6	I0	I5	I3	6
Накопленные частоты, n_{si}	6	I6	3I	44	50

По формуле (I7) находим значение медианы:

$$Me = x_{Me} + \Delta x \frac{\left(\frac{N}{2} - n_{sMe}\right)}{n_{Me}} = 42 + \frac{2(25-16)}{15} = 43,2\ \%\ Fe$$

Таким образом вариационный ряд распределения содержания железа в сплошных медноколчеданных рудах Гайского месторождения меди практически симметричный, так как значение средней величины содержания, моды и медианы совпадают друг с другом в пределах погрешности $\pm$ I,0 % нейтронного активационного метода опробования, который использовался для определения содержания железа в рудах. О симметрии вариационного ряда свидетельствует также

небольшое значение показателя асимметрии A = -0,I2. Степень изменчивости содержания железа в сплошных медных колчеданах весьма равномерная, так как вычисленные значения коэффициента вариации V = 5,5% не превышают 6%. По значению показателя эксцесса Э = -0,84 вариационный ряд относится к плосковершинному.

2.2. Теоретические распределения

Результаты измерений физических свойств горных пород осложнены погрешностями наблюдений, поэтому они носят случайный характер и обладают свойствами случайной величины. Случайной величиной называется величина, которая в результате опыта может принять то или иное значение, заранее неизвестное.

Если перечислить все возможные значения случайной величины и указать вероятности этих значений, то получится распределение случайной величины. Характеристикой непрерывной случайной величины является плотность вероятности с которой распределяются её значения в окрестности данной точки $f(x)$. Плотность распределения вероятностей называют дифференциальной функцией распределения или дифференциальным законом распределения. Кривая, изображающая плотность распределения случайной величины, называется дифференциальной кривой распределения.

Вероятность того, что случайная величина x примет значение, лежащее в границах от a до B, равна определённому интегралу в тех же пределах от плотности вероятности

$$P(a < x < B) = \int_a^B f(x)dx$$

Геометрически эта вероятность выражается площадью криволинейной фигуры (рис.3).

Кроме дифференциальной функции распределения вероятностей часто используется кумулятивная функция распределения случайной величины, которая подсчитывается по формуле:

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)dx \qquad (\ I8\ )$$

Кумулятивная функция непрерывной случайной величины харак-

теризует вероятность того, что случайная величина X примет значение меньше $X < x$.

Кумулятивная функция распределения называется также интегральной функцией или интегральным законом распределения. Она является универсальной характеристикой случайной величины. Кумулятивная функция монотонно возрастает в пределах $0 \le F(x) \le 1$. При $x \to -\infty$ она убывает до нуля, при $x \to +\infty$ стремится к единице (рис.3).

Аналогично статистическим характеристикам при описании случайных величин вводятся их числовые характеристики (математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, показатель асимметрии и показатель эксцесса).

Математическое ожидание M_x непрерывной случайной величины определяется по формуле:

$$M_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx \qquad (11)$$

По смыслу математическое ожидание является мерой положения и эквивалентно среднему значению вариационного ряда.

Дисперсия $D(x)$ непрерывной случайной величины характеризует степень рассеяния отдельных значений от математического ожидания случайной величины и подсчитывается по формуле:

$$D_x = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M_x)^2 f(x) dx \qquad (12)$$

Среднее квадратичное отклонение σ_x и коэффициент вариации V_x являются мерами рассеяния случайной величины около её математического ожидания и определяются по формулам $\sigma_x = \sqrt{D_x}$ и $V_x = \sigma_x / M_x$. Мерами рассеяния случайной величины являются также показатель асимметрии A_x и показатель эксцесса $\Im_x$, которые по своему смыслу аналогичны показателям асимметрии и эксцесса вариационного ряда. Для непрерывной случайной величины:

$$A_x = \frac{1}{\sigma_x^3} \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M_x)^3 f(x) dx \qquad (13)$$

$$\Im_x = \frac{1}{\sigma_x^4} \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M_x)^4 f(x) dx \qquad (14)$$

График дифференциальной и интегральной функции распределения непрерывной случайной величины

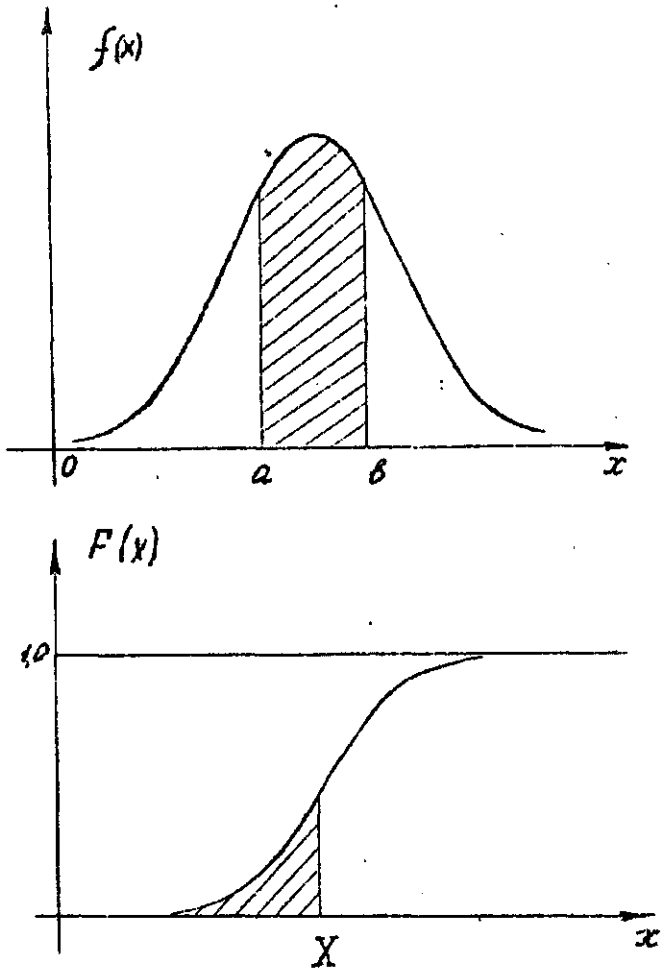


Рис. 3

Статистические характеристики вариационных рядов при достаточной статистике отсчетов стремятся, как к пределу, к числовым характеристикам случайных величин, распределение которых является предметом исследования теории вероятностей и носит закономерный характер.

Законы распределения случайной величины могут быть различными Для непрерывных случайных величин, к которым относятся физические свойства горных пород, чаще всего встречается нормальное (Гауссово) распределение и логарифмически нормальное распределение случайной величины.

Случайная величина x распределена нормально, если функция плотности вероятности $f(x)$ имеет вид

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-M_x)^2}{2\sigma_x^2}\right] \qquad (15)$$

где M_x - математическое ожидание, σ_x - среднее квадратическое отклонение (стандарт). Математическое ожидание соответствует среднему арифметическому отдельных измерений случайной величины:

$$M_x = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad (16)$$

Стандарт подсчитывается по формуле:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - M_x)^2}{n}} \qquad (17)$$

Функция нормального распределения характеризуется двумя параметрами M_x и σ_x и имеет колоколообразную форму. При всех значениях x функция $f(x)$ принимает только положительные значения. Ветви кривой асимптотически приближаются к оси абсцисс $\lim_{x \to \pm\infty} f(x) = 0$. При $x = M_x$ нормальное распределение достигает максимума $f(x)_{max} = 1/\sigma_x \sqrt{2\pi}$. Ветви кривой симметричны относительно прямой $x = M_x$, так как $x - M_x$ содержится в формуле (15) в квадрате. Параметр M_x не оказывает влияния на форму кривой $f(x)$, но смещает её вдоль оси x. Параметр σ_x определяет вытянутость или сжатость кривой по оси x. Математическое ожидание величины x совпадает с модой и медианой $M_x = M_o = M_e$. Асимметрия и эксцесс нормального распределения равны нулю $A = Э = 0$ (Рис 4).

Внешний вид дифференциальной функции нормального распределения

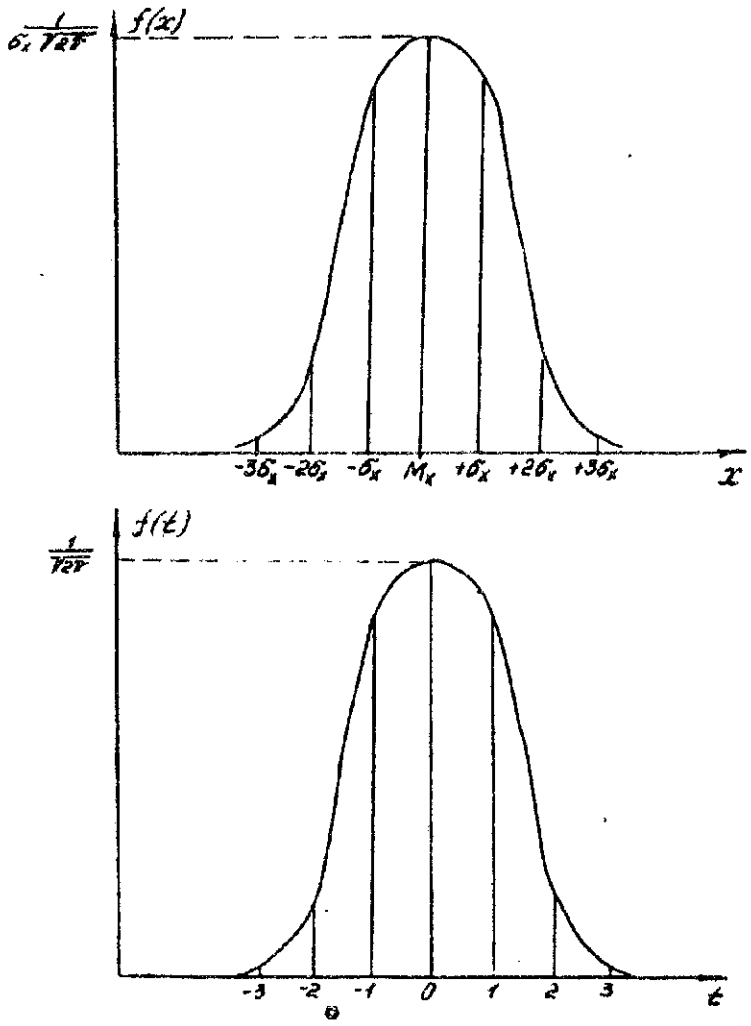


Рис. 4

Заменой переменных $t = \frac{x-M_x}{\sigma_x}$ любое нормальное распределение может быть приведено к простейшему виду

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} \qquad (18)$$

Такое преобразование переменной называется нормированием случайной величины к её среднему квадратическому отклонению. При этом начало отсчета переносится в точку M_x, а в качестве единицы масштаба используется среднее квадратическое отклонение σ_x. Функция нормированного нормального распределения зависит от одного параметра, аргумента $t = (x-M_x)/\sigma_x$. Кривая простейшего нормального распределения симметрична относительно оси ординат. При $t=0$ она имеет максимум равный $f(t)_{max} = 1/\sqrt{2\pi} \approx 0{,}4$. Площадь, ограниченная кривой $f(t)$ и осью t равна 0,683 в пределах от - 1 до + 1, 0,954 в пределах от - 2 до + 2, 0,997 в пределах от - 3 до + 3 и единице в пределах от $-\infty$ до $+\infty$ (рис. 4).

Кумулятивная функция нормального распределения имеет вид:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{(x-M_x)^2}{2\sigma_x}} dx \qquad (19)$$

Нормированная кумулятивная функция нормального распределения подсчитывается по формуле

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \qquad (20)$$

функция табулирована / 1, 2 /.

Непрерывная случайная величина x распределена логарифмически нормально, если логарифмы её значений распределены по закону Гаусса

$$f(y) = \frac{M}{\sigma_\lambda\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(y-M_y)^2}{2\sigma_\lambda^2}\right] \qquad (21)$$

где $y = \lg x$, M_y - математическое ожидание случайной величины y, σ_λ - среднее квадратическое отклонение $\lg x$ от его математического ожидания (логарифмический стандарт), M - переводной коэффициент от натуральных логарифмов к десятичным.

Математическое ожидание $\lg x$ соответствует среднему геометрическому самой случайной величины x.

$$\mathrm{antlg}\,(M_{\lg x}) = \tilde{x} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} x_i} \qquad (22)$$

Логарифмический стандарт подсчитывается по формуле

$$\sigma_\lambda = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\lg x - M_{\lg x})^2}{n}} \qquad (23)$$

Кривая логарифмически нормального распределения имеет положительную (правостороннюю) асимметрию, причем $M_o < M_e < M_x$ тем сильнее, чем больше σ_λ. Эта кривая симметризуется с помощью логарифмического масштаба по оси абсцисс (рис. 5).

Кумулятивная функция логарифмически нормального распределения имеет вид

$$F(x) = \frac{1}{\sigma_\lambda\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{\lg x} e^{-\frac{(\lg x - M_{\lg x})^2}{2\sigma_\lambda^2}} d\lg x \qquad (24)$$

2.3. Сопоставление эмпирических и теоретических распределений

Распределение физических параметров однородного геологического объекта чаще всего подчиняется нормальному закону (например, плотность горной породы) или логнормальному закону (магнитная восприимчивость, удельное электрическое сопротивление, концентрация химических элементов). Для правильной обработки результатов измерений необходимо знать какому закону соответствует распределение данного физического свойства. В соответствии с законом распределения при построении вариационных кривых интервалы группирования физических свойств выбираются равными между собой в линейном масштабе при нормальном распределении. При построении полигонов и кумулят всегда показывают точки, по которым они строятся.

Для сравнения распределений графики накопления частостей удобно строить на вероятностном трафарете, который характеризуется вероятностной шкалой по оси ординат. На вероятностном трафарете нормальное распределение описывается прямой линией.

Сопоставление результатов эксперимента в виде гистограмм и графика накопления частостей с теоретическим нормальным распределением [illegible] рис. 6.

Кривые плотности вероятностей логарифмически нормального распределения

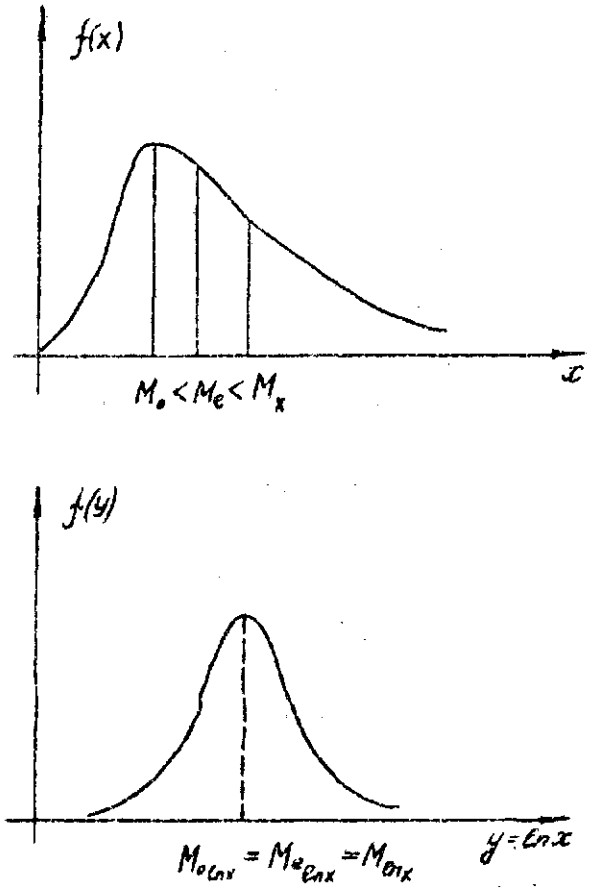


Рис. 5

Характер экспериментального (I) и теоретического нормального (2) распределений физического свойства x в виде гистограммы (а), графиков накопления частостей в обычном масштабе (б) и на вероятностном бланке (в)

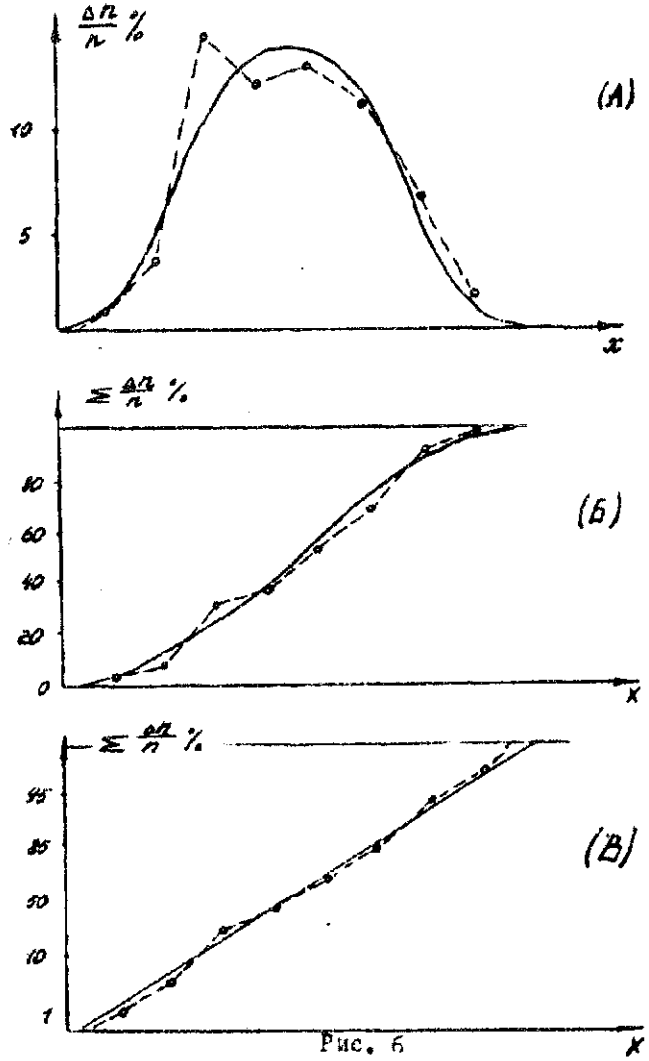


Рис. 6

Для проверки близости эмпирического и теоретического распределений используются критерии согласия χ^2 (хи - квадрат) Пирсона или λ А.Н.Колмогорова.

Критерий Пирсона основан на оценке статистической значимости расхождений эмпирических частот n_i вариационного ряда и частот n_i' соответствующего теоретического распределения, рис.6,а. Разности $n_i - n_i'$ возводятся в квадрат и делятся на n_i' откуда получают формулу критерия согласия χ^2

$$\chi_н^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(n_i - n_i')^2}{n_i'} \qquad (25)$$

где $\chi_н^2$ - найденное значение критерия Пирсона, k - число интервалов вариационного ряда.

Критерий Пирсона зависит от числа степеней свободы f и уровня значимости α. Число степеней свободы определяют по формуле

$$f = k - c \qquad (26)$$

в которой c - количество наложенных связей при вычислении теоретических частот. Для нормального распределения количество наложенных связей равно двум, так как при расчете теоретических частот необходимо знать два параметра: математическое ожидание M_x и стандарт σ_x. Поэтому при оценке близости эмпирической кривой к нормальному распределению число степеней свободы определяется по формуле $f = k - 2$. Уровень значимости обычно задается в виде $\alpha = 0{,}05$ или $\alpha = 0{,}01$. Зная α и f определяют теоретическое значение $\chi_{\alpha,f}^2$ для чего используют специальные таблицы / I /.

Найденное значение $\chi_н^2$ сравнивают с табличным $\chi_{\alpha,f}^2$. Если $\chi_н^2 < \chi_{\alpha,f}^2$, то эмпирическое распределение не противоречит теоретическому, если $\chi_н^2 > \chi_{\alpha,f}^2$, то наблюдается статистически значимое различие между эмпирическим распределением и теоретическим. Если гипотеза о нормальном распределении не подтверждается, то необходимо провести проверку исходных данных и выявить причины приводящие к нарушению нормального распределения.

Для проведения вычисления составляется специальная таблица 6. В качестве примера рассмотрим вариационный ряд распределения

Таблица 6

Расчет исходных данных для определения критерия согласия $\chi_н^2$

№ п/п	Интервалы содержания, %	x_i	n_i	...	$\Delta i = x_i - \bar{x}$	$t = \frac{\Delta i}{\sigma}$	$\varphi(t)$	$n_i' = k\varphi(t)$	$n_i - n_i'$	$(n_i - n_i')^2$	$\frac{(n_i - n_i')^2}{n_i'}$
1	38–40	39	6	...	-4,12	1,73	0,0893	3,75	2,25	5,06	1,35
2	40–42	41	10	...	-2,12	0,89	0,2685	11,28	1,28	1,64	0,15
3	42–44	43	15	...	-0,12	0,05	0,3984	16,73	1,73	2,99	0,18
4	44–46	45	13	...	+1,88	0,80	0,2897	12,17	0,83	0,69	0,06
5	46–48	47	6	...	+3,88	1,63	0,1057	4,44	1,56	2,43	0,55
I	2	3	4	...	8	9	10	11	12	13	14
Сумма			50								$\chi_н^2 = 2{,}29$

Примечание. $\bar{x} = 43{,}12$ Гц, $\sigma = 2{,}38$ Гц, $k = \frac{N\Delta x}{\sigma} = \frac{50 \cdot 2}{2{,}38} = 42$, $f = 5 - 2 = 3$

содержания железа в сплошных медноколчеданных рудах Гайского месторождения меди (таблица 4). Первые семь граф таблицы 6 совпадают с графами таблицы 4. Эти графы необходимы для нахождения среднего значения содержания железа $\bar{x}$ =43,12 % и стандарта S =2,38 %. Затем вычисляют для каждого интервала вариационного ряда отклонение Δ_i значений середины интервалов x_i от среднего значения $\bar{x}$ $\Delta_i = x_i - \bar{x}$ (графа 8). Подсчитывают нормированное отклонение $t = \frac{\Delta_i}{S}$, где S - стандарт вариационного ряда (графа 9). Подсчитывается нормированная плотность вероятности нормального распределения $\varphi(t)$ без учета знака t (графа 10). Значения функции $\varphi(t)$ приведены в таблице 8. Подсчитывается переходный коэффициент K от функции $\varphi(t)$ к теоретическим частотам нормального распределения по формуле

$$K = \frac{N \Delta X}{S} \qquad (27)$$

где N - объем выборки, ΔX - ширина интервала группирования, S - стандарт. Вычисляются теоретические частоты n_i' нормального распределения $n_i' = K \varphi(t)$ (графа 11). Находятся отклонения эмпирических частот от теоретических $n_i - n_i'$ (графа 12), квадраты этих отклонений (графа 13) и частные от деления этих квадратов на n_i' (графа 14). Наблюдаемое значение критерия Пирсона находятся как сумма значений четырнадцатой графы.

Найденное значение критерия Пирсона $\chi^2_н$ сравнивается с теоретическим $\chi^2_т$, приведенным в таблице 9. При уровне значимости α =0,05 и числе степеней свободы f =5-2=3 $\chi^2_{0,05;3}$ =7,82 > > 2,28= χ^2. Следовательно, вариационный ряд распределения содержания железа в рудах Гайского месторождения не противоречит нормальному закону. Вероятность случайного расхождения между теоретическим и статистическим распределением достаточно велика и можно считать правдоподобной гипотезу о нормальном распределении статистической совокупности.

Критерий согласия λ А.Н.Колмогорова основан на подсчете максимального значения модуля разности между графиком накопленных частот (кумулятой) вариационного ряда (рис.6) и теоретической функцией распределения

$$D = max\,|w - F(x)| \qquad (28)$$

w - кумулята вариационного ряда, $F(x)$ - нормированная кумулятивная функция нормального распределения (интеграл вероятности).

Значения кумулятивной функции нормального распределения подсчитываются по формуле

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \qquad (29)$$

В таблице 10 приведены значения функции

$$F'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{0}^{t} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \qquad (30)$$

Используя эту таблицу можно найти кумулятивную функцию нормального распределения по формулам

$$F(x) = 0,5 + F'(x)$$
$$F(-x) = 0,5 - F'(x) \qquad (31)$$

Критерий согласия А.Н.Колмогорова определяется соотношением $\lambda = D\sqrt{N}$, где N - число независимых наблюдений (объем выборки) Найденное значение критерия $\lambda_н$ сравнивается с теоретическим при уровне значимости α =0,05 $\lambda_{0,05}$ =1,36. Если найденное значение $\lambda_н < \lambda_{0,05}$, то вариационный ряд не противоречит нормальному распределению. Если $\lambda_н > \lambda_{0,05}$, то вариационный ряд не согласуется с нормальным распределением.

Для проведения вычислений составляется таблица 7.

Максимальное значение модуля разности между кумулятой вариационного ряда и нормированной кумулятивной функцией распределения в рассматриваемом случае равно $D = max|w - F(t)|$ =0,025. При этом найденное значение критерия А.Н.Колмогорова равно $\lambda_н = D\sqrt{N}$ =0,025$\sqrt{50}$ = 0,18. Поскольку найденное значение $\lambda_н$ меньше критического для 5 % - ного уровня значимости $\lambda_н < \lambda_{0,05}$ (1,36), то вариационный ряд распределения содержания железа в рудах Гайского месторождения не противоречат нормальному закону.

Способ построения кумулятивных кривых на вероятностном графарете рис.6.8 имеет ряд преимуществ перед методом построения

Таблица 7

Расчет исходных данных для определения критерия согласия λ

Номер п/п	Интервалы содержаний, % $a - b$	n_i	Частость $w_i = \frac{n_i}{N}$	Накопленная частость w	$t = \frac{b - \bar{x}}{S}$	$F(t)$	$\lvert w - F(t) \rvert$
I	2	3	4	5	6	7	8
I	38–40	6	0,I2	0,I2	-I,3I	0,095	0,025
2	40–42	I0	0,20	0,32	-0,47	0,3I9	0,00I
3	42–44	I5	0,30	0,62	0,37	0,644	0,024
4	44–46	I3	0,26	0,88	+I,2I	0,089	0,007
5	46–48	6	0,I2	I,00	+2,05	0,098	0,020
	Сумма	50					

Примечание. a и b – соответственно начало и конец i-го интервала,
$\bar{x} = 43,I2\%\ Fe$, $S = 2,38\%\ Fe$ $N = 50$

вариационных кривых. Главными преимуществами являются: универсальность, пригодность для обработки нормального и логнормального распределений, простота аппроксимации семейства точек прямой линией, особенно в краевых частях распределения, возможность группировки в неравных интервалах группирования, возможность простой, но строгой оценки гипотезы нормальности (или логнормальности) с использованием критериев А.Н.Колмогорова.

ЗАДАНИЕ

по статистической обработке результатов измерения физических свойств горных пород.

I. Выполнить статистическую обработку результатов измерения физических свойств горных пород медноколчеданного месторождения Абей-Сай-Тау-Тау (Баймакский район БаССР). Составить вариационные ряды значений электросопротивления и плотности кварцевых альбитофиров, которые приведены в таблице II. Построить графики, вычислить статистические характеристики, подсчитать критерии согласия эмпирических вариационных рядов и теоретических распределений

2. Выполнить статистическую обработку результатов измерения физических свойств горных пород. Для этого построить графики, вычислить статистические характеристики и подсчитать критерии согласия эмпирических вариационных рядов с нормальным распределением физических параметров.

Варианты заданий по статистической обработке.

Вариант I. Распределение плотности хромовой руды, г/см^3.

Вариант 2. Распределение плотности силикатной никелевой руды, г/см^3.

Вариант 3. Распределение влажности силикатной никелевой руды, %.

Таблица 8.

Таблицы вариационных рядов

Вариант I		Вариант 2		Вариант 3	
классы	частоты	классы	частоты	классы	частоты
3,0-3,I	I	I-I,2	I	I0-20	I
3,I-3,2	2	I,2-I,4	2	20-30	8
3,2-3,3	7	I,4-I,6	3	30-40	29
3,3-3,4	II	I,6-I,8	8	40-50	23
3,4-3,5	I9	I,8-2,0	33	50-60	I0
3,5-3,6	I6	2,0-2,2	I4	60-70	3
3,6-3,7	8	2,2-2,4	I0	70-80	2
3,7-3,8	7	2,4-2,6	4		
3,8-3,9	2	2,6-2,8	I		
	Σ = 73		Σ = 76		Σ = 76

Таблица № 9

Таблица значений функции $\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$

x	0	I	2	3	4	5	6	7	8
0,0	0,3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977
0,I	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925
0,2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836
0,3	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712
0,4	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555
0,5	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372
0,6	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166
0,7	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943
0,8	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709
0,9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468
I,0	0,2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227
I,I	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989
I,2	I942	I919	I895	I872	I849	I826	I804	I781	I758
I,3	I714	I691	I669	I647	I626	I604	I582	I561	I539
I,4	I497	I476	I456	I435	I415	I394	I374	I354	I334
I,5	I295	I276	I257	I238	I219	I200	I182	I163	I145
I,6	I109	I092	I074	I057	I040	I023	I006	0989	0973
I,7	0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818
I,8	0790	0775	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681
I,9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562
2,0	0,0540	0529	0519	0508	0498	0488	0478	0468	0459
2,I	0440	0431	0422	0413	0404	0396	0387	0379	0371
2,2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297
2,3	0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0235
2,4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184
2,5	0175	0171	0167	0163	0158	0154	0151	0147	0143
2,6	0136	0132	0129	0126	0122	0119	0116	0113	0110
2,7	0104	0101	0099	0096	0093	0091	0088	0086	0084
2,8	0079	0077	0075	0073	0071	0069	0067	0065	0063
2,9	0060	0058	0056	0055	0053	0051	0050	0048	0047
3,0	0,0044	0043	0042	0040	0039	0038	0037	0035	0034
3,I	0033	0032	0031	0030	0029	0028	0027	0026	0025
3,2	0024	0023	0022	0022	0021	0020	0020	0019	0018
3,3	0017	0017	0016	0016	0015	0015	0014	0014	0013
3,4	0012	0012	0012	0011	0011	0010	0010	0010	0009
3,5	0009	0008	0008	0008	0008	0007	0007	0007	0007
3,6	0006	0006	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0004
3,7	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0003	0003
3,8	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0002	0002	0002
3,9	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0001	0001

Таблица 10

Значения статистики Хи -квадрат ($\chi^2_{\alpha,f}$)

f	χ^2	f	χ^2	f	χ^2
		Уровень значимости α = 0,05			
I	3,84	II	I9,67	2I	32,67
2	5,99	I2	2I,03	22	33,92
3	7,82	I3	22,36	23	35,I7
4	9,49	I4	23,68	24	36,4I
5	II,07	I5	25,00	25	37,65
6	I2,59	I6	26,30	26	38,88
7	I4,07	I7	27,59	27	40,II
8	I5,5I	I8	28,87	28	4I,34
9	I6,92	I9	30,I4	29	42,56
I0	I8,3I	20	3I,4I	30	43,77
		Уровень значимости α = 0,0I			
I	6,63	II	24,73	2I	38,93
2	9,2I	I2	26,22	22	40,29
3	II,34	I3	27,69	23	4I,64
4	I3,28	I4	29,I4	24	42,96
5	I5,09	I5	30,58	25	44,3I
6	I6,8I	I6	32,00	26	45,64
7	I8,48	I7	33,4I	27	48,96
8	20,09	I8	34,80	28	48,28
9	2I,67	I9	36,I9	29	49,59
I0	23,2I	20	37,57	30	50,89

Таблица №II,2

Таблица значений функции $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0,0	0,00000	00399	00798	0II97	01595	01994	02392	02790	03188
0,I	03983	04380	04776	05I72	05567	05962	06356	06749	07142
0,2	07926	08317	08706	09095	09483	0987I	I0257	I0642	I1026
0,3	II79I	I2172	I2552	I2930	I3307	I3683	I4058	I443I	I4803
0,4	I5542	I59I0	I6276	I6640	I7003	I7364	I7724	I8082	I8439
0,5	I9I46	I9497	I9847	20I94	20540	20884	2I226	2I566	2I904
0,6	22575	22907	23237	23565	2389I	24215	24537	24857	25I73
0,7	25804	26II5	26424	26730	27035	27337	27637	27935	28230
0,8	288I4	29I03	29389	29673	29955	30234	305II	30785	3I057
0,9	3I594	3I859	32I2I	32383	32639	32894	33I47	33398	33646
I,0	34I34	34375	346I4	34850	35083	353I4	35543	35769	35993
I,I	36433	36650	36864	37076	37286	37493	37698	37900	38I00
I,2	38493	38686	38877	39065	3925I	39435	396I7	397?6	39973
I,3	40320	40490	40658	40824	40988	4II49	4I309	4I466	4I62I
I,4	4I924	42073	42220	42364	42507	42647	42786	42922	43056
I,5	43I9	43448	43574	43699	43822	42943	43062	44I79	44295
I,6	44520	44630	44738	44845	44950	45052	45I54	45I54	45352
I,7	45543	45637	45728	458I8	45907	45994	46080	46I64	46246
I,8	46407	46485	46562	46638	467I2	46784	46856	46926	46995
I,9	47I28	47I93	47257	47320	4738I	4744I	47500	47558	476I5
2,0	47725	47778	4783I	47882	47932	47982	48030	48077	48I24
2,I	482I4	48257	48300	4834I	48382	48422	4846I	485?0	48537
2,2	486I0	48645	48679	487I3	48745	48778	48809	48840	4886?
2,3	48928	48956	48983	49010	49036	4906I	49086	49III	49I34
2,4	49I80	49202	49224	49245	49266	49286	49306	49324	49343
2,5	49379	49396	494I3	49430	49446	4946I	49477	49492	49506
2,6	49534	49547	49560	49573	49585	49598	49609	4962I	49632
2,7	49653	49664	49674	49683	49693	49702	497II	49720	49728
2,8	49744	49752	49760	49767	49774	4978I	49788	49795	49801
2,9	498I3	498I9	49825	4983I	49836	4984I	43846	498?I	498??
3,0	0,49865		3,I	49903	3,2	4993I	3,3	49952	3,4
3,5	49977		3,6	49984	3,7	49989	3,8	49993	3,9
4,0	499968								
4,5	499997								
5,0	49999997								

Таблица 12

Физические свойства кварцевых альбитофиров месторождение Абей-Сяз-Тау-Тау

Номер	ρ (Ом·м)	σ (г/см³)	Номер	ρ (Ом·м)	σ (г/см³)
I	920	2,67	3I	II00	2,74
2	970	2,69	32	I300	2,75
3	I200	2,63	33	700	2,73
4	I300	2,65	34	660	2,8I
5	4200	2,6I	35	II00	2,64
6	3700	2,64	36	I500	2,72
7	2200	2,7I	37	8I0	2,80
8	3500	2,7I	38	I300	2,94
9	5700	2,68	39	740	2,77
I0	5800	2,69	40	920	2,90
II	6000	2,68	4I	560	2,75
I2	4800	2,7I	42	940	2,75
I3	3900	2,73	43	990	2,74
I4	7600	2,7I	44	I300	2,74
I5	3900	2,58	45	450	2,59
I6	840	2,72	46	2400	2,68
I7	420	2,65	47	5800	2,67
I8	660	2,74	48	I600	2,73
I9	3000	2,95	49	5400	2,77
20	800	2,75	50	3200	2,68
2I	I000	2,75	5I	420	2,97
22	670	2,8I	52	I600	2,89
23	I200	2,74	53	I600	2,83
24	I400	2,75	54	I500	2,7I
25	750	2,9I	55	400	2,72
26	2500	2,75	56	370	2,75
27	I900	2,74	57	2000	2,68
28	I000	2,75	58	480	2,73
29	I200	2,74	59	690	2,76
30	I900	2,75	60	2000	2,68

Номер	ρ (Ом·м)	σ (г/см³)	Номер	ρ (Ом·м)	σ (г/см³)
6I	I300	2,77	9I	350	2,7I
62	I500	2,64	92	460	2,8I
63	2500	2,78	93	I90	2,77
64	9600	2,72	94	300	2,60
65	680	2,73	95	640	2,90
66	5000	2,80	96	I60	2,74
67	500	2,75	97	830	2,70
68	I500	2,75	98	I200	2,90
69	890	2,76	99	II00	2,72
70	I000	2,70	I00	I600	2,72
7I	3500	2,72	I0I	790	2,70
72	2900	2,73	I02	6I0	2,73
73	7700	2,58	I03	990	2,78
74	II00	2,60	I04	II00	2,74
75	I200	2,74	I05	8500	2,72
76	5700	2,70	I06	I0900	2,70
77	580	2,66	I07	I0000	2,70
78	230	2,75	I08	I2000	2,68
79	240	2,70	I09	2800	2,77
80	200	2,87	II0	4I00	2,66
8I	200	2,84	III	8700	2,63
82	350	2,73	II2	I2000	2,68
83	II00	2,82	II3	I0000	2,67
84	220	2,73	II4	8200	2,69
85	220	2,70	II5	9000	2,66
86	9I	2,7I	II6	9600	2,65
87	I80	2,83	II7	2200	2,72
88	300	2,66	II8	9200	2,68
89	400	2,87	II9	4200	2,70
90	I7	2,85	I20	7700	2,75

Номер	ρ (Ом м)	σ (г/см^3)	Номер	ρ (Ом м)	σ (г/см^3)
I2I	3700	2,67	I5I	6I0	2,60
I22	4400	2,66	I52	360	2,90
I23	6I00	2,7I	I53	940	2,82
I24	9300	2,65	I54	660	2,84
I25	I400	2,73	I55	900	2,75
I26	6400	2,67	I56	I000	2,83
I27	2I0	2,68	I57	930	2,93
I28	260	2,76	I58	I50	2,89
I29	220	2,83	I59	470	2,8I
I30	460	2,8I	I60	630	2,84
I3I	360	2,85	I6I	770	2,82
I32	270	2,8I	I62	690	2,79
I33	490	2,76	I63	300	2,83
I34	370	2,77	I64	63	2,86
I35	430	2,82	I65	200	2,85
I36	I70	2,72	I66	3I0	2,84
I37	400	2,78	I67	380	2,80
I38	240	2,80	I68	5200	2,8I
I39	2I0	2,8I	I69	5500	2,80
I40	450	2,79	I70	3300	2,8I
I4I	3I0	2,84	I7I	7I00	2,69
I42	260	2,83	I72	4400	2,79
I43	200	2,8I	I73	4800	2,7I
I44	440	2,87	I74	4000	2,8I
I45	400	2,86	I75	59	2,75
I46	270	2,84	I76	4I	2,77
I47	980	2,83	I77	I93	2,90
I48	820	2,83	I78	220	2,70
I49	630	2,86	I79	3I6	2,7I
I50	720	2,89	I8I	306	2,79
			I82	270	2,77
			I83	340	2,72

3. Работа № 3. ОЦЕНКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

При картировании горных пород геологическая эффективность геофизических методов может быть оценена по их информативности. Расчет информативности основан на оценке среднего количества информации о системе горных пород Y, содержащейся в сообщении о состоянии системы значений физического поля X. Для численных расчетов необходимо ознакомиться с некоторыми понятиями теории информации.

3.1. Теоретические предпосылки

Из курса теории информации известно понятие физической системы /1/. Для геофизиков-разведчиков физической системой может быть система значений физического поля, набор геологических объектов, система типов горных пород и т.д.

Пусть X физическая система, которая случайным образом может оказаться в том или ином состоянии, т.е. системе X присуща какая-то степень неопределенности. Меру неопределенности состояния физической системы будем называть энтропией. Сведения тем ценнее и содержательнее, чем больше была неопределенность системы X априори до их получения.

Степень неопределенности состояния системы определяется числом ее возможных состояний и вероятностью этих состояний. Например, монета может оказаться в одном из двух состояний "герб" или "решка". Кубик имеет шесть возможных состояний. Степень неопределенности состояний кубика больше, чем монеты. Априорные вероятности состояний монеты равны 0,5. Двигатель внутреннего сгорания тоже может оказаться в одном из двух состояний рабочем или нерабочем. Однако вероятность запущенного двигателя оказаться в рабочем состоянии равна 0,99. Степень неопределенности такой системы значительно меньше, чем у монеты. Таким образом, для описания неопределенности состояния системы необходимо знать количество возможных состояний и их вероятности.

В общем случае система X принимает состояния $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots x_n$ с вероятностями $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$, где $p_i = P(X \sim x_i)$ - вероятность того, что система X примет состояние x_i. Символом $X \sim x_i$ будем обозначать событие, состоящее в том, что система X находится в состоянии x_i. При этом все состояния образуют полную группу попарно несовместных событий, которые в сумме дают достоверное событие $\sum_{i=1}^{n} p_i = 1$.

Запишем данные о состоянии системы X в виде таблицы:

x_i	x_1	x_2	x_3	...	x_n
p_i	p_1	p_2	p_3	...	p_n

В верхней строке таблицы записаны возможные состояния системы, а в нижней строке вероятности возможных состояний. Эта таблица сходна с рядом распределения прерывной случайной величины X с возможными значениями $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$, имеющими вероятности $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$. Для того, чтобы свести состояния физической системы к случайной величине X, достаточно приписать каждому состоянию какое-то числовое значение, например, его номер.

Мерой априорной неопределенности состояния системы является энтропия. Энтропией системы называется сумма произведений вероятностей различных состояний системы на логарифмы этих вероятностей, взятая с обратным знаком

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_a p_i \qquad (3.1)$$

Знак минус перед суммой поставлен для того, чтобы энтропия была положительной, т.к. $p_i < 1$ и $\log p_i < 0$. Основание логарифма может быть любым $a > 1$. Перемена основания равносильна умножению энтропии на постоянное число, а выбор основания равносилен выбору единицы измерения энтропии. Например, при $a = 10$ единицы называются десятичными, при $a = 2$ единицы называются двоичными.

Двоичные единицы хорошо совпадают с двоичной системой счисления ЭВМ. При выборе основания логарифма $a = 2$ за единицу измерения энтропии принимается энтропия физической системы X, которая имеет два равновозможных состояния, например, энтропия монеты, ячейки памяти на ферритах или энтропия одного разряда двоичного числа, которое может принимать значения 0 или 1.

Систему с двумя равновозможными состояниями можно представить в виде:

x_i	x_1	x_2
p_i	0,5	0,5

Энтропия такой системы равна единице, которая называется двоичной единицей энтропии

$$H(X) = -\left(\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2}\right) = 1$$

Двоичная единица энтропии называется битом, от слова *bit* (сокращения от *binary digit* - двоичный знак). Это энтропия одного разряда двоичного числа.

В качестве примера подсчитаем в двоичных единицах энтропию системы X, имеющую n равновозможных состояний:

X_i	X_1	X_2	...	X_n
P_i	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n}$	...	$\frac{1}{n}$

По формуле (3.1)

$$H(X) = -n\frac{1}{n}\log_2\frac{1}{n} = -\log_2 1 + \log_2 n = \log_2 n \quad (3.2)$$

т.е. энтропия такой системы равна двоичному логарифму числа состояний.

Энтропия физической системы, подсчитанная по формуле (3.1), удовлетворяет трем основным свойствам:

- она обращается в нуль, когда одно из состояний системы достоверно, а другие состояния невозможны;
- при заданном числе состояний n, она обращается в максимум, когда состояния равновероятны;
- обладает свойством аддитивности, т.е. при объединении независимых систем их энтропии складываются.

Таким образом, подсчет энтропии по формуле (3.1) правильно характеризует степень неопределенности физического состояния системы, что и обусловило выбор формулы (3.1) для количественных подсчетов энтропии.

Для подсчета энтропии удобно использовать функцию:

$$\eta(p) = -p\log_2 p,$$

значения которой табулированы от нуля до единицы через 0,01 и приведены в приложении (таблица 3.1). Используя функцию $\eta(p)$, выражение (3.1) можно переписать в виде

$$H(X) = \sum_{i=1}^{n}\eta(p_i) \quad V \qquad (3.3)$$

Рассмотрим примеры количественных подсчетов энтропии геофизических систем.

Пример 1. Определить энтропию системы, состоящей из двух методов магниторазведки и гравиразведки, привлеченных в помощь геологическому картированию участка работ. В результате съемки система геофизических измерений X может оказаться в одном из четырех возможных состояний: $X \sim x_1$ - оба измерения высокие, $X \sim x_2$ - магниторазведка представлена высокими значениями, а гравиразведка низкими, $X \sim x_3$ - магниторазведка представлена низкими значениями, а гравиразведка высокими, $X \sim x_4$ - оба измерения низкие. Вероятности этих состояний, соответственно равны 0,2, 0,3, 0,4, 0,1.

Решение. Запишем условие задачи в виде таблицы состояний

X_i	X_1	X_2	X_3	X_4
P_i	0,2	0,3	0,4	0,1

По формуле (3) находим:

$$H(X) = \sum_{i=1}^{n}\eta(p_i) = \eta(0,2) + \eta(0,3) + \eta(0,4) + \eta(0,1)$$

Используя таблицу (3.1) получаем

$$H(X) = 0,4644 + 0,5211 + 0,5288 + 0,3322 = 1,85\ bit$$

Пример 2. Определить максимальную возможную энтропию системы из трех геофизических методов (магниторазведка, гравиразведка и электроразведка), каждый из которых может быть в четырех возможных состояниях.

Решение. Общее число возможных состояний равно $n = 4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$. Максимальная возможная энтропия системы будет в том случае, когда все состояния системы равновероятны. При этом по формуле (3.2) находим $H(X) = \log_2 64 = 6\ bit$.

Под объединением двух систем X и Y с возможными состояниями $X_1, X_2 \ldots X_n$ и $Y_1, Y_2 \ldots Y_m$ понимается сложная система (X, Y), состояния которой (x_i, y_j) представляет собой набор всех возможных состояний x_i и y_j. Число таких комбинаций будет $n \cdot m$.

Обозначим $P_{ij} = P(X \sim x_i, Y \sim y_j)$ вероятность того, что система (X, Y) будет в состоянии (x_i, y_j). Вероятности P_{ij} можно представить в виде таблицы.

y_j	x_i			
	x_1	x_2	...	x_n
y_1	p_{11}	p_{21}	...	p_{n1}
y_2	p_{12}	p_{22}	...	p_{n2}
⋮	...	...	...	...
y_m	p_{1m}	p_{2m}	...	p_{nm}

Энтропия сложной системы по определению равна

$$H(X,Y) = -\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} p_{ij} \log p_{ij} \qquad (3.4)$$

Если X и Y независимы, то при объединении систем их энтропии складываются

$$H(X,Y) = H(X) + H(Y) \qquad (3.5)$$

Если объединяются зависимые системы, то энтропия объединения меньше энтропий составных частей.

Обозначим $P(y_j/x_i)$ условную вероятность того, что система Y примет состояние y_j при условии, что система X находится в состоянии x_i

$$P(y_j/x_i) = P(Y \sim y_j / X \sim x_i)$$

Условную энтропию системы Y при условии, что система X находится в состоянии x_i, обозначим $H(Y/x_i)$.

По определению

$$H(Y/x_i) = -\sum_{j=1}^{m} P(y_j/x_i) \log P(y_j/x_i) \qquad (3.6)$$

Условная энтропия системы Y зависит от того, какое состояние x_i приняла система X. Таких состояний n. Вероятность этих состояний известна. Система Y может принимать разные состояния с вероятностью p_i.

Полную (среднюю) энтропию системы Y обозначим $H(Y/X)$. По определению среднего

$$H(Y/X) = \sum_{i=1}^{n} p_i H(Y/x_i) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \sum_{j=1}^{m} P(y_j/x_i) \log P(y_j/x_i) \qquad (3.7)$$

Условная энтропия $H(Y/X)$ характеризует степень неопределенности системы Y, остающуюся после того, как состояние системы X полностью определилось. Это полная условная энтропия системы Y. Порядок выполнения расчетов по формуле (3.7) проиллюстрируем на примере.

Пример. Имеются две системы Y и X, объединенные в одну (X,Y), где Y – система типов горных пород, X – система интервалов значений физического поля.

Каротажные диаграммы измерений радиоактивности и электрического поля исследуемых типов горных пород приведены на рис. 3.1. Горные породы сложены глинами y_1, песчаниками y_2 и известняками y_3. По скважине выполняется каротаж ГК (гамма-каротаж), ПС (каротаж потенциалов собственной поляризации горных пород), КС (каротаж кажущегося сопротивления) и НГК (нейтронный гамма-каротаж).

Требуется оценить степень неопределенности состояния системы горных пород Y, оставшуюся после того, как состояние системы интервалов значений физического поля X полностью определилось, т.е. все измерения выполнены.

Для определенности в качестве системы X выберем интервалы значений радиоактивного поля. Глины имеют повышенное значение радиоактивности 20–30 мкР/ч и выше, песчаники средние значения 10–20 мкР/ч, известняки имеют низкую радиоактивность 0–10 мкР/ч. Учитывая сказанное, интервалы значений естественной радиоактивности горных пород выберем следующим образом: x_1 в пределах 20–30 мкР/ч и выше, x_2 в пределах 10–20 мкР/ч, x_3 в пределах 0–10 мкР/ч.

Решение. Подсчитаем вероятности состояний $p_{ij} = P(X \sim x_i, Y \sim y_j)$ объединенной системы (X, Y). Для этого воспользуемся геометрической трактовкой понятия вероятности. Геометрическая вероятность обобщает классическое определение вероятности, как частоты появления события при многократном воспроизведении эксперимента, на бесконечное множество исходов эксперимента.

К понятию геометрической вероятности приводит задача о бросании точки в некоторую ограниченную область G, содержащую

в себе меньшую по размерам область g. Если событие A состоит в попадании точки в область g, то $P(A) = mes\, g / mes\, G$, где $mes\, g$ и $mes\, G$ – меры областей g и G. Это могут быть отрезки длин, площади, объемы. В нашем случае это отрезки длин по оси скважины.

С учетом сказанного, вероятность встречи горной породы j-го типа y_j равна:

$$P(y_j) = L(y_j)/L, \qquad (3.8)$$

вероятность наблюдения гамма-поля в i-том интервале значений x_i равна

$$P(x_i) = L(x_i)/L \qquad (3.9)$$

вероятность одновременной встречи горной породы j-го типа и наблюдения гамма-поля в i-ом интервале значений x_i равна

$$P(y_j, x_i) = L(y_j, x_i)/L \qquad (3.10)$$

где $L(y_j)$ – суммарный интервал встречи скважины с породой j-го типа, $L(x_i)$ – суммарный интервал наблюдения гамма-поля в интервале значений x_i, L – полная длина профиля наблюдений.

Составим таблицу P_{ij} вероятностей состояния системы (X, Y)

y_j		x_i			
		$X \sim x_i$			$P_j = P(Y \sim y_j)$
		x_1 (0-10)	x_2 (10-20)	x_3 (20-30)	
$Y \sim y_j$	y_1 (глина)	0	0,02	0.43	0,45
	y_2 (песчаник)	0	P_{ij}=0,39	0,03	0,42
	y_3 (известняк)	0,12	0,01	0	0,13
$P_i = P(X \sim x_i)$		0,12	0,42	0,46	1,0

По теории умножения вероятностей

$$p_i\, P(y_j/x_i) = P_{ij} \qquad (3.11)$$

откуда следует, что условные вероятности того, что система типов горных пород Y примет состояние y_j при условии, что система интервалов радиоактивного поля X находится в состоянии x_i, будут равны

$$P(y_j/x_i) = P_{ij}/p_i \qquad (3.12)$$

Поделив каждое значение таблицы P_{ij} на вероятности появления интервалов значений радиоактивного поля p_i, получим таблицу условных вероятностей $P(y_j/x_i)$, которая имеет вид:

y_j		x_i			
		$X \sim x_i$			
		x_1 (0-10)	x_2 (10-20)	x_3 (20-30)	
$Y \sim y_j$	y_1 (глина)	0	0.05	0,94	
	y_2 (песчаник)	0	$P(y_j/x_i)$=0,93	0,06	
	y_3 (известняк)	1	0.02	0	
$P_i = P(X \sim x_i)$		0,12	0,42	0,46	

Подсчитаем условную энтропию системы типов горных пород Y, остающуюся после того, как состояние системы интервалов значений радиоактивного поля X полностью определилось. Для этого используем формулу полной условной энтропии (3.7):

$$H(Y/X) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} p_i\, \eta\left[P(y_j/x_i)\right] \qquad (3.13)$$

где $\eta(p) = -p \log_2 p$ – табулированная функция, приведенная в таблице 3.1 .

Воспользовшись таблицей 3.1 , находим:

$$H(Y/X) = 0{,}12\left[\eta(0)+\eta(0)+\eta(1)\right]+0{,}42\left[\eta(0{,}05)+\eta(0{,}93)+\right.$$

$$\left.+\eta(0{,}02)\right]+0{,}46\left[\eta(0{,}94)+\eta(0{,}06)+\eta(0)\right]=0{,}42\left[0{,}2161+\right.$$

$$\left.+0{,}0974+0{,}1128\right]+0{,}46\left[0{,}0839+0{,}2436\right]=0{,}328\ bit$$

Таким образом, неопределенность системы Y , оставшаяся после того, как состояние системы X полностью определилось, характеризуется энтропией 0,328 bit .

Установим связь между энтропией и информацией. Любые сведения (информация) уменьшают неопределенность системы (энтропию). Поэтому, естественно, количество информации измерять уменьшением энтропии.

Если до получения информации (априори) энтропия была $H(X)$, а после получения сведений состояние системы полностью определилось, т.е. энтропия стала равной нулю, то

$$J_X = H(X) - 0 = H(X) \qquad (3.14)$$

где J_X – информация о системе X .

Таким образом, количество информации, приобретаемое при полном выяснении состояния системы равно энтропии этой системы

$$J_X = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i \qquad (3.15)$$

где $p_i = P(X \sim x_i)$ – вероятность того, что система находится в состоянии x_i .

Естественно, каждое слагаемое выражения (3.15) рассматривать как частную информацию J_{x_i} отдельного сообщения о том, что система X находится в состоянии x_i

$$J_{x_i} = -\log p_i \qquad (3.16)$$

Тогда J_X будет средней (полной) информацией, получаемой от всех возможных отдельных сообщений с учетом их вероятностей. Если все возможные состояния априори равновероятны $p_1 = p_2 = \dots p_n = \frac{1}{n}$, то частная информация от отдельного сообщения $J_{x_i} = -\log p_i = \log n$ равна средней информации $J_X = -n\frac{1}{n}\log\frac{1}{n} = \log n$.

Измеряя информацию в двоичных единицах, мы характеризуем ее числом ответов "да" или "нет".

Действительно, для того чтобы выяснить состояние системы X , которая может оказаться в одном из двух состояний

x_i	x_1	x_2
p_i	p_1	p_2

Надо задать вопрос. Находится ли система X в состоянии x_1 ? Ответ "да" или "нет" доставляет информацию, которая достигает своего максимального значения $J_X = 1$, когда оба состояния априори равновероятны $p_1 = p_2 = \frac{1}{2}$ например, состояние системы "монета" . Таким образом, максимальная информация, даваемая ответом "да" или "нет", равна одной двоичной единице. Если информация равна n bit , то она равносильна информации, даваемой n ответами "да" или "нет" на вопросы, поставленные таким образом, что ответы "да" или "нет" одинаково вероятны.

Информация равна разности энтропий до и после получения сообщения о результатах измерений физического поля. Подсчитаем информацию, которую доставляют результаты измерений физического поля при определении типов исследуемых горных пород на участке работ. Такой подсчет позволяет оценить геологическую информативность используемого геофизического метода или комплекса методов.

Сформулируем задачу следующим образом. Получены сведения о результатах наблюдений физического поля X , которое связано с системой типов горных пород на участке работ Y . Какую информацию о системе Y дает наблюдение системы X ?

Определим среднюю (полную) информацию о системе Y , содержащейся в системе X , как уменьшение энтропии системы Y в результате получения сведений о X

$$J_{X-Y} = H(Y) - H(Y/X) \qquad (3.17)$$

где $H(y)$ – априорная энтропия системы y, $H(y/x)$ – апостериорная (остаточная) энтропия системы y, остающаяся после получения сведений о системе x.

Заметим, что $J_{x \to y} = J_{y \to x}$. Из двух систем каждая содержит относительно другой одну и ту же информацию, т.е. $H(x) - H(x/y) = H(y) - H(y/x)$.

Пример. Найти информацию о системе типов горных пород y, которая содержится в результатах измерений их естественной радиоактивности x.

Решение. Полная (средняя) информация о системе y, содержащаяся в системе x, подсчитывается по формуле (3.17). Энтропия системы y априори равна:

$$H(y) = \sum_{i=1}^{n} \eta[p(y_i)]$$

где $\eta(p) = -p \log_2 p$ – табулированная функция, приведенная в таблице 3.1. Априорные геометрические вероятности состояний системы y равны: для глин $p_1 = 0{,}45$, для песчаников $p_2 = 0{,}42$, для известняков $p_3 = 0{,}13$.

Воспользовавшись таблицей 3.1 находим априорную энтропию системы y

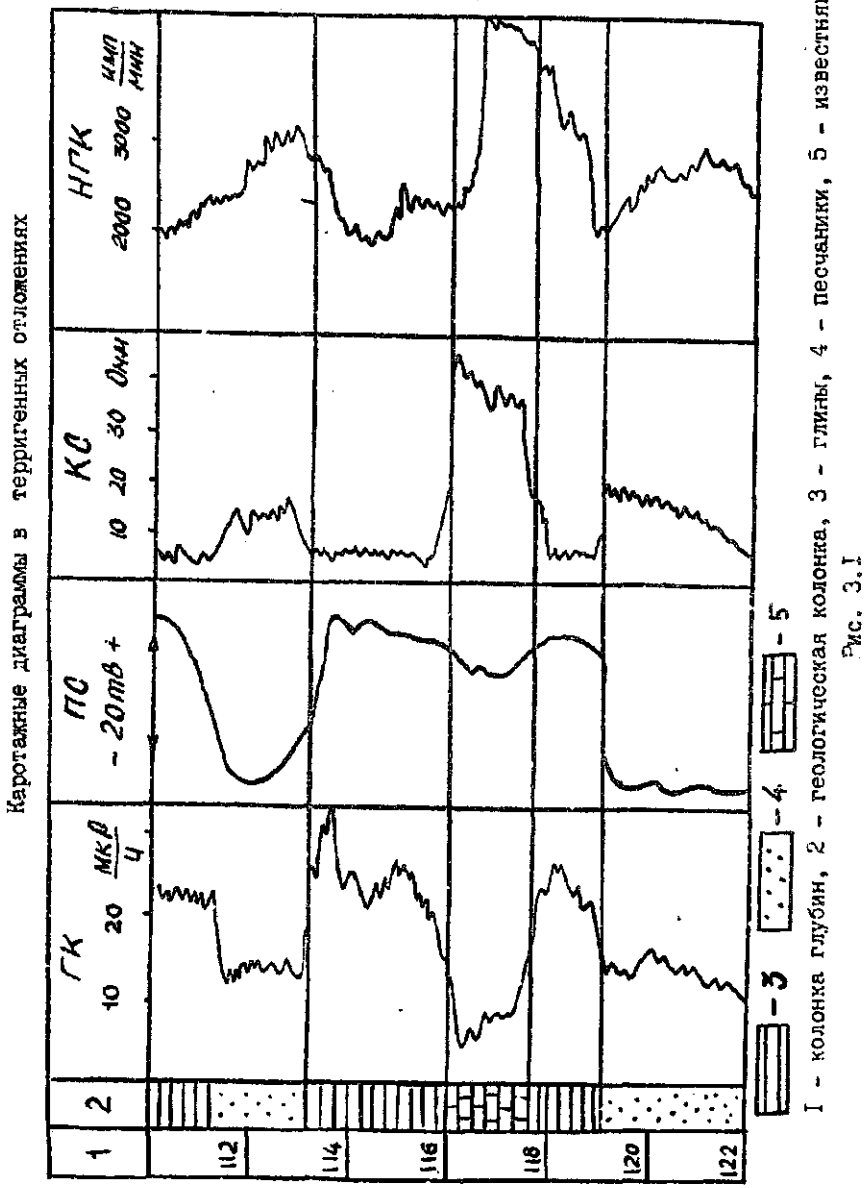
$$H(y) = \eta(0{,}45) + \eta(0{,}42) + \eta(0{,}13) = 0{,}5184 + 0{,}5256 + 0{,}3826 = 1{,}4266 \ бит$$

Апостериорная энтропия системы y, оставшаяся после выполнения измерений естественной радиоактивности горных пород, подсчитана ранее и равна $H(y/x) = 0{,}328 \ бит$.

Таким образом, информация о системе y, содержащаяся в системе x, равна

$$J_{x \to y} = 1{,}4266 - 0{,}328 = 1{,}0986 \ бит$$

Для сравнения геологической информативности различных геофизических методов удобно использовать понятие относительной информации, которая получается путем нормировки абсолютной информации к априорной энтропии системы типов горных пород y. Относительная информация, доставляемая измерением естественной радиоактивности горных пород, в рассматриваемом случае равна



Каротажные диаграммы в терригенных отложениях

1 – колонка глубин, 2 – геологическая колонка, 3 – глины, 4 – песчаники, 5 – известняки.

Рис. 3.1

$$J_{x\to y}/H(y) = \frac{1,0986}{1,4266}\cdot 100\% = 77\%$$

Затем подсчитывается относительная геологическая информативность других геофизических методов. В комплекс геофизических методов для решения задачи литологического расчленения горных пород, изображенных на рис 3.1, кроме гамма-каротажа /ГК/ входят методы электрического каротажа кажущегося сопротивления /КС/, потенциалов собственной поляризации горных пород /ПС/ и нейтронный гамма-каротаж /НГК/. Если в результате расчета относительная информация, доставляемая измерениями КС, ПС и НГК окажется выше, чем у метода ГК, то предпочтение отдается тому методу, у которого информативность при решении задачи литологического расчленения горных пород будет максимальной.

Удобство относительной информации заключается в том, что она не зависит от априорной энтропии системы горных пород.

3.2. Задание

Расчитать абсолютную и относительную геологическую информативность каротажа потенциалов собственной поляризации горных пород (ПС), каротажа кажущегося сопротивления (КС) и нейтронного гамма-каротажа (НГК) при расчлении терригенных горных пород, приведенных на рис. 3.1 . С этой целью определить априорную энтропию системы горных пород и апостериорную энтропию, возникающую после применения каждого метода в отдельности. Для определения вероятностей встречи горных пород j-го типа, вероятностей наблюдения физического поля в i-ом интервале значений и вероятностей одновременной встречи горных пород j-го типа и наблюдений физического поля в i-ом интервале значений использовать геометрическое определение вероятности. Сравнить относительные геологические информативности использованных геофизических методов и выделить наиболее информативный метод для решения задачи о литологическом расчлении горных пород по данным каротажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.- М.: Физматгиз, 1962.- 564 с.

Таблица 3.1

Таблица значений функции $\eta(p) = -p\log_2 p$

p	$\eta(p)$	p	$\eta(p)$	p	$\eta(p)$
0	0	0,34	0,5292	0,68	0,3784
0,01	0,0664	0,35	0,5301	0,69	0,3694
0,02	0,0664	0,36	0,5306	0,70	0,3602
0,03	0,1518	0,37	0,5307	0,71	0,3508
0,04	0,1858	0,38	0,5305	0,72	0,3412
0,05	0,2161	0,39	0,5298	0,73	0,3314
0,06	0,2435	0,40	0,5288	0,74	0,3215
0,07	0,2686	0,41	0,5274	0,75	0,3113
0,08	0,2915	0,42	0,5256	0,76	0,3009
0,09	0,3126	0,43	0,5236	0,77	0,2903
0,10	0,3322	0,44	0,5210	0,78	0,2796
0,11	0,3503	0,45	0,5184	0,79	0,2687
0,12	0,3671	0,46	0,5153	0,80	0,2575
0,13	0,3826	0,47	0,5120	0,81	0,2462
0,14	0,3971	0,48	0,5083	0,82	0,2348
0,15	0,4105	0,49	0,5043	0,83	0,2231
0,16	0,4230	0,50	0,5000	0,84	0,2112
0,17	0,4346	0,51	0,4954	0,85	0,1992
0,18	0,4453	0,52	0,4906	0,86	0,1871
0,19	0,4552	0,53	0,4854	0,87	0,1748
0,20	0,4644	0,54	0,4800	0,88	0,1623
0,21	0,4728	0,55	0,4744	0,89	0,1496
0,22	0,4806	0,56	0,4685	0,90	0,1368
0,23	0,4877	0,57	0,4623	0,91	0,1238
0,24	0,4941	0,58	0,4558	0,92	0,1107
0,25	0,5000	0,59	0,4491	0,93	0,0974
0,26	0,5053	0,60	0,4422	0,94	0,0839
0,27	0,5100	0,61	0,4350	0,95	0,0703
0,28	0,5142	0,62	0,4276	0,96	0,0565
0,29	0,5179	0,63	0,4199	0,97	0,0426
0,30	0,5211	0,64	0,4121	0,98	0,0286
0,31	0,5238	0,65	0,4040	0,99	0,0144
0,32	0,5260	0,66	0,3957	1,00	0
0,33	0,5278	0,67	0,3871		

4. Работа № 4. НОРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ, АНОМАЛИИ, ПОМЕХА

4.I. Общие сведения

При геологическом истолковании геофизических данных важное значение имеют понятия нормального поля, аномалии и помехи.

Под геофизической аномалией понимается отклонение физического поля от его нормальных значений. Нормальным полем считается геофизическое поле, обусловленное однородными по физическому параметру горными породами.

Нормальное поле может быть искусственным и естественным. Нормальное искусственное поле определяется полем заданного источника в однородной бесконечной среде. Нормальное естественное поле задается полем Земли.

В частности нормальное поле силы тяжести g_0 вычисляется по Ф.Гельмерту

$$g_0 = g_{экв}\left(1 + \beta_1 \sin^2\varphi + \beta_2 \sin^2 2\varphi\right) \qquad (4.1)$$

где $g_{экв}$ – значение силы тяжести на экваторе,
φ – широта местности,
β_1 и β_2 – константы по Ф.Гельмерту.

Аномалией считается уклонение измеренного значения g от нормального $\Delta g = g - g_0$ с поправкой за высоту точки наблюдения (аномалия Фая) и за промежуточный слой (аномалия Буге).

Нормальное магнитное поле T_0 является суммарным магнитным полем диполя Земли $T_д$, материков $T_м$ и космического пространства $T_е$

$$T_0 = T_д + T_м + T_е \qquad (4.2)$$

Аномалией считается уклонение измеренного магнитного поля T от нормального $\Delta T = T - T_0$. В настоящее время составлены подробные карты нормального магнитного поля (изодинамы) и градиента нормального поля (изопоры).

Аномалии делятся на региональные и локальные. В качестве модели поля принимается аддитивная модель, т.е. результаты измерений в i-ой точке f_i имеют вид

$$f_i = a_{i\,рег} + a_{i\,лок} + n_{i\,пом} \qquad (4.3)$$

где $a_{i\,рег}$ – региональная (фоновая) составляющая аномалии,
$a_{i\,лок}$ – локальная аномалия,
$n_{i\,пом}$ – помеха.

При разделении полей на региональную и локальную составляющие модель поля упрощается. При выделении региональной составляющей локальную составляющую относят к помехам

$$f_i = a_{i\,рег} + n_{i\,пом} \qquad (4.4)$$

При выделении локальной составляющей региональная составляющая относится к помехам

$$f_i = a_{i\,лок} + n_{i\,пом} \qquad (4.5)$$

При выделении аномалий действует принцип относительности. От крупных и мелких структурных единиц выделяются аномалии различных порядков. Поэтому часто используют понятие местного нормального поля, под которым понимают относительно спокойное поле, типичное в среднем для участка геофизической съемки.

При выделении локальных и региональных аномалий следует помнить, что локальная аномалия по своим линейным размерам в пять раз и более меньше изучаемой площади (профиля). Региональная аномалия по линейным размерам в пять раз и более превышает локальные аномалии.

По физико-геологической природе аномалии делятся на три группы. Одни связаны с месторождениями полезных ископаемых (рудные), другие с геологическими структурами, нарушениями, контактами (структурные), а третьи с глубинным строением Земли, земной коры (глубинные).

Под помехами понимаются факторы, осложняющие измерения геофизических полей и интерпретацию результатов измерений.

Помехи делятся на геологические, связанные с влиянием геологических неоднородностей или рельефом, и негеологические, связанные с вариацией геофизических полей во времени, случай-

щими токами и т.д.

Помехи бывают случайными и неслучайными. Случайные помехи обусловлены большим числом неконтролируемых факторов, действия каждого из которых незначительно. К неслучайным помехам относятся фоновые помехи и систематические расхождения.

Для выделения аномалий на фоне помех используются статистические критерии. Аномальными считаются точки, на которых амплитуда измеренного поля превышает уровень разрешенной изменчивости нормального поля. Уровень изменчивости характеризуется величиной общей дисперсии наблюденного поля $\mathcal{D}_o$, которая складывается из природной дисперсии $\mathcal{D}_z$, определяемой геологическими факторами, и дисперсии геофизической съемки $\mathcal{D}_c$, определяемой точностью измерений,

$$\mathcal{D}_o = \mathcal{D}_z + \mathcal{D}_c \qquad (4.6)$$

По определению $\mathcal{D} = \sigma^2$, где σ – среднеквадратическое отклонение случайной величины от ее математического ожидания. Поэтому выражение (4.6) можно переписать в виде

$$\sigma_o^2 = \sigma_z^2 + \sigma_e^2 \qquad (4.7)$$

где σ_o – общее среднеквадратическое отклонение наблюденного поля (стандарт),

σ_z – среднеквадратическая погрешность геологических помех,

σ_e – среднеквадратическая погрешность съемки

Если фоновые значения поля распределены по нормальному закону, нижний аномальный предел A_{min}, ограничивающий уровень разрешенных колебаний нормального поля, определяется соотношением

$$A_{min} = A_\varphi \pm 3\sigma_o \qquad (4.8)$$

где A_φ – среднее арифметическое частных значений нормального фона,

σ_o – общий стандарт наблюденного поля.

Если фоновые значения поля подчинены логнормальному

закону, нижний аномальный предел, ограничивающий уровень разрешенных колебаний нормального поля, определяется

$$A_{min} = A_\varphi \, \varepsilon^{\pm 3} \qquad (4.9)$$

где A_φ – среднее геометрическое частных значений нормального поля,

ε – стандартный множитель.

Фоновые значения могут превышать предел A_{min}. Однако вероятность этого равна 0,0028, а вероятность закономерной эволюции 0,9972.

Требования к уровню A_{min} могут быть снижены в случае коррелируемости точек с повышенными значениями поля по m профилям или при наличии m высоких значений подряд по профилю. При этом

$$A_{min} = A_\varphi \pm \frac{3\sigma_o}{\sqrt{m}} \quad (m \le 9) \qquad (4.10)$$

если фоновые значения распределены по нормальному закону и

$$A_{min} = A_\varphi \, \varepsilon^{\pm 3/\sqrt{m}} \quad (m \le 9) \qquad (4.11)$$

если фоновые значения подчинены логнормальному закону.

В требованиях (4.10) и (4.11) $m \le 9$, т.к. вероятность того, что 9 пикетов подряд в области нормального поля будут превышать нижний аномальный предел исчезающе мала. По теореме умножения вероятностей $P(A_\varphi > A_{min}) = 6 \cdot 10^{-3}$, т.е. высокие помехи одного знака, как независимые события маловероятны.

При планировании точности наблюдений следует руководствоваться следующими положениями.

Наблюдения с неоправданно высокой точностью ведут к увеличению затрат средств и времени, а недостаточная точность приводит к пропуску объекта.

Точность геофизической съемки определяется уровнем помех. При интенсивных помехах повышение точности измерений приводит к увеличению затрат труда и времени, но не дает желаемого ре-

зультата. Возрастает лишь фиктивная, кажущаяся, а не истинная точность.

Планирование точности наблюдений основано на трех параметрах: минимальной амплитуде аномалии, подлежащей обнаружению, или нижнем аномальном пределе A_{min}, среднеквадратической погрешности геофизической съемки σ_c, среднеквадратической погрешности геологических помех $\sigma_г$.

Нижний аномальный предел определяется путем решения прямой задачи для заданной физико-геологической модели (ФГМ) объекта поисков при наиболее неблагоприятных условиях от минимальных промышленных рудных тел или из опыта предшествующих геофизических работ.

Среднеквадратическая погрешность съемки оценивается по результатам повторных наблюдений и подсчитывается по формуле:

$$\sigma_c = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (f_i^0 - f_i^n)^2}{2n}} \qquad (4.12)$$

где – f_i^0 и f_i^n – основной и повторный замеры,
n – число парных измерений.

Повторные наблюдения выполняются в пределах нормальных или фоновых значений в количестве 3–5% от числа основных замеров.

Среднеквадратическая погрешность геологических помех определяется из соотношения (4.7)

$$\sigma_г^2 = \sigma_o^2 - \sigma_c^2 \qquad (4.13)$$

Общая среднеквадратическая погрешность наблюдений определяется по разности N наблюденных значений f_i от их нормальных (фоновых) значений f_φ по формуле

$$\sigma_o = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (f_i - f_\varphi)^2}{N-1}} \qquad (4.14)$$

где f_φ – среднее арифметическое результатов измерений в нормальном поле, которое подсчитывается по формуле

$$f_\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{N} f_i}{N} \qquad (4.15)$$

Обычно точность наблюдений, методику работ и аппаратуру подбирают так, чтобы расчетная аномалия от заданной физико-геологической модели объекта поисков превышала нижний аномальный предел

$$A \geq A_{min} \geq A_\varphi \pm 3\sigma_o \qquad (4.16)$$

При выполнении геофизических работ возможны два случая, определяемые уровнем геологических помех.

Если уровень помех геологического происхождения мал $\sigma_c^2 \gg \sigma_г^2$, то разрешающая способность геофизической съемки σ_c определяется аппаратурой и методикой работ. В этом случае целесообразно применять высокоточную прецизионную аппаратуру. Например, высокоточная магниторазведка $\sigma_c = 1 \div 2$ нТл позволяет разделять слабомагнитные бокситы на фоне немагнитных известняков.

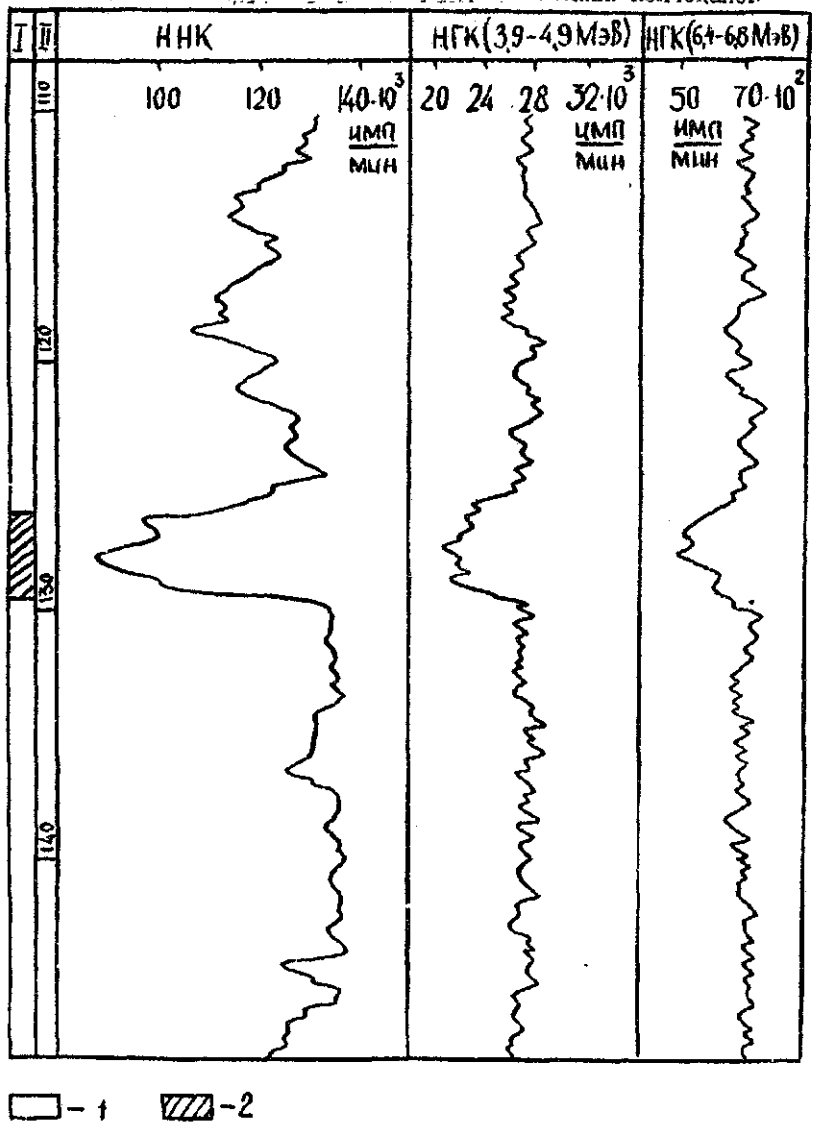
Если дисперсия геологических помех велика $\sigma_г^2 \gg \sigma_c^2$, то использовать прецизионную съемку не имеет смысла. Например, нецелесообразно применять высокоточную магниторазведку в горных районах из-за помех, связанных с рельефом местности.

В качестве примера рассмотрим результаты измерений в методе вызванных потенциалов. Путем измерений установлено, что $\sigma_c^2 = 0{,}12$, общая дисперсия наблюдений $\sigma_o^2 = 1{,}3$. При этом $\sigma_г^2 = \sigma_o^2 - \sigma_c^2 = 1{,}18$, т.е. дисперсия геологических помех велика $\sigma_г^2 \gg \sigma_c^2$ и повышение точности наблюдений нецелесообразно.

Для снижения дисперсии съемки σ_c^2 и дисперсии геологических помех $\sigma_г^2$ используются следующие приемы.

Дисперсия съемки зависит от порога чувствительности прибора, количества измерений на точке n с последующим усред-

Результаты ядерно-геофизических измерений по скв. 2428
Восточно-Семеновского месторождения медных колчеданов



1 – геологическая колонка; 11– глубина, м; 1 – серицито-кварцевая порода, 2 – медно-цинкорый колчедан

Рис. 4.1

нением $\overline{\sigma_c}^2 = \frac{\sigma_c^2}{n}$, и мешающих факторов, таких как вариации поля во времени, градиентов поля, установки и центровки прибора на точке и других. Поэтому снижение дисперсии съемки достигается с помощью более точной аппаратуры, методики работ и введения поправок за влияние мещающих факторов. Влияние каждого фактора оценивается отдельно при неизменности влияния остальных факторов.

Уменьшение дисперсии геологических помех достигается статистической обработкой исходных данных. Обычное осреднение в пределах окна из n точек позволяет уменьшить дисперсию геологических помех в n раз $\overline{\sigma_г}^2 = \sigma_г^2/n$. Кроме того помехи могут коррелировать между собой и отличаться от аномалий по частотной характеристике (по спектру). Поэтому, помехи геологического происхождения можно уменьшить путем соответствующих приемов обработки исходных данных (корреляционный и спектральный анализ).

4.2. Содержание задания

По данным ядерногеофизических измерений в скважине определить расположение вероятностей залежи медноколчеданной руды путем выделения аномальных значений регистрируемого нейтронного или гамма-поля. Полевые измерения проведены на Восточно-Семеновском месторождении медно-цинковых колчеданов нейтрон-нейтронным и нейтронным гамма-методом. Результаты измерений изображены в виде диаграмм нейтрон-нейтронного (ННК) и нейтронного гамма-каротажа (НГК) на рис.4.I и приведены в табл.4.I.

Измерения нейтронного поля выполнены по тепловым нейтронам в интегральном варианте. Нейтронные гамма-измерения выполнены в спектрометрическом варианте в области захватного гамма-излучения породообразующих элементов (3,9–4,9 *МэВ*) и в области рудных элементов (6,4–6,8 *МэВ*).

Для исследования скважин методом НГК использовалась аппаратура СГСЛ-2 и каротажный подъемник СК-I. Нейтронное поле создавалось с помощью Ро-Ве-источника мощностью $4 \cdot 10^7$ нейтрон/с. Методикой работ предусматривалось выполнение нейтрон-нейтронного каротажа по тепловым нейтронам. Для регистрации нейтронов использовался детектор типа ЛДНМ.

Наличие цинка и кадмия в медных рудах месторождений приводит к тому, что рудные интервалы выделяются минимумами скорости счета тепловых нейтронов и захватного гамма-излучения. Содержание породообразующих элементов определялось по скорости счета захватного гамма-излучения в области аналитических линий кремния 3,9–4,9 МэВ. Для определения содержания меди использовалась область спектра 6,4–6,8 МэВ.

Таблица 4.1

РЕЗУЛЬТАТЫ

ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО СКВАЖИНЕ № 2428

ГОСТОЧНО-СЕМЕНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ КОЛЧЕДАНОВ

Глубина м	Значения ННК, имп/мин		Значения НГК, (3,9–4,9 МэВ), имп/мин		Значения НГК (6,4–6,8 МэВ), имп/мин	
	основн.	повторн.	основн.	повторн.	основн.	повторн.
III	$129 \cdot 10^3$	$128 \cdot 10^3$	$27{,}0 \cdot 10^3$	$27{,}5 \cdot 10^3$	$73 \cdot 10^2$	$72 \cdot 10^2$
II2	I26	I26	26,5	26,8	68	70
II3	II9	I20	27,2	27,0	70	7I
II4	II3	II4	27,2	27,0	70	7I
II5	I20	II9	27,6	27,5	76	74
II6	I2I	I22	27,0	28,0	70	70
II7	II4	II4	26,0	27,0	73	72
II8	II3	III	27,0	26,0	75	74
II9	I09	III	28,0	27,0	68	70
I20	I22	I2I	27,0	27,0	73	72
I2I	II5	II5	27,8	27,6	70	70
I22	I23	I22	28,5	28,3	75	74
I23	I26	I25	26,0	26,0	70	72
I24	I27	I25	27,8	27,6	75	74
I25	I2I	I2I	26,0	26,0	70	70
I26	II0	I07	24,0	24,5	62	62
I27	97	98	22,0	22,5	52	50
I28	87	89	22,0	22,0	55	53
I29	I00	I02	22,0	21,5	60	6I
I30	I34	I34	27,5	27,4	78	76

Продолжение таблицы 4.I

Глубина м	Значения ННК, имп/мин		Значения НГК (3,9–4,9 МэВ), имп/мин		Значения НГК (6,4–6,8 МэВ), имп/мин	
	основн.	повт.	основн.	повторн.	основн.	повторн.
I3I	$133 \cdot 10^3$	$134 \cdot 10^3$	$27{,}0 \cdot 10^3$	$27{,}0 \cdot 10^3$	$74 \cdot 10^2$	$74 \cdot 10^2$
I32	I34	I34	26,7	26,5	72	72
I33	I35	I35	26,5	26,3	67	68
I34	I33	I34	28,0	27,5	68	68
I35	I30		27,8		72	
I36	I28		27,5		73	
I37	I34		28,0		70	
I38	I36		27,0		70	
I39	I35		27,5		72	
I40	I36		27,5		73	
I4I	I35		27,5		70	
I42	I36		27,0		75	
I43	I33		28,0		70	
I44	I30		28,0		72	
I45	I35		28,0		75	
I46	I28		27,0		73	
I47	I26		27,0		75	
I48	I20		27,5		68	
I49	I2I		28,0		73	
I50	I28		28,0		72	
I5I	I23		27,2		75	
I52	I29		26,5		70	
I53	I25		27,2		75	
I54	$118 \cdot 10^3$		$26{,}5 \cdot 10^3$		$72 \cdot 10^2$	

В таблице приведены результаты основных и повторных измерений нейтронного и гамма-поля при выполнении нейтрон-нейтронного и нейтронного гамма-каротажа. Результаты повторных наблюдений предназначены для оценки точности данных ННК и НГК.

Требуется выполнить следующее.

Скопировать на кальку диаграммы нейтрон-нейтронного каро-

тажа по тепловым нейтронам и нейтронного гамма-каротажа в интервалах энергий 3,9–4,9 МэВ и 6,4–6,8 МэВ. Оценить структуру поля. Выделить местное нормальное поле для каждой диаграммы каротажа, учитывая, что рудная залежь выделяется понижениями значения поля на диаграммах ННК и НГК.

Для каждой из наблюденных кривых вычислить значения общей среднеквадратической погрешности наблюдений σ_0, среднеквадратической погрешности съемки σ_c и среднеквадратической погрешности геологических помех $\sigma_г$ используя для этого соотношения (4.I4), (4.I2), (4.I3). Найти нижний аномальный предел для каждого вида ядерногеофизических измерений, используя для этого соотношение (4.8). Сопоставить уровень помех геологического происхождения с точностью геофизических наблюдений. Дать рекомендации о необходимой точности измерений в каждом методе и целесообразности увеличения точности для решения поставленной задачи.

По вычисленным значениям нижнего аномального предела выделить аномалии нейтронного и гамма-поля на диаграммах ННК и НГК. Дать геологическое истолкование выделенных аномалий.

5. Работа № 5. КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

5.I. Общие положения

Функция комплексного показателя (ФКП) применяется в тех случаях, когда объект исследований не создает устойчивых сигналов в полях разных методов, когда эти сигналы малы и сопоставимы с инструментальными и геологическими помехами. Способ предложен Г.С.Вахромеевым /I/. Суть способа заключается в составлении обобщенной функции комплексного показателя Q, которая представляет собой результат смешения сигналов разной природы, выраженных в цифровой форме.

Функция комплексного показателя служит для свертывания информации, полученной несколькими геофизическими методами, приведения наблюдений к уровню нормального поля, выделения слабых аномалий на фоне помех и разделения выявленных комплексных аномалий на перспективные и неперспективные.

Для определения ФКП необходимо предварительно перевести результаты всех частных методов в равноточные безразмерные величины показателей контрастности γ. Показатель контрастности j-го метода в i-ой точке подсчитывается по формуле

$$\gamma_{ji} = \frac{A_{ji} - \bar{A}_j}{S_j} \qquad (5.I)$$

где γ_{ji} – показатель контрастности j-го метода в i-ой точке,

A_{ji} – значение j-го измеренного признака в i-ой точке профиля,

$\bar{A}_j$ – среднеарифметическое (фоновое) значение j-го признака,

S_j – стандарт j-го признака, который подсчитывается по формуле

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (A_{ji} - \bar{A}_j)^2}{n-1}} \qquad (5.2)$$

где n – число измерений j-го признака по профилю.

Преимуществом использования понятия контрастности в виде (5.I), когда значения сигнала нормируются по стандарту, является то, что значения показателя контрастности γ_{ji} распределены по закону Гауса с нулевым средним $\overline{\gamma_{ji}} = 0$ и единичным стандартом $S(\gamma_j) = I$.

Вид функции комплексного показателя выбирается над эталонным объектом по материалам натурного моделирования или исходя из физико-геологической модели искомого объекта так, чтобы добиться максимальной контрастности аномалий ФКП над объектом при одновременном подавлении аномалий ФКП над объектами-помехами.

В зависимости от формы и знака аномалий отдельных методов различают четыре возможных случая.

I. Полезные сигналы частных методов имеют одинаковую форму и одинаковый знак. В этом случае

$$Q_i = \sum_{j=1}^{\rho} \gamma_{ji} \qquad (5.3)$$

где Q_i – значение функции комплексного показателя в точке i профиля,

ρ – количество частных методик,

γ_{ji} – значение j -го частного метода в i -ой точке профиля в безразмерных величинах показателя контрастности.

Примером для рассматриваемого случая могут служить аномалии Δg и ΔZ над вертикально намагниченным шаром с избыточной плотностью, которые имеют сходный вид.

2. Полезные сигналы частных методов имеют примерно одинаковую форму, но различны по знаку, тогда

$$Q_i = \sum_{j=1}^{\rho} |\gamma_{ji}| \qquad (5.4)$$

Примером может служить положительная гравитационная аномалия и отрицательная аномалия естественного поля над залежью медной руды.

3. Полезные аномалии имеют примерно одинаковую форму и знак, но для некоторых методов наличие сигнала – не положи-

Пример обработки сигналов при подсчете ФКП над обводненным контактом двух горных пород

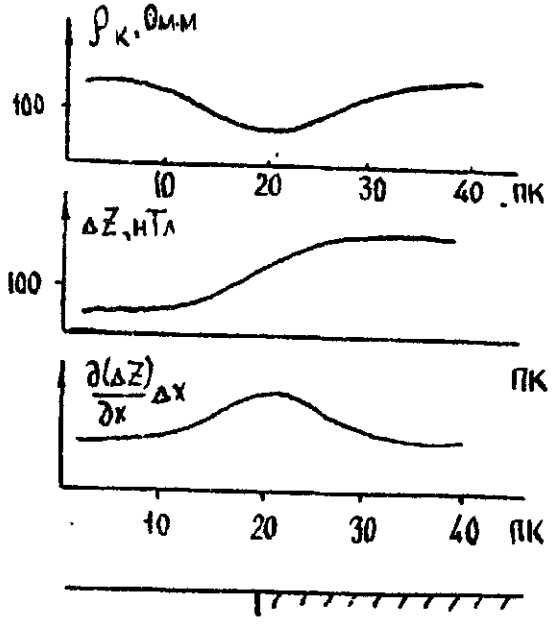


Рис. 5.1

тельный фактор контроля искомого объекта, а отрицательный. При этом

$$Q_i = \sum_{j=1}^{\rho} \gamma_{ji} - \sum_{k=1}^{q} \gamma_{ki} \qquad (5.5)$$

где ρ и q – число методов, аномалии которых являются, соответственно, положительными и отрицательными факторами контроля искомого объекта. Например, при поисках сульфидных кобальто-пиритовых зон, положительные аномалии ΔZ являются фактором неперспективности оруденения, так как связаны с дайками диабазов. Перевод магниторазведки в разряд негативных факторов подчеркивает комплексную аномалию над кобальто-пиритовыми рудами и одновременно подавляет неперспективные ореолы кобальта над дайками диабазов, которые в рассматриваемом случае относятся к разряду помех.

4. Полезные сигналы различны по форме и знаку. В этом случае один из сигналов обрабатывается так, чтобы в результате обработки его вид был сходен с видом других сигналов.

Например, контакт двух горных пород выделяется по данным электроразведки (СЭП) минимумом.

По данным магниторазведки (ΔZ) аномалия имеет вид ступени, рис.5.I. Для получения сходных кривых достаточно результаты магниторазведки графически продифференцировать

$$\Delta Z_x' = \frac{d(\Delta Z)}{dx} \Delta x$$

а затем перейти к расчету ФКП по формуле, соответствующей второму случаю (5.4)

$$Q = |\gamma_{\rho x}| + |\gamma_{\Delta Z_x'}|$$

Другим примером может служить мощный намагниченный пласт с избыточной плотностью. Он выделяется по данным гравитационной разведки положительной аномалией Δg.

По данным магниторазведки (ΔZ) аномалия имеет несимметричный вид с двумя экстремумами, рис.5.2. Для получения сходного вида кривых из аномалии ΔZ следует выделить кривую арктангенсов и после этого перейти к подсчету ФКП по формуле (5.3).

Пример обработки сигналов при подсчете ФКП над мощным наклонным вертикально намагниченным пластом с избыточной плотностью

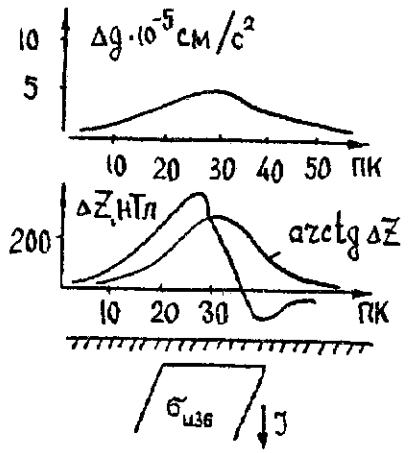
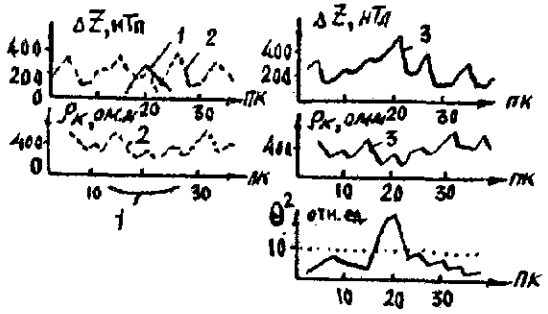


Рис. 5.2

Модельный пример использования ФКП в виде при поисках кимберлитовых тел в траппах /по Г.С.Рахромееву/



1 – вид искомой аномалии от кимберлитовых тел, 2 – график помехи, 3 – суммарный сигнал аномалии и помехи

Рис. 5.3

$$Q = \gamma_{\Delta g} + \gamma_{arctg\,\Delta Z}$$

Учет знака полезных сигналов можно осуществить также с помощью ФКП, заданной в виде квадратов контрастностей отдельных методов. При этом подсчет ведется по формуле

$$Q_i^2 = \sum_{j=1}^{m} \gamma_{ji} - \sum_{k=1}^{n} \gamma_{ki}^2 \qquad (5.6)$$

где m и n – число методов, аномалии которых являются, соответственно, положительными и отрицательными факторами контроля искомого объекта.

Значимость результата оценивается по критерию χ^2 (χ – квадрат). При $Q^2 > \chi^2$ аномалия Q^2 значима.

Возможности методики задания ФКП в виде квадратов контрастностей отдельных методов рассмотрены на модельном примере, рис.5.3, где решается задача поисков кимберлитовых тел в траппах по данным магниторазведки (ΔZ) и электроразведки ($\rho_к$). Согласно физико-геологической модели кимберлитовой трубки над ней ожидается положительная аномалия ΔZ и пониженное значение $\rho_к$. В каждом из методов отмечаются интенсивные помехи, превосходящие по величине аномалию от кимберлитовой трубки. На графике суммарного поля полезный сигнал визуально не обнаруживается. Расчет функции комплексного показателя в виде Q^2 дает в центральной части профиля отчетливую аномалию, надежно превышающую предельную величину χ^2-критерия, который при 2%-ном уровне значимости равен $\chi^2_{\alpha=0,02} = 9,8$. Аномалия ФКП в виде Q^2 позволяет локализовать местоположение кимберлитовой трубки.

Введем понятие показателя контрастности ФКП соотношением

$$\gamma_{Qi} = \frac{Q_i - Q_\phi}{S_Q} \qquad (5.7)$$

где γ_{Qi} – показатель контрастности ФКП в i-ой точке профиля, Q_i – значение ФКП в i-ой точке профиля, Q_ϕ – фоновое значение ФКП, S_Q – стандарт ФКП.

Значимость аномалий ФКП оценивается по нижнему аномальному

пределу $Q_a = 3S_Q$, где S_Q – стандартное отклонение ФКП.

Для аномалий коррелированных по n точкам или профилям ($n \leq 9$) нижний аномальный предел можно снизить. Он будет равен $Q_a = 3\sqrt{m/n}$.

Преимуществом использования ФКП является то, что контрастность аномалий ФКП существенно превышает контрастность отдельных методов. Амплитуда аномалий ФКП складывается из амплитуд аномалий отдельных методов. Она пропорциональна числу методов m, т.е. $Q \sim m$. Если значения сигналов отдельных методов представлены в виде показателей контрастности (5.I), то дисперсии их единичны, т.е. $D(\gamma_1) = D(\gamma_2) = D(\gamma_3) = \cdots D(\gamma_m) = 1$, где m – число методов. При этом дисперсия ФКП для некоррелированных признаков будет равна

$$D_Q = \sum_{i=1}^{m} D(\gamma_i) = m\,D(\gamma_i) = m$$

Откуда следует

$$S_Q = \sqrt{m} \qquad (5.8)$$

При подсчете ФКП показатели отдельных методов суммируются. Поскольку фоновые значения показателей контрастности отдельных методов равны нулю, то и сумма их равна нулю, т.е. фоновые значения ФКП равны нулю $Q_\phi = 0$.

При этом контрастность ФКП будет

$$\gamma_Q = \frac{Q - Q_\phi}{S_Q} = \frac{m}{\sqrt{m}} = \sqrt{m} \qquad (5.9)$$

Таким образом, контрастность аномалии ФКП в $\sqrt{m}$ раз больше, чем контрастность отдельных методов.

Например, обнаружен комплексный рудный ореол, содержащий медь, цинк и свинец. В условных единицах фоновые содержания свинца, цинка и меди составляют $Pb_\phi = 10$, $Zn_\phi = 20$, $Cu_\phi = 50$. Максимальные концентрации, соответственно, равны $Pb_{max} = 15$, $Zn_{max} = 30$, и $Cu_{max} = 65$. Стандартные отклонения примем равными единице $S_{Cu} = S_{Zn} = S_{Pb} = 1$. Подсчитаем контрастность суммарного ореола, если показатели контрастности отдельных измерений подсчитываются по формуле (5.I).

В рассматриваемом случае максимальные значения показателей контрастности отдельных измерений будут

$$\gamma_{Pb} = \frac{15-10}{1} = 5$$

$$\gamma_{Zn} = \frac{30-20}{1} = 10$$

$$\gamma_{Cu} = \frac{65-50}{1} = 15$$

Фоновые значения контрастностей отдельных измерений равны нулю. Максимальное значение ФКП суммарного ореола будет равно

$$Q_{max} = \gamma_{Pb} + \gamma_{Zn} + \gamma_{Cu} = 5 + 10 + 15 = 30$$

Фоновое значение ФКП суммарного ореола равно нулю $Q_{\phi} = 0$. Стандартное отклонение ФКП суммарного ореола будет

$$S_Q = \sqrt{S_{Pb}^2 + S_{Zn}^2 + S_{Cu}^2} = \sqrt{3}$$

При этом контрастность ФКП суммарного ореола равна

$$\gamma_Q = \frac{Q_{max} - Q_{\phi}}{S_Q} = 17$$

Таким образом, контрастность аномалии ФКП превышает значения контрастностей отдельных методов.

Контрастность аномалии ФКП можно повысить трансформацией исходных данных, например, подавлением высокочастотной помехи путем сглаживания методом среднего арифметического.

Если n числ точек в сглаживающем окне, то вычисление скользящего среднего уменьшает дисперсию фона в n раз.

Действительно, контрастность сглаженной аномалии будет

$$\tilde{\gamma}_{ji} = \frac{A_{ji} - \bar{A}_j}{\tilde{S}_j} \qquad (5.11)$$

где $\tilde{\gamma}_{ji}$ – сглаженные значения контрастности j-го метода в i-ой точке,

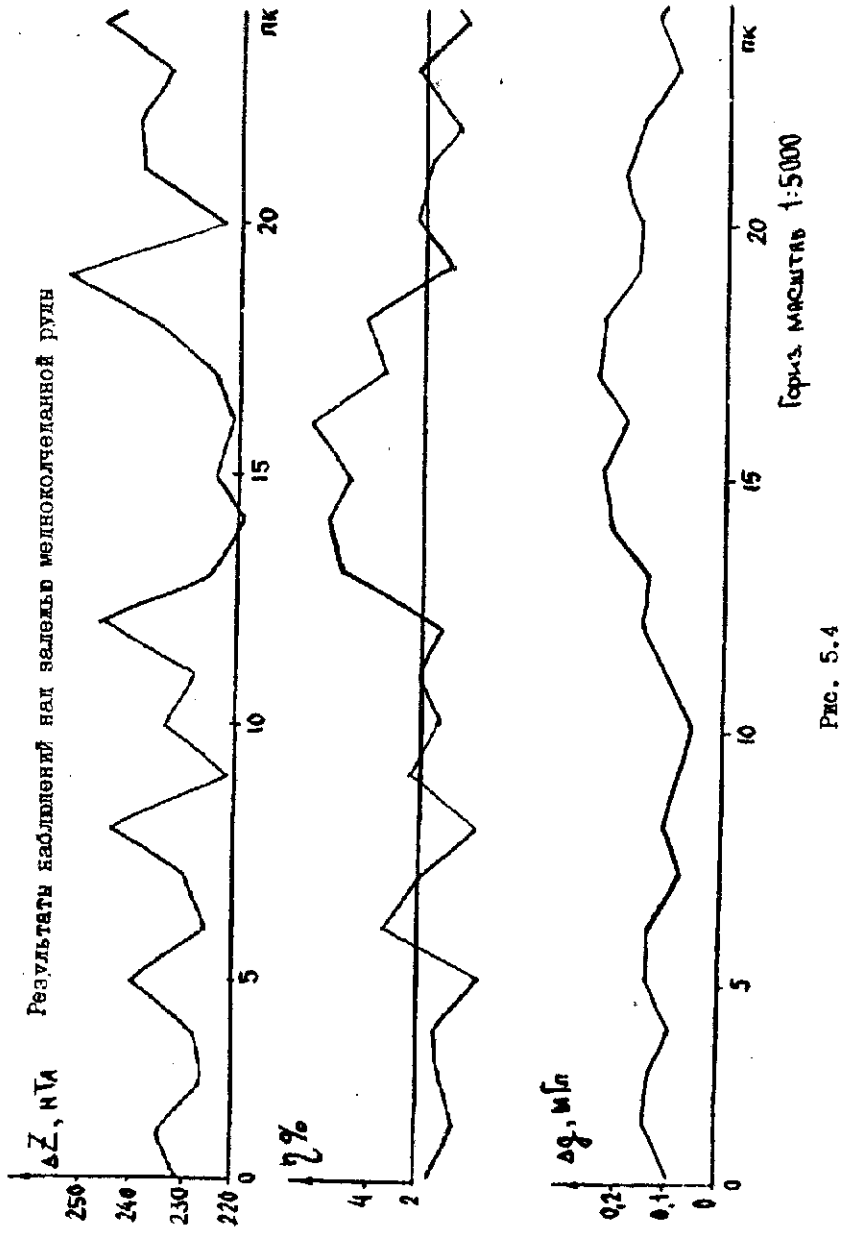


Рис. 5.4

$\tilde{S}_j$ - стандарт сглаженных значений контрастности, который связан со стандартом несглаженных значений соотношением

$$\tilde{S}_j = \frac{S_j}{\sqrt{n}} \qquad (5.12)$$

Подставляя (5.12) в (5.11) находим

$$\tilde{\gamma}_{ji} = \gamma_{ji}\sqrt{n} \qquad (5.13)$$

Таким образом, простое сглаживание измеренных значений по n точкам повышает контрастность аномалии в $\sqrt{n}$ раз.

ЗАДАНИЕ

Определить на профиле местоположение вероятной залежи медноколчеданной руды путем вычисления ФКП. Полевые измерения проводились тремя методами: магнитометрией, гравиметрией и электрометрией (метод вызванных потенциалов). Результаты наблюдений изображены в виде графиков на рис.5.4 и приведены в таблице 5.I. Из значений Δg и ΔT предварительно была исключена региональная составляющая.

Требуется определить структуру ФКП, учитывая следующие физико-геологические условия. Залеж медноколчеданной руды имеет форму круто-падающей линзы небольшой мощности до I5 метров в поперечнике, залегает внутри вулканогенной толщи и имеет первичный ореол сульфидной минерализации вдоль плоскости линзы. На участке залежи наблюдается повышение электропроводности и поляризуемости горных пород.

Руда представлена массивным медным и серным колчеданом. Минерал магнетита и пирротина в области залежи отсутствуют. Таким образом, зона рудной залежи характеризуется избыточной плотностью и относительным понижением магнитных свойств. Рудовмещающая толща покрыта рыхлыми осадками с переменной мощностью I0-20 м.

Необходимо вычислить значения показателя контрастности для каждого метода используя для этой цели данные таблицы 5.I. Оценить надежность выделения отдельных экстремумов наблюденных полей,

сравнив величины $(\Delta g_i - \bar{\Delta g})$, $(\Delta z_i - \bar{\Delta z})$ и $(\eta_i - \bar{\eta})$ со значениями тройного стандарта соответствующего метода. Экстремум можно считать надежной аномалией в том случае, если его амплитуда A превосходит величину тройного стандарта $A \geq 3\sigma$.

Определив структуры ФКП, подсчитать ее значение на всех пикетах профиля. Построить график ФКП по профилю. Указать на профиле положение предполагаемой залежи медноколчеданной руды, используя для оценки надежности выделения аномалии ФКП правило трех сигм. Для этого рассчитать и провести на профиле с результатами расчета ФКП линии тройного стандарта ФКП.

Таблица 5.I

Результаты наблюдения геофизических полей
по профилю на месторождении медных колчеданов

Пикеты	Значения ΔT, нТл		Значения Δg, мГл		Значения η, %	
	варианты		варианты		варианты	
	I	2	I	2	I	2
I	I0	2I	I,2	2,I	5	7
2	I3	23	0,7	I,8	2	5
3	5	I6	I,4	I,5	4	6
4	7	I5	0,5	I,4	5	8
5	20	30	2,2	3,I	0	3
6	5	I5	I,7	2,6	I0	I2
7	I0	20	I,0	2,0	6	8
8	25	35	I,7	2,7	I	3
9	2	I?	I,9	2,8	6	9
I0	I5	25	I,2	2,I	5	8
II	8	I8	2,2	3,2	6	9
I2	I4	24	2,3	3,4	9	I2
I3	5	I5	2,7	3,7	I5	I7
I4	0	I0	4,2	5,2	I6	I8
I5	4	I4	3,6	4,6	I4	I6
I6	I	II	5,7	6,6	I7	2I
I7	4	I4	3,2	4,2	I0	I3
I8	I5	25	I,9	2,9	I2	I5
I9	20	30	2,I	3,0	4	7
20	2	I2	I,7	2,7	7	I0
2I	20	30	I,5	2,5	6	9
22	20	30	I,7	2,7	3	6
23	I3	23	0,7	I,6	7	I0
24	26	36	2,I	3,2	2	5
25	5	I6	I,6	2,6	6	8
26	I6	28	I,0	I,I	2	6
27	I6	25	I,7	2,5	5	7

ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексная интерпретация геофизических данных: учебное пособие / Ю. Б. Давыдов, А. Г. Талалай, И. Е. Шинкарюк. Урал. госуд. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 128 с.

2. Сапожников В. М. Комплексирование геофизических методов: учебное пособие/ Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 76 с.

3. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексирование геофизических методов: учебник. – М.: ВНИИгеосистем, 2012. – 346 с. Гриф УМО.

4. Долгаль А. С. Комплексирование геофизических методов: учебное пособие. – Пермь: Пермский гос. нац. исслед. ун-т, 2012. – 167 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Упоров

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Специальность:

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Александрова Ж. Н.

Екатеринбург

2020

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Ж. Н. Александрова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

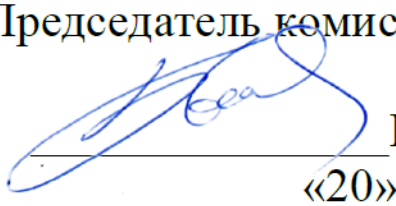
Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Часть 1
Расчет доз внешнего и внутреннего облучения

Екатеринбург
2020

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

Ж. Н. Александрова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Часть 1
Расчет доз внешнего и внутреннего облучения

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

УДК 550.83
А46

Рецензент: Щапов В.А., старший научный сотрудник
Института геофизики УрО РАН, д-р геол.-мин. наук

Александрова Ж.Н.

А46 Лабораторный практикум по радиационной безопасности: учебно-методическое пособие к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине "Радиационная безопасность" для студентов специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки» очной и заочной формы обучения; Часть 1. Расчет доз внешнего и внутреннего облучения / Ж. Н. Александрова; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2020. – 32 с.

В учебно-методическом пособии кратко изложены сведения об ионизирующих излучениях и их основных свойствах, рассмотрено воздействие ионизирующего излучения на ткани организма, приведены специальная терминология по вопросам радиационной безопасности и значения предельно допустимых уровней облучения, описана методика расчета доз при внешнем и внутреннем облучении. Пособие содержит руководства к выполнению трех лабораторных работ по расчету доз облучения в различных ситуациях.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся специализациям «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» по специальности «Технология геологической разведки»

© Александрова Ж.Н., 2020
© Уральский государственный
горный университет, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..….. 4

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ……...……. 5

1.1. Ионизирующие излучения и их свойства ……...…… 5

1.2. Специальная терминология по вопросам радиационной безопасности ..…. 9

1.3. Воздействие ионизирующего излучения на ткани организма ……..… 12

1.4. Расчет доз облучения ……... 17

1.5. Предельно допустимые уровни облучения ……...…… 21

2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ……..... 22

2.1. Определение предельно допустимого времени пребывания на различных расстояниях от источника гамма-излучения ……...…. 22

Задание ……..… 22

Материалы и оборудование ……...… 22

Порядок выполнения работы ……..… 22

Контрольные вопросы …… 24

Содержание отчета ……..…… 24

2.2. Определение дозы внутреннего облучения при попадании радиоактивного вещества внутрь организма …… 25

Задание ……..… 25

Материалы и оборудование ……...… 26

Порядок выполнения работы ……..… 26

Контрольные вопросы …… 27

Содержание отчета ……..…..27

2.3. Определение дозы внешнего облучения при работе на территориях с повышенной радиоактивностью ……...…. 27

Задание ……..…… 27

Материалы и оборудование ……...… 29

Порядок выполнения работы ……..…… 29

Контрольные вопросы ……..……...… 31

Содержание отчета ……...… 31

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ …….. 32

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во многих отраслях практической деятельности человека применяются радиоактивные вещества и ионизирующие излучения. Расширяется применение радиоактивных изотопов и источников ионизирующих излучений в промышленности, медицине, науке, технике, геологоразведочной отрасли. В условиях роста количества работающих с ионизирующими излучениями вопросам радиационной безопасности должно придаваться большее значение.

Радиационная безопасность – это составная часть экологической безопасности человека. Обеспечение экологической безопасности при обращении с радиоактивными веществами предполагает такое обращение с ними, при котором наступление вредных последствий для здоровья и жизни человека было бы невозможно.

"Граждане Российской Федерации, иностранные граждане и лица без гражданства, проживающие на территории Российской Федерации, имеют право на радиационную безопасность. Это право обеспечивается за счет проведения комплекса мероприятий по предотвращению радиационного воздействия на организм человека ионизирующего излучения выше установленных норм, правил и нормативов, выполнения гражданами и организациями, осуществляющими деятельность с использованием источников ионизирующего излучения, требований к обеспечению радиационной безопасности" (статья 22 Федерального закона «О радиационной безопасности населения»).

Радиационная безопасность достигается совокупностью мер: правовых, технических, экономических, воспитательных и т.д. Ряд мер находится в ведении государства и специальных служб. Но многое зависит непосредственно от лиц, работающих с радиоактивными веществами – от их теоретических знаний и практических навыков при обращении с источниками ионизирующих излучений. Поэтому обучение персонала в области обеспечения радиационной безопасности приобретает важное значение.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Ионизирующие излучения и их свойства

Ионизация. Ионизация – это процесс образования разделенных электрических зарядов. Процесс образования положительного иона состоит в вырывании электрона с электронной оболочки нейтрального атома, для чего необходимо затратить некоторую энергию. Для большинства атомов эта энергия лежит в пределах от 9 до 30 эВ. Если энергия, переданная атому, меньше энергии, необходимой для вырывания электрона, то ионизации не происходит. В этом случае может произойти возбуждение атома. Возбужденный атом обладает избытком энергии, которая освобождается в виде излучения (обычно ультрафиолетового) при возвращении атома в нормальное состояние.

Электрон, вырванный из атома в результате ионизации, как правило, не остается долго в свободном состоянии, он “прилипает” к нейтральному атому или нейтральной молекуле, образуя отрицательный ион. Таким образом, в обычных условиях ионы образуются парами. Возникшие ионы исчезают в результате их рекомбинации, т.е. процесса воссоединения отрицательных и положительных ионов, в котором образуются нейтральные атомы или молекулы.

Число ионов, исчезающих из единицы объема среды в единицу времени в результате рекомбинации q_α, пропорционально концентрации положительных и отрицательных ионов:

$$q_\alpha = \alpha n_1 n_2, \qquad (1)$$

где n_1 – число положительных ионов в 1 см^3, n_2 - число отрицательных ионов в 1 см^3, α - коэффициент рекомбинации, см^3/с (для малых ионов в воздухе при нормальных условиях α=1,6·10^{-6} см^3/с).

Ионизирующие излучения. Ионизирующими называются излучения, которые прямо или косвенно способны ионизировать среду. К ним относятся рентгеновское и γ-излучение, а также излучения, состоящие из потоков заряженных или нейтральных частиц, обладающих достаточными для ионизации энергиями.

Радиоактивные препараты обычно испускают ионизирующие α- и β-частицы, γ-лучи и нейтроны. Кроме перечисленных видов излучений могут быть использованы потоки протонов, тяжелых ядер, а также частицы, возникающие при различных ядерных реакциях.

Альфа-частицы — это положительно заряженные ядра атомов гелия. Обладают малой проникающей способностью. Оценить пробег α-частиц в воздухе можно с помощью следующей эмпирической формулы:

$$R_\alpha(E) = 0{,}316 \cdot E_\alpha^{\,3/2},$$

где $R_\alpha(E)$ - пробег α-частицы в воздухе в см; E_α - энергия α-частицы в МэВ.

Наиболее проникающие α-частицы могут пройти слой воздуха при нормальном атмосферном давлении не более 11 см. В твердом веществе пробег α-частиц составляет микроны и может быть найден с помощью эмпирической зависимости *Брегга-Климэна* :

$$L_\alpha(E) = 3{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot R_\alpha(E) \cdot \frac{\sqrt{A}}{\rho},$$

где A - атомный вес, а ρ - плотность среды переноса α-частицы с начальной энергией E.

Например, в воде пробег α-частиц не превышает 150 микрон, а верхний слой отмерших клеток кожи человека (эпидермис) защищает его от внешнего α-излучения.

Альфа-частицы обладают большой ионизирующей способностью. Вследствие большой начальной энергии при столкновении с молекулами поглощающей среды α-частица на пути своего движения образует сотни тысяч пар ионов.

Бета-частицы — это поток электронов или позитронов. Их проникающая способность значительно выше, чем у α-частиц. Оценить пробег электронов в среде можно, используя следующую эмпирическую связь:

$$\begin{cases} R_m = 0{,}407 \cdot E_{\max}^{1.38} & при \quad E_{\max} \le 0{,}8\ МэВ, \\ R_m = 0{,}54 \cdot E_{\max} & при \quad E_{\max} \rangle\ 0{,}8\ МэВ, \end{cases}$$

где R_m - массовый пробег электронов в *г/см²*; E_{max} - максимальная энергия электронов в *МэВ*.

Наиболее быстрые β-частицы могут пройти слой алюминия до 5 мм. Ионизирующая способность меньше, чем у α-частиц.

Рентгеновские и γ-лучи — это электромагнитное излучение высокой энергии. Обладают большой проникающей способностью, изменяющейся в широких пределах. Ионизирующая способность значительно меньше, чем у α- и β-частиц.

Нейтроны — нейтральные частицы, обладающие большой проникающей способностью. Ионизирующая способность меньше, чем у α- и β-частиц.

Протоны — положительно заряженные ядра водорода. При одинаковой энергии с α- и β-частицами протоны занимают промежуточное положение между ними по проникающей и ионизирующей способностям.

Космические лучи — лучи, приходящие на Землю из космического пространства. До поверхности Земли космические лучи доходят значительно преобразованными в результате их взаимодействия с атмосферой. Первичные космические лучи состоят в основном из протонов и ядер тяжелых элементов. В результате их взаимодействия с воздухом атмосферы возникают новые частицы: мезоны, электроны, нейтроны и т.д. В результате взаимодействия нейтронов космического излучения с ядрами атомов азота в атмосфере постоянно образуется радиоактивный изотоп углерода – C^{14}. Радиоактивный изотоп водорода – тритий также образуется в атмосфере под действием космического излучения. Космические лучи обладают очень большой проникающей способностью.

В таблицах 1 – 3 приведены данные по прохождению α- и β-частиц и протонов в некоторых средах.

Пробеги α-частиц и полная ионизация в ткани плотностью 1 г/см^3 [4]

таблица 1

Энергия α-частиц, *МэВ*	В воздухе, *см*	В алюминии, *мкм*	В биологической ткани, *мкм*	Полная ионизация, *число пар ионов х 10^5*
4,0	2,5	16	31	1,1
4,5	3,0	20	37	1,3
5,0	3,5	23	43	1,4
5,5	4,0	26	49	1,6
6,0	4,6	30	56	1,7
6,5	5,2	34	64	1,9
7,0	5,9	38	72	2,0
7,5	6,6	43	81	2,1
8,0	7,4	48	91	2,3
8,5	8,1	53	100	2,4
9,0	8,9	58	110	2,6
9,5	9,8	64	120	2,7
10,0	10,6	69	130	2,9

Средний пробег протонов и полная ионизация в воздухе и ткани плотностью 1 *г/см^3* [3]

таблица 2

Энергия протонов, *МэВ*	Воздух, *см*	Мягкие биологические ткани, *мкм*	Полная ионизация, *число пар ионов*
1	2,3	23	9154
2	7,3	73	15841
3	14,7	147	22344
4	24,1	241	28438
5	35,5	355	34293
6	48,6	486	39901
7	64,2	642	45967
8	81,3	813	51707
9	100,4	1004	57529
10	121,1	1211	63214
15	238,0	2380	-

Максимальный пробег β-частиц в различных средах [8]

таблица 3

Энергия β-частиц, *МэВ*	В воздухе, *м*	В алюминии, *мм*	В мягкой ткани, *мм*
0,01	0,00229	0,00127	0,00247
0,5	1,601	0,837	1,77
1,0	3,936	2,059	4,38
2,0	8,732	4,593	9,84
3,0	13,411	7,741	15,30
4,0	17,858	9,841	20,60
5,0	22,281	11,889	25,80
6,0	25,156	14,259	31,00
8,0	34,377	-	41,30

1.2. Специальная терминология по вопросам радиационной безопасности

Число распадов в секунду в радиоактивном образце называется его ***активностью***. Единицу измерения активности (в системе СИ) называют беккерелем (*Бк*) в честь французского ученого Анри Беккереля, открывшего явление радиоактивности.

$$1\ Бк = 1\ распад/с$$

Кюри (внесистемная единица) - активность препарата данного изотопа, в котором в одну секунду происходит $3{,}7 \cdot 10^{10}$ актов распада.

$$1\ Ки = 3{,}7 \cdot 10^{10}\ Бк$$

Концентрация радиоактивного вещества обычно характеризуется концентрацией его активности. Концентрация активности выражается в единицах активности на единицу веса (удельная активность) или на единицу объема (активная концентрация). Единицы измерения концентрации радиоактивного вещества *Бк/кг* (внесистемная единица *Ки/кг*), *Бк/л* и *Бк/м*^{3} (внесистемные единицы *Ки/л*, *Ки/м*^{3}, *эман*).

$$1\ эман = 1 \cdot 10^{-10}\ Ки/л = 3{,}7\ Бк/л$$

Повреждений, вызванных в живом организме излучением, будет тем больше, чем больше энергии оно передаст тканям. Количество переданной организму энергии называется ***дозой***.

Дозу излучения организм может получить от любого радионуклида или их смеси независимо от того, находятся ли они вне организма или внутри его (в результате попадания с пищей, водой или воздухом).

Дозы можно рассчитывать по-разному, с учетом того, каков размер облученного участка и где он расположен, один ли человек подвергся облучению или группа людей и в течении какого времени это происходило.

Поглощенная доза - количество энергии излучения, поглощенное единицей массы облучаемого тела (тканями организма). Единица измерения в системе СИ - Грей (*Гр*).

$$1\ Гр = 1\ Дж/кг$$

Но эта величина не учитывает того, что при одинаковой поглощенной дозе альфа излучение гораздо опаснее бета- или гамма-излучений. Если принять во внимание этот факт, то дозу следует умножить на коэффициент, отражающий способность излучения данного вида повреждать ткани организма. Альфа-излучение считается при этом в *20 раз* опаснее других видов излучений. Пересчитанную таким образом дозу называют ***эквивалентной дозой***. Ее в системе СИ измеряют в зивертах (*Зв*). Для рентгеновского, гамма- и бета-излучений

$$1\ Зв = 1\ Дж/кг$$

Следует учитывать также, что одни части тела (органы, ткани) более чувствительны, чем другие: например при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических повреждений. Поэтому дозы облучения органов и тканей также следует учитывать с разными коэффициентами (табл. 4). Умножив эквивалентные дозы на соответствующие коэффициенты и просуммировав по всем органам и тканям, получим ***эффективную эквивалентную дозу***, отражающую суммарный эффект облучения для организма. Она также измеряется в зивертах.

Эти три понятия описывают только индивидуально получаемые дозы. Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, получен-

ные группой людей, мы получим ***коллективную эффективную эквивалентную дозу***, которая измеряется в человеко-зивертах (*чел·Зв*).

Коэффициенты радиационного риска [7]

таблица 4

Красный костный мозг	0,12
Костная ткань	0,03
Щитовидная железа	0,03
Молочная железа	0,15
Легкие	0,12
Половые железы	0,25
Другие ткани	0,30
Организм в целом	1,00

Соотношение между внесистемными единицами измерения активности и характеристик поля излучения и единицами СИ

таблица 5

Величина	Обозначения и наименования единиц		Связь между единицами
	Внесистемная	Единица СИ	
Активность	*Ки* (кюри)	*Бк* (беккерель)	1 *Ки* = $3{,}7\cdot10^{10}$ c^{-1} = $3{,}7\cdot10^{10}$ *Бк* 1 *Бк* = 1 c^{-1} = $0{,}27\cdot10^{-10}$ *Ки*
Удельная активность	*Ки/кг*	*Бк/кг*	1 *Ки/кг* = $3{,}7\cdot10^{10}$ *Бк/кг* 1 *Бк/кг* = $0{,}27\cdot10^{-10}$ *Ки/кг*
Объемная активность	*Ки/л, эман*	*Бк/м*^{3}	1 *Ки/л* = $3{,}7\cdot10^{13}$ *Бк/м*^{3} 1 *Бк/м*^{3} = $0{,}27\cdot10^{-13}$ *Ки/л* 1 *эман* = $1\cdot10^{-10}$ *Ки/л* = 3,7 *Бк/л*
Поглощенная доза	*рад*	*Гр* (грей)	1 *рад* = 100 *эрг/г* = 0,01 *Гр* 1 *Гр* = 10^4 *эрг/г* =100 *рад*
Мощность поглощенной дозы	*рад/с*	*Гр/с*	1 *рад/с* = 0,01 *Гр/с* 1 *Гр/с* = 100 *рад/с*
Эквивалентная доза	*бэр* (биологический эквивалент *рада*)	*Зв* (зиверт)	1 *бэр* = 1 *рад*/Q* = 0,01 *Гр*/Q = = 0,01 *Зв* 1 *Зв* = 1 *Гр*/Q = 100 *рад*/Q = = 100 *бэр*
Мощность эквивалентной дозы	*бэр/с*	*Зв/с*	1 *бэр/с* = 0,01 *Зв/с* 1 *Зв/с* = 100 *бэр/с*
Экспозиционная доза	*Р* (рентген)	*Кл/кг*	1 *Р* = $2{,}58\cdot10^{-4}$ *Кл/кг* 1 *Р* = $0{,}88\cdot10^{-2}$ *Гр* в воздухе 1 *Кл/кг* = $3{,}88\cdot10^{3}$ *Р*
Мощность экспозиционной дозы	*Р/с*	$\frac{Кл}{кг\cdot с}$	1 *Р/с* = $2{,}58\cdot10^{-4}$ *Кл/кг·с* 1 *Р/с* = $0{,}88\cdot10^{-2}$ *Гр/с* в воздухе 1 *Кл/кг·с* = $3{,}88\cdot10^{3}$ *Р/с*

* - коэффициент качества излучения

1.3. Воздействие ионизирующего излучения на ткани организма

Радиация по самой своей природе вредна для жизни. Малые дозы облучения могут "запустить" не до конца еще установленную цепь событий, приводящих к раку или к генетическим повреждениям. При больших дозах радиация может разрушать клетки, повреждать ткани органов и явиться причиной скорой гибели организма.

Повреждения, вызываемые большими дозами облучения, обыкновенно проявляются в течение нескольких часов или дней. Раковые заболевания, однако, проявляются спустя много лет после облучения - как правило, не ранее, чем через одно-два десятилетия. А врожденные пороки развития и другие наследственные болезни, вызываемые повреждением генетического аппарата, проявляются лишь в следующем или последующих поколениях: это дети, внуки и более отдаленные потомки человека, подвергшегося облучению.

Чтобы вызвать острое поражение организма, дозы облучения должны превышать определенный уровень, но нет никаких оснований считать, что это правило действует в случае таких последствий, как рак или повреждение генетического аппарата. По крайней мере, теоретически для этого достаточно самой малой дозы. Однако в то же самое время никакая доза облучения не приводит к этим последствиям во всех случаях. Даже при относительно больших дозах облучения далеко не все люди обречены на эти болезни: действующие в организме человека репарационные механизмы обычно ликвидируют все повреждения. Точно также любой человек, подвергшийся действию радиации, совсем не обязательно должен заболеть раком или стать носителем наследственных болезней; однако вероятность, или риск**,** наступления таких последствий у него больше, чем у человека, который не был облучен. И риск этот тем больше, чем больше доза облучения.

Механизм воздействия ионизирующего излучения на ткани организма следующий.

Заряженные частицы. Проникающие в ткани организма альфа- и бета-

частицы теряют энергию вследствие электрических взаимодействий с электронами тех атомов, близ которых они проходят. Гамма-излучение и рентгеновские лучи передают свою энергию веществу несколькими способами (фотоэффект, комптон-эффект, эффект образования электрон-позитронных пар), которые в конечном счете также приводят к электрическим взаимодействиям.

Электрические взаимодействия. За время порядка десяти триллионных секунды после того, как проникающее излучение достигнет соответствующего атома в ткани организма, от этого атома отрывается электрон. Последний заряжен отрицательно, поэтому остальная часть исходно нейтрального атома становится положительно заряженной. Этот процесс называется ионизацией. Оторвавшийся электрон может далее ионизировать другие атомы.

Физико-химические изменения. И свободный электрон, и ионизированный атом обычно не могут долго пребывать в таком состоянии и в течении следующих десяти миллиардных долей секунды участвуют в сложной цепи реакций, в результате которых образуются новые молекулы, включая и такие чрезвычайно реакционноспособные, как "свободные радикалы".

Химические изменения. В течение следующих миллионных долей секунды образовавшиеся "свободные радикалы" реагируют как друг с другом, так и с другими молекулами и через цепочку реакций, еще не изученных до конца, могут вызывать химическую модификацию важных в биологическом отношении молекул, необходимых для нормального функционирования клетки.

Биологические эффекты. Биохимические изменения могут произойти как через несколько секунд, так и через десятилетия после облучения и явиться причиной немедленной гибели клеток или таких изменений в них, которые могут привести к раку.

Основную часть облучения население земного шара получает от естественных источников радиации (рис. 1). Большинство из них таковы, что избежать облучения от них совершенно невозможно. На протяжении всей истории существования Земли разные виды излучения падают на поверхность Земли из

космоса и поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре, а также полученных человеком в результате его техногенной деятельности.

Человек подвергается облучению двумя способами. Радиоактивные вещества могут находиться вне организма и облучать его снаружи. В этом случае говорят о внешнем облучении. Или же они могут оказаться в воздухе, которым дышит человек, в пище или воде и попасть внутрь организма. Такой способ облучения называют внутренним.

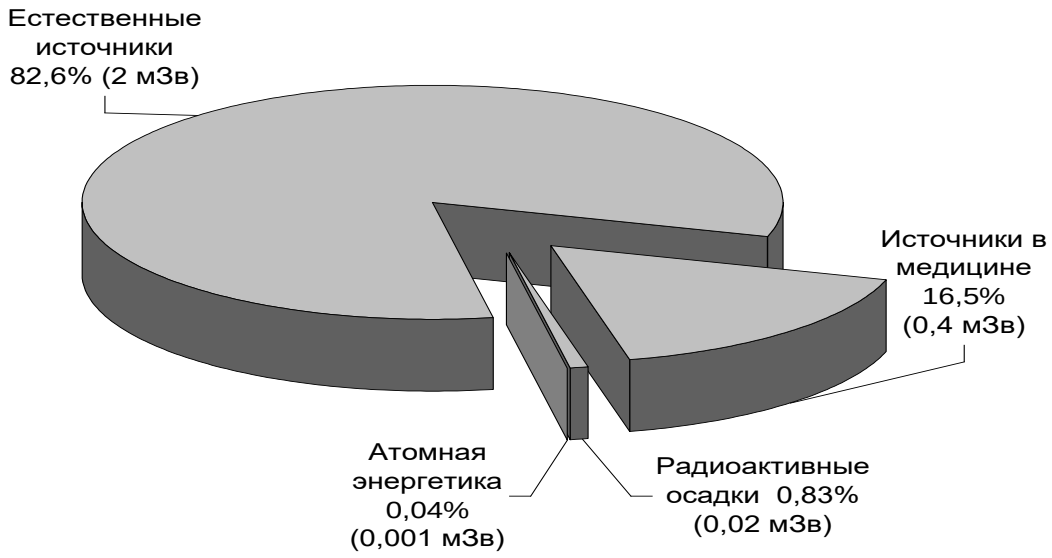


Рис. 1. Источники радиации [7]

Степень радиационного воздействия изотопов, содержащихся в организме человека, определяется создаваемой ими тканевой дозой облучения различных органов и тканей, избирательно накапливающих эти изотопы. Накопление изотопов в организме зависит от скорости их поступления в организм с пищевыми продуктами, водой и воздухом в желудочно-кишечный тракт или легкие, степени усвояемости изотопа из желудочно-кишечного тракта или легких, характера его распределения и времени удержания в организме (табл. 6).

Повреждений, вызванных в живом организме излучением, будет тем больше, чем больше энергии оно передаст тканям (табл. 7).

Биологические и физические константы для некоторых изотопов [5]

Таблица 6

Изотоп	Масса критического органа, *г*	Периоды полураспада и полувыведения, *дни*			Доля изотопа, попадающая в рассматриваемый орган от общего его количества в организме	Доля изотопа, попадающая в рассматриваемый орган при	
		$T_{физ}$	$T_{биол}$	$T_{эфф}$		заглатывании	вдыхании
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-
H^3	все тело, $7*10^4$	$4,5*10^3$	12	12	1,0	0,75	1,0
C^{14}	все тело, $7*10^4$	$2*10^6$	10	10	1,0	1,0	0,75
Na^{24}	все тело, $7*10^4$	0,63	11	0,6	1,0	1,0	0,75
P^{32}	все тело, $7*10^4$	14,3	257	13,5	1,0	0,75	0,63
	кости, $7*10^3$	14,3	1155	14,1	0,21	0,15	0,13
	гол. мозг, $1,5*10^3$	14,3	257	13,5	$7\cdot10^{-3}$	$5,3\cdot10^{-3}$	$4,4\cdot10^{-3}$
K^{42}	все тело, $7*10^4$	0,52	58	0,52	1,0	1,0	0,75
	селезенка, 150	0,52	58	0,52	$4\cdot10^{-3}$	$4\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$
	гол. мозг, $1,5*10^3$	0,52	58	0,52	0,04	0,04	0,03
	печень, $1,7*10^3$	0,52	58	0,52	0,02	0,02	0,015
Ca^{45}	все тело, $7*10^4$	164	16400	162	1,0	0,6	0,55
	кости, $7*10^3$	164	18000	162	0,9	0,54	0,5
Mn^{56}	все тело, $7*10^4$	0,11	17	0,11	1,0	0,1	0,3
Fe^{55}	все тело, $7*10^4$	1100	800	463	1,0	0,1	0,3
	селезенка, 150	1100	600	388	0,02	0,002	0,006
Fe^{59}	все тело, $7*10^4$	45,1	800	42,7	1,0	0,1	0,3
	селезенка, 150	45,1	600	41,9	0,02	0,002	0,006
Co^{60}	все тело, $7*10^4$	1900	9,5	9,5	1,0	0,3	0,4
	печень, $1,7*10^3$	1900	9,5	9,5	0,02	0,007	0,02
Ni^{65}	все тело, $7*10^4$	0,11	667	0,11	1,0	0,3	0,4
	кости, $7*10^3$	0,11	800	0,11	0,5	0,15	0,2

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-	-8-
Cu^{64}	все тело, $7*10^4$ печень, $1,7*10^3$ гол. мозг, $1,5*10^3$	0,53 0,53 0,53	80 150 800	0,53 0,53 0,53	1,0 0,08 0,01	0,28 0,02 0,003	0,39 0,03 0,004
Zn^{65}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$ мышцы, $3*10^4$	245 245 245	933 0,001 1959	194 206 218	1,0 0,16 0,34	0,1 0,015 0,03	0,3 0,045 0,09
Sr^{90}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	10^4 10^4	13000 18000	5700 6400	1,0 0,99	0,3 0,09	0,4 0,12
Y^{90}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	2,68 2,68	14000 18000	2,68 2,68	1,0 0,75	0,0001 $7,5\cdot10^{-5}$	0,25 0,19
J^{131}	все тело, $7*10^4$ щит. железа., 20	8 8	138 138	7,6 7,6	1,0 0,3	1,0 0,3	0,75 0,23
Cs^{137}	все тело, $7*10^4$ мышцы, $3*10^4$	$1,1*10^4$ $1,1*10^4$	70 140	70 138	1,0 0,79	1,0 0,4	0,75 0,3
Ba^{140}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	12,8 12,8	65 65	10,7 10,7	1,0 0,7	0,05 0,035	0,28 0,19
Po^{210}	все тело, $7*10^4$ печень, $1,7*10^3$	138,4 138,4	30 41	25 32	1,0 0,22	0,06 0,01	0,28 0,05
Ra^{226}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	$5,9*10^5$ $5,9*10^5$	8100 16400	900 16000	1,0 0,99	0,3 0,04	0,4 0,03
Th^{232}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	$5,1*10^{12}$ $5,1*10^{12}$	57000 73000	57000 73000	1,0 0,9	0,0001 $7\cdot10^{-5}$	0,25 0,18
Th^{234}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	24,1 24,1	57000 73000	24,1 24,1	1,0 0,7	0,0001 $7\cdot10^{-5}$	0,25 0,18
U^{238}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	$1,6*10^{12}$ $1,6*10^{12}$	100 300	100 300	1,0 0,85	0,0001 $3,3\cdot10^{-5}$	0,25 0,083
U^{235}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	$2,6*10^{11}$ $2,6*10^{11}$	100 300	100 300	1,0 0,85	0,0001 $3,3\cdot10^{-5}$	0,25 0,083
Pu^{239}	все тело, $7*10^4$ кости, $7*10^3$	$8,9*10^6$ $8,9*10^6$	65000 73000	64000 72000	1,0 0,9	$3\cdot10^{-5}$ $2,4\cdot10^{-5}$	0,25 0,2

Эффективная энергия основных радиоактивных изотопов, передаваемая ткани при каждом акте их распада [5]

Таблица 7

Радиоактивный изотоп	Критический орган	E_{Σ}, *МэВ*
H^{3}	Все тело	0,01
C^{14}	Все тело, жировая ткань Кости	0,054 2,7
Na^{24}	Все тело Легкие	2,7 1,5
P^{32}	Все тело, Кости	0,69 3,5
Co^{60}	Все тело Легкие, печень Селезенка, почки	1,5 0,72 0,56
Zn^{65}	Все тело, мышцы Легкие, печень Почки Кости	0,32 0,15 0,11 0,094
Sr^{90}	Все тело, легкие Кости	0,21 1,1
Y^{90}	Все тело Легкие Кости	0,89 0,87 4,4
J^{131}	Все тело Щитовидная железа	1,6 0,69
Cs^{137}	Все тело, мышцы	0,59
Ba^{140}	Все тело, мышцы Кости	2,3 4,2
Po^{210}	Все тело, легкие, селезенка, почки, печень	55
Ra^{226}	Все тело, кости	110
Th^{232}	Все тело Кости	62 270
U^{235}	Все тело, почки, легкие	46
U^{238}	Все тело, легкие, почки Кости	43 220
Pu^{239}	Все тело, легкие, печень Кости	53 270

1.4. Расчет доз облучения

Тканевую дозу от внешнего γ-излучения радиоактивных изотопов можно определить по величине измеренной ионизации.

Хультквист [10] вывел соотношения для вычисления величины ионизации, создаваемой над поверхностью земли γ-излучением естественных радио-

активных изотопов Ra^{226}, *U, Th* (в случае равновесия с продуктами их распада) и *K*, содержащихся в почве (табл. 8).

Данные по ионизации над поверхностью земли [10]

таблица 8

Изотоп	Ионизация, *пар ионов/см³·с*	
	без учета рассеянного излучения *	с учетом многократного рассеяния γ-квантов
Радий-226	$0{,}6\cdot10^{12}\,C_{Ra}$	$1{,}26\cdot10^{12}\,C_{Ra}$
Природный уран	$0{,}2\cdot10^{6}C_{U}$	$0{,}44\cdot10^{6}C_{U}$
Торий-232	$0{,}104\cdot10^{6}C_{Th}$	$0{,}21\cdot10^{6}C_{Th}$
Калий	$48\cdot C_{K}$	$91\cdot C_{K}$

* C - концентрация радиоактивного изотопа, *г/г* почвы

Ионизация, создаваемая γ-излучением, и мощность дозы P в воздухе (в *Гр/сутки*) связаны между собой следующим соотношением:

$$P = \frac{n\cdot 34\cdot 8{,}64\cdot10^{4}\cdot 1{,}6\cdot10^{12}\cdot 770\cdot 1{,}12}{10^{4}} = 4\cdot10^{-7}\cdot n \qquad (2)$$

где n - число пар ионов, образованных в 1 *см³* за 1 *с*; 34 - величина средней работы ионизации в воздухе для γ-квантов средних энергий, *эВ*; $8{,}64\cdot10^{4}$ - число секунд в сутках; $1{,}6\cdot10^{-12}$ - число эргов в 1 *эВ*; 770 - объем, занимаемый 1 *г* воздуха, *см³*; 1,12 - множитель перехода от поглощенной дозы в воздухе к поглощенной дозе в ткани (для γ-квантов средних энергий одному рентгену соответствует поглощенная в 1 *г* воздуха доза $0{,}88\cdot10^{-2}$ *Гр* , а в 1 *г* мягких тканей - $0{,}98\cdot10^{-2}$ *Гр*).

Используя эту зависимость, Хультквист [10] вывел соотношения, позволяющие определить величину мощности поглощенной дозы на поверхности земли в зависимости от концентрации изотопов Ra^{226}, *U, Th* и *K* (с учетом рассеянного излучения в почве):

$$P = 5 \cdot 10^5 \cdot C_{Ra},$$
$$P = 0{,}176 \cdot C_U,$$
$$P = 8{,}4 \cdot 10^{-2} \cdot C_{Th}, \qquad (3)$$
$$P = 3{,}64 \cdot 10^{-5} \cdot C_K,$$

где C_{Ra}, C_U, C_{Th} и C_K - концентрация радиоактивного изотопа в *г/г* почвы; P - мощность поглощенной дозы в *Гр/сут.*

Для естественных радиоактивных изотопов *Rn* и *Tn* (и продуктов их распада), содержащихся в атмосферном воздухе, при условии их постоянной концентрации по высоте над поверхностью земли мощность поглощенной дозы можно рассчитать, используя соотношения (4), также полученные Хультквистом в предположении, что 60 % аэрозольных частиц, несущих радиоактивность продуктов распада *Rn* и *Tn*, задерживаются в легочной ткани. Объем легких принят 3000 $см^3$, вес 800 *г*:

$$P = 1{,}05 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{Rn},$$
$$P = 1{,}03 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{Tn}, \qquad (4)$$

где P - мощность поглощенной дозы в *Гр/сут*; Q_{Rn}, Q_{Tn} - концентрация радона и торона в атмосферном воздухе в *Бк/л*.

В атмосфере постоянно находятся естественные радиоактивные изотопы *Rn, Tn* и их дочерние продукты, которые непрерывно поступают в легкие человека с вдыхаемым воздухом; в легочной ткани накапливаются дочерние продукты распада *Rn* и *Tn*.

Дозы облучения легких, обусловленные излучением *Rn* и *Tn* и их дочерних продуктов, находящихся в состоянии радиоактивного равновесия в легких, могут быть вычислены с помощью соотношений [9]:

$$P_{Rn} = 1{,}35 \cdot 10^2 Q_{Rn},$$
$$P_{Tn} = 17{,}97 \cdot 10^2 Q_{Tn}, \qquad (5)$$

где P_{Rn}, P_{Tn} - мощности доз, создаваемых соответственно радоном и тороном в

мЗв/год; Q_{Rn} и Q_{Tn} - концентрации радона и торона в воздухе в *Бк/л*.

Если известны мощность дозы P и время облучения t, то доза от внешнего облучения равна их произведению:

$$D = P\,t \tag{6}$$

Тканевая доза облучения критического органа, в котором отложилась некоторая доля от попавшего в организм радиоактивного изотопа, может быть вычислена по следующему соотношению:

$$D = \frac{C \cdot k \cdot E_{\Sigma} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot t}{M \cdot 10^{4}}\ , \tag{7}$$

где D - доза облучения критического органа в *Гр*; C - активность изотопа, попавшего в организм, в *Бк* или *расп/с*; k - доля изотопа, отложившегося в критическом органе, от его общего количества во всем организме; E_{Σ} - эффективная энергия, передаваемая ткани органа при каждом акте распада радиоактивного изотопа, в *МэВ*; t - время облучения критического органа в *с*; M – масса критического органа, в *г*; $1{,}6 \cdot 10^{-6}$ - число *эргов* в 1 *МэВ*; 10^{4} - число *эрг/г* на 1 *Гр*.

Активность радиоактивного препарата, попавшего в организм, можно рассчитать, если известна его масса :

$$C = \frac{\ln 2 \cdot N_o \cdot m}{T_{1/2} \cdot A}\ , \tag{8}$$

где $N_o = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ - число Авогадро; m - масса изотопа в *г*; $T_{1/2}$ - период его полураспада в *с*; A - атомная масса изотопа.

Как видно из соотношения (7), доза в органе, в котором содержится радиоактивный изотоп, зависит от массы облучаемого органа, активности изотопа, содержащейся в этом органе, и энергии испускаемых изотопом частиц и γ-квантов, приходящейся на один распад. На получаемую дозу также будет влиять время пребывания радиоактивного изотопа в органе, которое в свою очередь зависит от периода полураспада радионуклида и периода его полувыведения из органа.

По соотношению (7) можно рассчитывать дозу, если концентрация ра-

диоизотопа в критическом органе практически не меняется во времени (период эффективного полувыведения изотопа очень велик), то есть когда изотоп медленно распадается и выводится.

Если концентрация изотопа в критическом органе во времени ощутимо уменьшается из-за биологического выведения и радиоактивного распада, то через время t после окончания поступления изотопа в орган доза будет равна:

$$D = \frac{C \cdot k \cdot E_{\Sigma} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-6}}{M \cdot 10^{4}} \cdot \frac{(1 - e^{-\lambda \ t})}{\lambda} \ , \qquad (9)$$

где λ - постоянная эффективного выведения ($\lambda = ln\,2/T_{эфф}$) в c^{-1}.

Если доза рассчитывается за достаточно большой промежуток времени, когда практически весь радиоактивный изотоп удалится из организма, то необходимо использовать следующее соотношение:

$$D = \frac{C \cdot k \cdot E_{\Sigma} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-6}}{M \cdot 10^{4}} \quad \frac{1}{\lambda} \ . \qquad (10)$$

1.5. Предельно допустимые уровни облучения

Предельно допустимые дозы внешнего и внутреннего облучения регламентируются Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009) и приведены в таблице 9.

таблица 9

Нормируемые величины	Дозовые пределы, *мЗв/год*		
	персонал категории А*	персонал категории Б**	население
Эффективная доза	50	12,5	5
Эквивалентная доза в			
1) хрусталике глаза, кроветворных органах, гонадах	150	37,5	15
2) коже, щитовидной железе, костях, легких, печени, почках, мышцах и др.	500	125	50
3) кистях и стопах	500	125	50

* лица, работающие непосредственно с источниками ионизирующих излучений,

** лица, работающие в помещениях, смежных с помещениями, в которых ведутся работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений, но не занятых непосредственно работой с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений.

Для студентов и учащихся в возрасте до 21 года, проходящих обучение с использованием источников ионизирующего излучения, годовые накопленные дозы не должны превышать значений, установленных для населения.

2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

2.1. Определение предельно допустимого времени пребывания на различных расстояниях от источника гамма-излучения

Задание

а) Предварительно отградуированным радиометром измерить мощность экспозиционной дозы на различных расстояниях от источника гамма-излучения Ra^{226} (3,7 *МБк*).

б) По результатам эксперимента найти предельно допустимое время пребывания на различных расстояниях от источника излучения.

в) Рассчитать теоретически предельно допустимое время пребывания на различных расстояниях от данного источника излучения.

г) Сравнить экспериментальные результаты и теоретические расчеты. Сделать выводы.

Материалы и оборудование

1. Отградуированный радиометр типа СРП-68-01 или СРП-88-01.

2. Радиоизотопный источник Ra^{226} (эталон С-41; 0,1 *мг* Ra; 3,7 *МБк*).

3. Калькулятор, миллиметровка, карандаш, резинка, линейка.

Порядок выполнения работы

а) Радиометр установить в 10-ти положениях на различных расстояниях от источника Ra^{226} и измерить мощность экспозиционной дозы *P*. Расстояние изменять от 0,1 до 1 *м* с шагом 0,1 *м*. Для перемещения источника использовать дистанционный инструмент.

б) Рассчитать предельно допустимое время пребывания на различных расстояниях от источника излучения по формуле:

$$t_{max} = \frac{D_{пр}}{P}, \qquad (11)$$

где $D_{пр}$ - предельно допустимая доза за один рабочий день при пятидневной рабочей неделе (для персонала – 0,2 *мГр*, для населения – 0,02 *мГр*), P - мощность поглощенной дозы в *мГр/ч* (1 *мГр/ч* = $1{,}13 \cdot 10^5$ *мкР/ч*).

Результаты замеров и последующих расчетов занести в таблицу:

Расстояние R, *м*	Мощность дозы P		t_{max}, *ч*	$t_{max}^{теор}$, *ч*
	в *мкР/ч*	в *мГр/ч*		
1	2	3	4	5

в) Теоретически рассчитать предельно допустимое время пребывания на различных расстояниях от источника излучения по формуле:

$$t_{\max}^{теор} = \frac{D_{пр}}{84} \cdot R^2, \qquad (12)$$

где $D_{пр}$ - предельно допустимая доза за один рабочий день при пятидневной рабочей неделе (для персонала – 0,2 *мГр*, для населения – 0,02 *мГр*), 84 – постоянная источника Ra^{226} типа С-41, R – расстояние до источника излучения в *м*.

Результаты теоретических расчетов занести в таблицу.

г) По экспериментальным данным и теоретическим расчетам на одних координатных осях построить графики зависимости $t_{max} = f(R)$ и $t_{\max}^{теор} = f(R)$ для персонала и населения (рис.2).

д) Сделать выводы. Объяснить, почему кривая $t_{max} = f(R)$ лежит ниже теоретически рассчитанной кривой $t_{\max}^{теор} = f(R)$ или почему теоретически рассчитанное время пребывания возле источника больше найденного экспериментально.

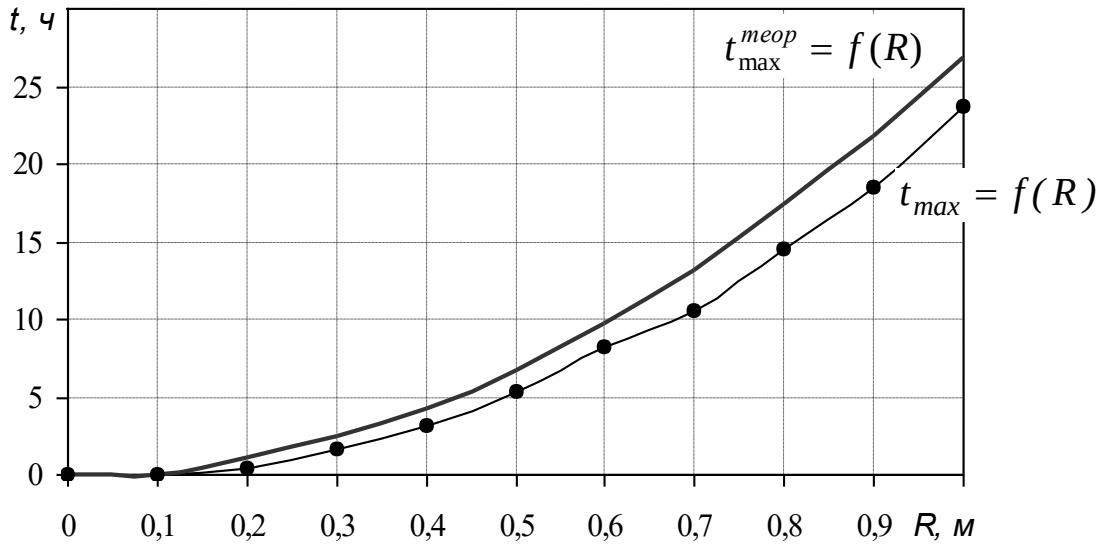


Рис. 2. Образец оформления графиков зависимости $t_{max} = f(R)$ и $t_{\max}^{теор} = f(R)$.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение экспозиционной дозы.

2. Дайте определение поглощенной дозы.

3. Какова связь между *мкР* и *мГр* ?

4. Какова связь между дозой и мощностью дозы ?

5. Как зависит доза от расстояния между источником ионизирующего излучения и детектором ?

6. Как зависит доза от времени пребывания возле источника ?

7. Как влияет рассеянное гамма-излучение источника на дозу внешнего облучения ?

Содержание отчета

1. Краткое изложение основных теоретических положений.

2. Порядок выполнения измерений и расчетов.

3. Результаты измерений и расчетов.

4. Графики зависимости $t_{max} = f(R)$ и $t_{\max}^{теор} = f(R)$ для персонала и населения.

5. Выводы.

2.2. Определение дозы внутреннего облучения при попадании радиоактивного вещества внутрь организма

Задание

а) Познакомиться с основными теоретическими положениями при расчете тканевых доз облучения.

б) По заданному преподавателем варианту условий рассчитать дозу внутреннего облучения от радиоактивного вещества, попавшего внутрь организма, за период, равный времени полного выведения радионуклида из организма. При расчете пользоваться справочными данными табл. 6 и табл. 7.

в) Сделать выводы о последствиях внутреннего облучения всего организма или отдельных органов данным радиоактивным веществом.

г) Варианты условий расчета дозы внутреннего облучения

таблица 10

Вариант задания	Радиоактивный изотоп, попавший внутрь организма	Количество радиоактивного изотопа, г	Орган или ткань организма для расчета дозы
-1-	*-2-*	*-3-*	*-4-*
1	H^{3}	10^{-6}	все тело
2	C^{14}	10^{-6}	все тело
3	Na^{24}	10^{-9}	все тело
4	P^{32}	10^{-9}	все тело
5	P^{32}	10^{-9}	кости
6	Co^{60}	10^{-9}	все тело
7	Co^{60}	10^{-9}	печень
8	Zn^{65}	10^{-9}	все тело
9	Zn^{65}	10^{-9}	кости
10	Zn^{65}	10^{-9}	мышцы
11	Sr^{90}	10^{-9}	все тело
12	Sr^{90}	10^{-9}	кости
13	Y^{90}	10^{-9}	все тело
14	Y^{90}	10^{-9}	кости
15	J^{131}	10^{-9}	все тело
16	J^{131}	10^{-9}	щитовидная железа
17	Cs^{137}	10^{-9}	все тело
18	Cs^{137}	10^{-9}	мышцы
19	Ba^{140}	10^{-9}	все тело

-1-	-2-	-3-	-4-
20	Ba^{140}	10^{-9}	кости
21	Po^{210}	10^{-9}	все тело
22	Po^{210}	10^{-9}	печень
23	Ra^{226}	10^{-9}	все тело
24	Ra^{226}	10^{-9}	кости
25	Th^{232}	10^{-9}	все тело
26	Th^{232}	10^{-9}	кости
27	U^{235}	10^{-9}	все тело
28	U^{235}	10^{-9}	кости
29	U^{238}	10^{-9}	все тело
30	U^{238}	10^{-9}	кости
31	Pu^{239}	10^{-9}	все тело
32	Pu^{239}	10^{-9}	кости

Материалы и оборудование

1. Справочная информация из табл. 6 и 7 настоящего методического пособия.

2. Калькулятор.

Порядок выполнения работы

а) По формуле (8) рассчитать активность радиоактивного препарата, попавшего в организм.

б) Если изотоп медленно распадается и выводится, и концентрация радиоизотопа в критическом органе или всем теле практически не меняется во времени, то есть когда период эффективного полувыведения изотопа очень велик (см. табл. 6), то при расчете дозы использовать формулу 7. Время t принять равным времени полного выведения радионуклида из организма, то есть $t = T_{эфф}/ln2$

Если концентрация изотопа в критическом органе или всем теле ощутимо уменьшается во времени вследствие биологического выведения и радиоактивного распада, то при расчете дозы использовать формулу 9, также приняв время t равным $T_{эфф}/ln2$.

в) Сделать выводы об опасности либо безопасности рассчитанной дозы и возможных последствиях.

Контрольные вопросы

1. Как влияет период полураспада и атомная масса радионуклида на величину его активности ?

2. Как влияет масса критического органа или ткани человека на величину поглощенной дозы ?

4. Как влияет время пребывания радионуклида в критическом органе или ткани человека на величину поглощенной дозы ?

5. Как влияет энергия частиц, излучаемых радионуклидом, на величину поглощенной дозы ?

6. От чего зависит период эффективного полувыведения радионуклида из организма ?

7. Если период полураспада радионуклида велик, а период его биологического полувыведения из организма мал, то каков будет период эффективного полувыведения радионуклида ? Почему ?

8. Если период полураспада радионуклида мал, а период его биологического полувыведения из организма велик, то каков будет период эффективного полувыведения радионуклида ? Почему ?

Содержание отчета

1. Краткое изложение основных теоретических положений.

2. Порядок выполнения расчетов.

3. Результаты расчетов.

4. Выводы.

2.3. Определение дозы внешнего облучения при работе на территориях с повышенной радиоактивностью

Задание

а) Рассчитать дозу внешнего облучения оператора-радиометриста, выполняющего профильную спектрометрическую гамма-съемку в зоне уран-тори-

евого оруденения (рудное тело выходит на дневную поверхность). Скорость перемещения оператора по профилю – 3 *км/ч*. Время измерений на точке – 2 *мин*. Расстояние между точками измерений – 50 *м*. Исходными данными для расчета считать результаты измерений концентрации урана, тория и калия по профилю (табл. 11).

б) Построить графики распределения по профилю концентрации урана, тория, калия и суммарной мощности поглощенной дозы (рис. 3).

в) Сравнить рассчитанную дозу с дозовым пределом для населения (табл.9). Оценить возможность работы оператора в данных условиях в течение месяца при условии, что рабочий день составляет 8 часов. Дать объяснения.

г) Варианты условий расчета:

таблица 11

№ пикета	Вариант 1			Вариант 2			Вариант 3			Вариант 4		
	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %
1	0,01	0,02	1,28	0,01	0,02	1,69	0,01	0,02	2,07	0,00	0,02	2,07
2	0,01	0,02	1,28	0,01	0,02	1,68	0,01	0,02	2,06	0,01	0,02	2,06
3	0,02	0,02	1,36	0,02	0,01	1,70	0,02	0,04	2,07	0,02	0,04	2,07
4	0,09	0,10	1,4	0,09	0,03	1,90	0,09	0,17	1,90	0,04	0,17	1,90
5	0,40	0,17	1,35	0,4	0,28	2,10	0,15	0,37	2,10	0,07	0,37	1,97
6	0,60	0,27	1,34	0,74	0,46	2,16	0,32	0,63	2,16	0,19	0,63	2,06
7	0,70	0,33	1,30	1,20	0,54	2,40	0,38	0,71	2,40	0,38	0,71	2,14
8	1,20	0,35	1,43	1,39	0,55	2,17	0,29	0,55	2,17	0,61	0,87	2,17
9	1,50	0,37	1,72	1,08	0,45	2,53	0,13	0,37	2,21	0,69	1,13	2,21
10	1,00	0,34	1,80	0,58	0,34	2,19	0,68	0,96	2,19	0,87	1,26	2,29
11	0,50	0,36	1,54	0,50	0,36	2,07	1,00	1,36	2,36	0,99	1,45	2,36
12	0,60	0,57	1,46	0,60	0,35	1,97	0,90	1,53	2,19	0,90	1,35	2,19
13	0,70	0,82	1,42	0,53	0,29	1,83	0,65	1,16	2,07	0,65	1,16	2,07
14	0,90	1,00	1,35	0,39	0,27	1,80	0,47	0,75	2,03	0,47	0,75	2,03
15	0,40	0,50	1,35	0,30	0,20	1,74	0,30	0,48	1,98	0,30	0,48	2,04
16	0,20	0,30	1,32	0,20	0,13	1,67	0,11	0,196	1,90	0,11	0,20	2,02
17	0,10	0,20	1,35	0,10	0,06	1,75	0,05	0,08	1,91	0,07	0,08	1,97
18	0,04	0,08	1,34	0,04	0,03	1,60	0,03	0,03	1,82	0,04	0,03	1,92
19	0,02	0,01	1,35	0,02	0,01	1,64	0,02	0,01	1,94	0,02	0,01	1,99
20	0,01	0,01	1,40	0,01	0,01	1,64	0,01	0,01	1,98	0,01	0,01	2,06

продолжение таблицы 11

№ пикета	Вариант 5			Вариант 6			Вариант 7			Вариант 8		
	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %	C_u, %	C_{Th}, %	C_k, %
1	0,00	0,02	1,79	0,00	0,02	2,14	0,00	0,02	2,14	0,02	0,02	2,05
2	0,04	0,02	1,88	0,03	0,02	2,12	0,02	0,02	2,12	0,02	0,02	2,04
3	0,02	0,04	1,86	0,02	0,04	2,02	0,02	0,00	2,02	0,02	0,01	2,02
4	0,04	0,04	1,90	0,20	0,04	2,02	0,04	0,06	2,02	0,09	0,01	2,02
5	0,07	0,17	1,97	0,27	0,09	2,12	0,07	0,15	2,12	0,39	0,03	2,12
6	0,18	0,45	2,06	0,28	0,10	2,18	0,18	0,22	2,18	0,59	0,08	2,36
7	0,38	0,65	2,20	0,38	0,07	2,29	0,29	0,4	2,29	0,29	0,16	2,29
8	0,29	0,85	2,23	0,52	0,1	2,36	0,52	0,61	2,36	0,92	0,36	2,23
9	0,77	1,08	2,30	0,77	0,53	2,40	0,94	0,98	2,65	1,60	0,64	2,55
10	0,89	1,20	2,35	0,89	0,12	2,35	1,80	1,52	2,85	2,18	0,83	2,96
11	0,30	0,26	2,10	0,64	0,07	2,23	0,87	1,13	2,59	1,10	0,55	2,59
12	0,90	0,15	2,19	0,54	0,15	2,19	0,30	0,57	2,42	0,30	0,11	2,42
13	0,65	0,06	2,13	0,60	0,10	2,13	0,18	0,32	2,37	0,12	0,07	2,37
14	0,14	0,04	2,03	0,39	0,06	2,10	0,28	0,92	2,21	0,07	0,03	2,21
15	0,30	0,04	2,04	0,30	0,04	2,10	0,13	0,36	2,28	0,04	0,07	2,10
16	0,11	0,02	2,02	0,11	0,01	2,11	0,04	0,13	2,11	0,04	0,01	2,00
17	0,02	0,01	2,04	0,03	0,01	2,12	0,03	0,04	2,12	0,03	0,02	1,97
18	0,04	0,03	2,07	0,04	0,01	2,16	0,01	0,02	2,07	0,04	0,01	2,07
19	0,02	0,01	2,12	0,02	0,01	2,12	0,02	0,05	2,12	0,02	0,03	2,05
20	0,01	0,01	2,06	0,01	0,01	2,06	0,01	0,01	2,06	0,01	0,01	2,15

Материалы и оборудование

1. Справочная информация из таблицы 9 настоящего методического пособия.

2. Калькулятор, миллиметровка, карандаш, резинка, линейка.

Порядок выполнения работы

а) Используя соотношения (3) рассчитать мощности поглощенных доз P_U, P_{Th}, P_K на поверхности земли в зависимости от концентрации изотопов *U*, *Th* и *K*. Следует иметь в виду, что в приведенных соотношениях концентрации радиоактивных изотопов C_U, C_{Th} и C_K представлены в *г/г* почвы, а мощности поглощенных доз *P* получают в *Гр/сут.* Чтобы C_U, C_{Th} и C_K подставлять в %, а *P* получать в *Гр/ч*, необходимо правую часть равенств умножить на 10^{-2} (1 % = 10^{-2} *г/г*) и разделить на 24 (1 *сут*. = 24 *ч*.):

$$P_U = 7{,}33 \cdot 10^{-5} \cdot C_U ,$$

$$P_{Th} = 3{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot C_{Th}, \qquad (12)$$

$$P_K = 1{,}52 \cdot 10^{-8} \cdot C_K$$

Чтобы мощности поглощенных доз выразить в *мГр/ч.*, следует полученные значения P_U, P_{Th}, P_K умножить на 10^3.

б) Общую мощность поглощенной дозы в *i*-той точке профиля от ионизирующего действия γ-излучений *U* (и продуктов его распада), *Th* (и продуктов его распада) и *K*, содержащихся в почве, находят суммированием:

$$P_{\Sigma i} = P_{Ui} + P_{Thi} + P_{Ki} \ . \qquad (13)$$

Распределения по профилю концентрации урана, тория, калия и суммарной мощности поглощенной дозы вынести на график, образец оформления которого представлен на рис.3.

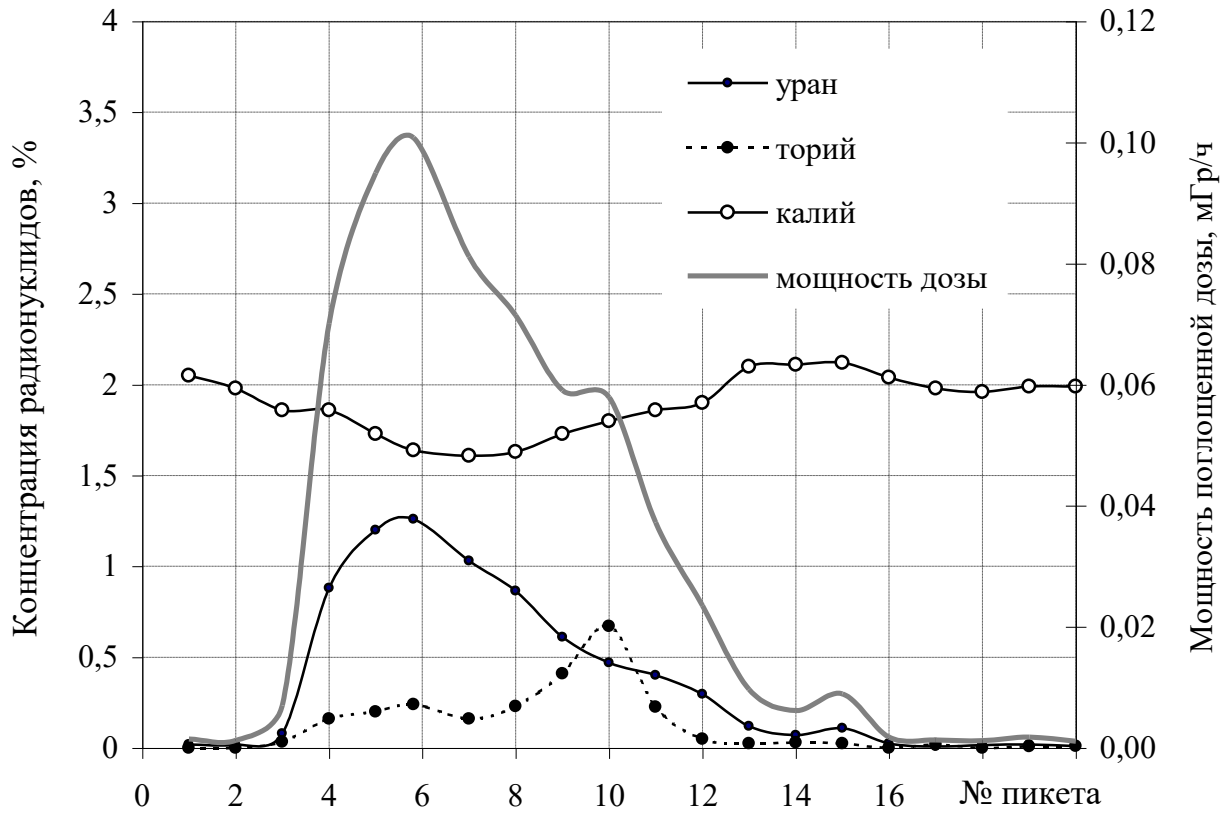


Рис. 3. Образец оформления графиков распределения по профилю концентрации урана, тория, калия и суммарной мощности поглощенной дозы

в) Величину поглощенной дозы находят

$$D = \sum_{i=1}^{n} P_{\Sigma i} \cdot t_i \ , \qquad (14)$$

где $P_{\Sigma i}$ - общая мощность поглощенной дозы в *i*-той точке профиля; t_i - время пребывания в *i*-той точке профиля (с учетом времени перехода от одной точки к другой).

Контрольные вопросы

1. Как связаны между собой величина ионизации, создаваемая γ-излучением, и мощность поглощенной дозы ?

2. Как связаны между собой доза и мощность дозы ?

3. Как оценить возможное время пребывания в условиях повышенного гамма-фона, если известна мощность экспозиционной или поглощенной дозы ?

4. В каких единицах измеряют поглощенную дозу и мощность поглощенной дозы ?

5. Какой из изотопов *U, Th* или *K* вносит наибольший вклад в суммарную мощность поглощенной дозы ? Почему ?

Содержание отчета

1. Краткое изложение основных теоретических положений.

2. Порядок выполнения расчетов.

3. Графики распределения по профилю концентрации урана, тория, калия и суммарной мощности поглощенной дозы.

4. Результаты расчета величины поглощенной дозы оператором-радиометристом.

5. Выводы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Герфорд Л., Кох Х., Хюбнер К.* Практикум по радиоактивности и радиохимии: пер. с нем. – М.: Мир, 1984.

2. *Голубев* В.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений - М.: Энергоатомиздат, 1986.

3. *Гусев Н.Г.* Защита от ионизирующих излучений. Том 1. Физические основы защиты от излучений – М.: Энергоатомиздат, 1989.

4. *Краткий справочник инженера-физика..* Ядерная физика. Атомная физика / Под ред. Федорова Н.Д. – М.: Госатомиздат, 1961.

5. *Моисеев А.А., Иванов В.И.* Краткий справочник по радиационной защите и дозиметрии. – М.: Атомиздат, 1964.

6. *Нормы радиационной безопасности* (НРБ-99/2009) – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.-100 с.

7. *Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности* (ОСПОРБ-99/2010) - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.

8. *Радиация. Дозы, эффекты, риск*: пер. с англ. – М.: Мир, 1990.

9. *Холл Э. Дж.* Радиация и жизнь: пер. с англ. – М.: Медицина, 1989.

10. *Хультквист Б.* Ионизирующее излучение естественных источников: пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959.

Учебное издание

Александрова Жанна Николаевна

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки»
очной и заочной формы обучения

Часть 1
Расчет доз внешнего и внутреннего облучения

Редактор _____
Компьютерная верстка автора

Подписано в печать ___ . ___ . 2018 г.
Бумага писчая. Формат 60 х 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. ____. Уч.-изд. л. ____. Тираж 100. Заказ _____

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Упоров

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Специальность:

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Александрова Ж. Н.

Екатеринбург

2020



0

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Ж. Н. Александрова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

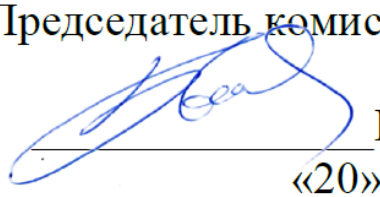
Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Часть 2
Реабилитация радиоактивно загрязненных территорий

Екатеринбург
2020

Федеральное агентство по образованию
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

Ж. Н. Александрова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Часть 2
Реабилитация радиоактивно загрязненных территорий

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

УДК 550.83
А46

Рецензент: Щапов В.А., старший научный сотрудник
Института геофизики УрО РАН, д-р геол.-мин. наук

Александрова Ж.Н.

А46 Лабораторный практикум по радиационной безопасности: учебно-методическое пособие к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине "Радиационная безопасность" для студентов специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки» очной и заочной формы обучения; Часть 2. Реабилитация радиоактивно загрязненных территорий / Ж. Н. Александрова; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2020. – 26 с.

В учебно-методическом пособии дан краткий обзор существующих способов реабилитации радиоактивно загрязненных территорий, приведены приближенная теория и сведения о практическом применении ботанической реабилитации зараженных почв. Пособие содержит руководства к выполнению двух лабораторных работ по изучению распределения радионуклидов в почвах Чернобыльского следа и факторов перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся специализациям «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» по специальности «Технология геологической разведки».

© Александрова Ж.Н., 2020
© Уральский государственный
горный университет, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ …… 4

1. БОТАНИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ……. 5

1.1. Краткий обзор существующих способов дезактивации радиоактивно загрязненных территорий ……..….. 5

1.2. Теория ботанической реабилитации …… 6

1.2.1. Предпосылки к применению метода ботанической реабилитации .. 6

1.2.2. Основные количественные соотношения ……..…….. 11

1.2.3. Оценка сроков реабилитации ……..... 13

1.2.4. Понятие о факторе ботанической реабилитации и способы его количественной оценки …….……..……15

1.3. Практическое применение ботанической реабилитации ……...…. 16

2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ……...…. 20

2.1. Изучение распределения радионуклида Cs^{137} в почвах Чернобыльского следа ……....20

Задание ……20

Материалы и оборудование ……...….20

Порядок выполнения работы ……20

Контрольные вопросы ……22

Содержание отчета …….……22

2.2. Определение факторов перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения ..

Задание …….….23

Материалы и оборудование ……...24

Порядок выполнения работы …….….24

Контрольные вопросы ……..25

Содержание отчета …….……..25

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ……...26

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних десятилетий в биосфере нашей планеты появились новые компоненты - искусственно синтезированные человеком радиоактивные изотопы. Загрязнение биосферы радиоактивными материалами связано с быстрым ростом атомной промышленности и увеличением применения энергии расщепленного ядра атома.

Проблема радиоактивного загрязнения биосферы привлекает внимание широкого круга специалистов: медиков, биофизиков, геофизиков, радиоэкологов, так как стала очевидна возможная опасность серьезных последствий, вызванных действием на живые организмы ионизирующих излучений, источником которых являются рассеиваемые в природе радиоактивные изотопы.

Особую актуальность эти проблемы приобретают в случае аварийных ситуаций, связанных с выбросами радиоактивных веществ в атмосферу. Такие случаи могут приводить к выведению из сельскохозяйственного оборота больших площадей, где будет невозможно проживание людей и получение продукции, отвечающей нормативным требованиям.

Многие радиоактивные вещества, образующиеся в результате деления тяжелых ядер, играют важную роль в биотическом цикле, в том числе долгоживущие радиоактивные изотопы (например, Sr^{90} и Cs^{137} с периодами полураспада соответственно 28 и 30 лет), так как растворимы в воде и могут участвовать в пищевой цепочке человека. Они активно поглощаются растениями из зараженного почвенного слоя и попадают в продукты питания как растительного, так и животного происхождения.

Повышение уровня радиоактивности в сельском хозяйстве в результате радиоактивного загрязнения почв после выпадения радиоосадков и других возможных причин загрязнения почвенного покрова указывает на необходимость дезактивационных мероприятий, целью которых является исключение неблагоприятных последствий распространения радиоактивных продуктов в природе.

1. БОТАНИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

1.1. Краткий обзор существующих способов дезактивации радиоактивно загрязненных территорий

В настоящее время в качестве способов дезактивации загрязненных радионуклидами почв используются механические и химические способы [5], а также пассивное ожидание уменьшения радиационного фона за счет естественного распада радионуклидов.

Механическая дезактивации почвы осуществляется путем удаления верхнего слоя почвы с последующим его захоронением на специально отведенных территориях, либо путем глубокой вспашки, в результате которой верхний горизонт сбрасывается ниже границы корнеобитаемого слоя, а более глубокие горизонты переносятся на дневную поверхность [5]. Указанные приемы существенно снижают плодородие почв, так как они связаны с удалением поверхностного, наиболее плодородного слоя почвы или захоронением этого слоя на глубину. На естественное восстановление изъятого слоя почвы, в зависимости от климатических условий, требуются многие десятки и даже сотни лет [4]. Кроме того, механическая дезактивация абсолютно не пригодна для песчаных почв с тонким плодородным слоем, как, например, в Белоруссии, поскольку ее осуществление может привести к невозможности дальнейшего сельскохозяйственного использования таких территорий. Другим ограничивающим фактором для применения механической дезактивации является трудность, связанная с транспортировкой большой снятой массы почвы и организацией специальных "могильников". Здесь возникают проблемы ветровой эрозии и загрязнения грунтовых и питьевых вод.

При химической дезактивации почв предлагается проводить выщелачивание радиоактивных изотопов Cs^{137} и Sr^{90} с помощью химических агентов. Однако применение этой технологии связано с проблемой выбора химического агента. Невозможно подобрать такой агент, который действовал бы только на

атомы Cs^{137} и Sr^{90}, поскольку в системе почва - почвенный раствор будут всегда находиться различные соединения других элементов, которые так же, как соединения Cs^{137} и Sr^{90}, будут вступать в реакции с этим агентом. Применение химических соединений может ухудшать физические и химические свойства почв и приводить их в состояние, когда нормальная жизнедеятельность растений будет затруднена или исключена вовсе. Кроме того, химическое выщелачивание опасно применять на территориях с неглубоким уровнем грунтовых вод, так как это может привести к загрязнению последних.

Пассивное ожидание снижения уровня радиоактивности за счет естественного распада изотопов Cs^{137} и Sr^{90} предусматривает исключение загрязненных территорий из сельскохозяйственного использование и может растянуться, в зависимости от степени загрязнения, на сотни лет, так как указанные радионуклиды имеют большие периоды полураспада. Активность изотопов до безопасных пределов в 1000 раз уменьшается за десять периодов.

Таким образом, возникает необходимость в такой технологии дезактивации, которая была бы лишена отмеченных недостатков - не наносила бы экологического ущерба почвам и другим экосистемам и позволяла бы сократить сроки их реабилитации. Указанных недостатков лишена ботаническая дезактивация радиоактивно загрязненных территорий.

1.2. Теория ботанической реабилитации

1.2.1. Предпосылки к применению метода ботанической реабилитации

О способности растений накапливать различные химические элементы известно давно. Еще древние римляне предполагали, что растительный покров отражает до некоторой степени характер подпочвы. Взаимосвязь между растительностью и ее подпочвой использовали рудоискатели Европы и Китая уже 400 лет назад при поисках месторождений.

Русский геолог Карпинский А.М. [3] был одним из первых, кто установил, что отдельные ассоциации растений существуют на отличительных под-

почвах, таких как песчаники, глины, известняки и т.д., и что распределение растительного покрова может быть использовано для характеристики геологических особенностей района. Его классические работы в конечном итоге служат введением в геоботанику индикаторов, которая стала изучать растительный покров и его разновидности, указывающие на условия окружающей среды.

Способность растений по-разному аккумулировать химические элементы можно использовать в практических целях для очищения загрязненных территорий от радиоактивных продуктов деления с помощью отчуждения выращенной растительной массы и последующей ее утилизации.

Эффективность технологии фитодезактивации загрязненных территорий зависит от ряда факторов: используемых видов растительности, их морфофизиологических особенностей, длительности вегетационного периода, а также от свойств дезактивируемых почв и применяемых агрохимичеких и агротехнических приемов, которые позволяли бы усиливать поступление радионуклидов из почв в растения, то есть управлять выносом радиоактивных элементов [3].

Существует несколько возможностей управления переходом раиоизотопов из почв в растения: 1) использование растений-гипераккумуляторов радиоактивных элементов, 2) стимуляция роста растений-гипераккумуляторов для получения наибольшей биомассы, 3) улучшение доступности радионуклидов для корневого питания растений

Способность растений накапливать радиоактивные элементы оценивается по факторам перехода радионуклида из почв в растения [2].

Фактор перехода (доля радиоактивности, переходящая из загрязненной почвы в зеленую массу растения) представляет собой следующее отношение:

$$\varphi_{ij} = \frac{A_{ij}}{A_i}, \qquad (1)$$

где A_{ij} - удельная активность [*Бк/кг*] *i*-го радионуклида в *j*-ом растении; A_i - удельная активность [*Бк/кг*] *i*-го радионуклида в почве.

В таблице 1 приведены экспериментально установленные величины фак-

торов перехода радионуклида Cs^{137} для некоторых растений локального участка Чернобыльского следа [1], среди которых как культурные (*рожь посевная, клевер белый, клевер луговой красный, люцерна* и др.), так и дикие представители флоры. Растения ранжированы в порядке убывания их факторов перехода.

таблица 1

	Название растения	φ, отн.ед.		Название растения	φ, отн.ед.
1	*Кипрей болотный*	0,671	34	*Повой заборный*	0,040
2	*Очиток пурпурный*	0,244	35	*Будра плющевидная*	0,039
3	*Осока острая*	0,242	36	*Крестовник луговой*	0,035
4	*Шлемник обыкновенный*	0,230	37	*Зверобой продырявленный*	0,034
5	*Мышиный горошек*	0,221	38	*Астрагал болотный*	0,034
6	*Жерушник*	0,208	39	*Вербейник обыкновенный*	0,034
7	*Горец земноводный*	0,208	40	*Вязель пестрый*	0,034
8	*Язвенник Линнея*	0,199	41	*Донник желтый*	0,034
9	*Череда трехраздельная*	0,194	42	*Пижма обыкновенная*	0,031
10	*Клевер белый*	0,168	43	*Поручейник широколистный*	0,030
11	*Двукисточник тростниковый*	0,147	44	*Дрок красильный*	0,029
12	*Дудник обыкновенный*	0,146	45	*Болиголов пятнистый*	0,029
13	*Горичник Любименко*	0,129	46	*Девясил британский*	0,026
14	*Чистец болотный*	0,116	47	*Полынь обыкновенная*	0,024
15	*Лютик ползучий*	0,113	48	*Льнянка обыкновенная*	0,022
16	*Чахотная трава*	0,109	49	*Марь белая*	0,022
17	*Папоротник мужской*	0,104	50	*Щавель конский*	0,021
18	*Вероника длиннолистная*	0,098	51	*Кострец безостый*	0,020
19	*Хвощ приречный*	0,090	52	*Подмаренник мягкий*	0,019
20	*Дербенник иволистный*	0,089	53	*Одуванчик лекарственный*	0,017
21	*Люцерна хмелевидная*	0,082	*54*	*Луговик дернистый*	0,016
22	*Донник белый*	0,072	55	*Марь узколистная*	0,016
23	*Звездчатка злаковая*	0,069	56	*Лопух большой*	0,016
24	*Клевер луговой красный*	0,064	57	*Цикорий обыкновенный*	0,015
25	*Икотник серый*	0,063	58	*Тысячелистник обыкновенный*	0,015
26	*Мята болотная*	0,062	59	*Молочай обыкновенный*	0,014
27	*Клевер сходный*	0,053	60	*Бальзамин*	0,014
28	*Рожь посевная*	0,047	61	*Клевер шуршащий*	0,013
29	*Чистотел большой*	0,046	62	*Василек луговой*	0,012
30	*Редька дикая*	0,043	63	*Зюзник европейский*	0,011
31	*Подорожник большой*	0,043	64	*Мальва культурная*	0,010
32	*Ежа сборная*	0,042	65	*Спаржа лекарственная*	0,007
33	*Частуха подорожная*	0,041	66	*Пырей ползучий*	0,007

Обращает на себя внимание тот факт, что все растения в той или иной мере накапливают радиоактивный цезий. Диапазон изменения факторов перехода для различных видов растений очень велик и достигает трех порядков.

Максимальными факторами перехода характеризуются *кипрей болотный* (0,671), *очиток пурпурный* (0,244), *осока* (0,242), *шлемник обыкновенный* (0,23), *мышиный горошек* (0,221), *жерушник* (0,208) и другие растения, которые можно отнести к гипераккумуляторам радиоактивного цезия.

Минимальными факторами перехода обладают *полынь горькая* (0,001), *пырей ползучий* (0,007), *спаржа лекарственная* (0,007), которые можно назвать гипоаккумуляторами Cs^{137}.

Обращает на себя внимание тот факт, что некоторые виды растений способны в больших количествах накапливать радионуклиды (более 20 % от содержания последних в почве). Это обстоятельство являются предпосылкой для ботанической реабилитации площадей, загрязненных по типу Чернобыльского следа.

Сущность указанного способа реабилитации заключается в следующем. На почвах, подлежащих очистке от радиоактивного загрязнения, систематически выращиваются растения, характеризующиеся максимальной способностью к извлечению радиоактивного элемента из питающей среды (почвы), то есть растения-гипераккумуляторы Cs^{137} (*мышиный горошек*, *шлемник обыкновенный* и другие). Урожай, обогащенный частично выведенными из почвы радионуклидами скашивается, озоляется и утилизируется. При этом цикл "выращивание гипераккумуляторов - скашивание - утилизация" повторяется до тех пор, пока уровень радиоактивности почвы не окажется соответствующим нормам радиационной безопасности.

Описанный способ позволяет сохранить плодородный почвенно-растительный слой и значительно сокращает срок реабилитации загрязненных площадей, если иметь в виду только естественную убыль активности загрязняющего радионуклида за счет распада.

При использовании технологии ботанической реабилитации почв, загрязненных радионуклидом Cs^{137}, важно знать характер распределения этого радионуклида в почвенном слое. Это может иметь значение при решении вопроса: доступен ли Cs^{137} для корневой системы растений.

На рис. 1 представлены результаты исследования распределения Cs^{137} по глубине почвенных разрезов [5]. Приведенные данные характеризуют ситуацию на 1995 год – спустя 9 лет после аварийного выброса на Чернобыльской АЭС. Из рисунка видно, что вся радиоактивность сосредоточена в верхнем 20-сантиметровом слое, а основная ее доля (около 90 %) - в 10-сантиметровом слое. Таким образом, скорость вертикальной миграции радионуклида Cs^{137} невелика, и ожидать значительного "самоочищения" почвы в ближайшие десятилетия не приходится. В настоящее время радиоцезий находится в корнеобитаемом почвенном слое и доступен растениям.

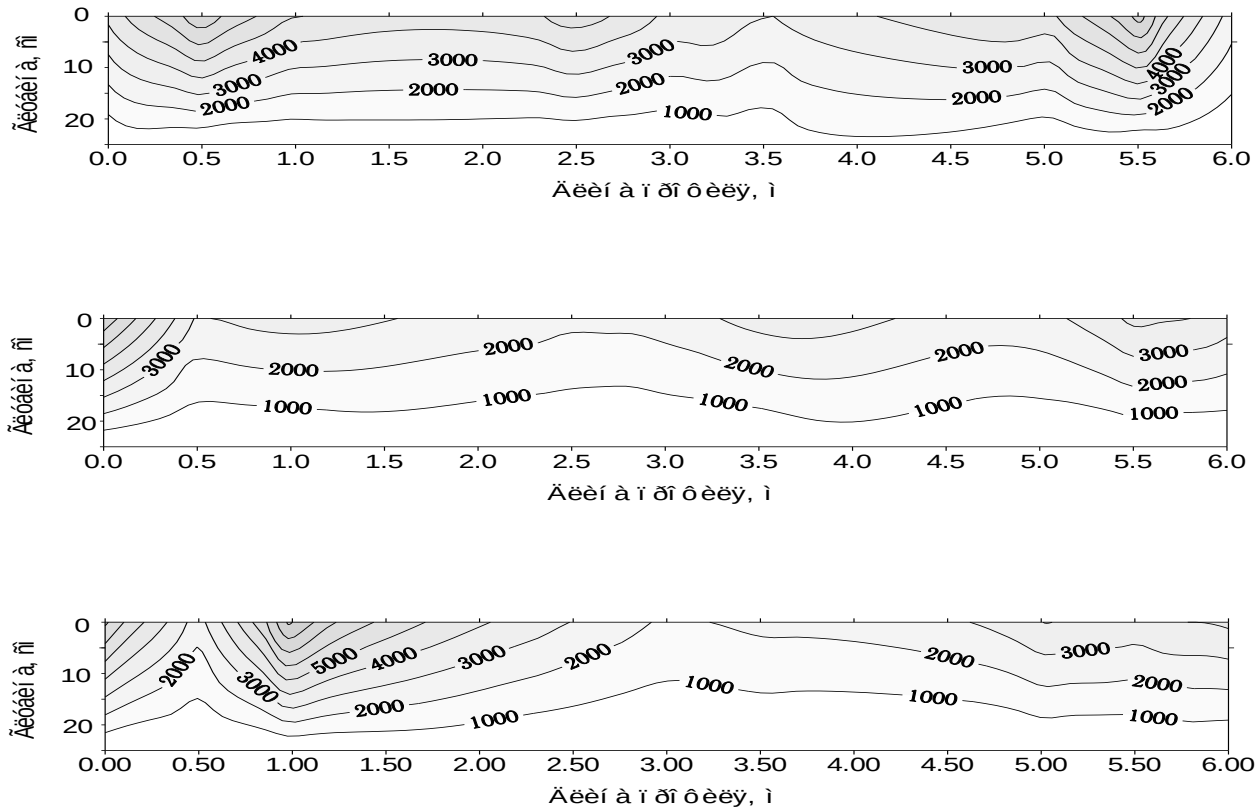


Рис. 1. Распределение удельной активности Cs^{137} по глубине нескольких почвенных разрезов Чернобыльского следа. Отметки изолиний соответствуют Бк/кг [1].

1.2.2. Основные количественные соотношения

Оценим время *t*, необходимое для снижения активности *i*-го радионуклида от начального a_{oi} до заданного $a_i(t)$ значения. При этом ограничимся только двумя из возможных факторов реабилитации – естественным остыванием и ботаническим выведением *i*-ой компоненты из среды загрязнения при культивировании растений *j*-го вида.

Предполагается, что в процессе "отсасывания" растениями *i*-го радионуклида, его количество, переходящее при прочих равных условиях из почвы в зеленую массу (подлежащую после созревания обязательной утилизации) составляет определенную, характерную для данного нуклида *i* и данного растения *j* долю активности *i*-ой компоненты, находящейся в среде загрязнения (почве).

Другими словами, фактор перехода φ_{ij} *i*-го радионуклида в зеленую массу *j*-го растения является константой, хотя результаты прямых измерений свидетельствуют о неустойчивости параметра φ_{ij}.

С учетом указанного выше допущения, формула для срока ботанической реабилитации почвы, загрязненной радионуклидом *i*, остывающим с постоянной распада λ_i, выглядит следующим образом:

$$t = -\left(\frac{\tau_i \tau_{ij}}{\tau_i + \tau_{ij}}\right) \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \qquad (2)$$

где τ_i - средняя продолжительность жизни ядер *i*-го радионуклида; τ_{ij} - средняя продолжительность пребывания *i*-го радионуклида в загрязненной почве с учетом его выведения (эвакуации) *j*-ым растением (при заданных параметрах урожайности).

Из формулы (2) видно, что для оценки сроков реабилитации необходимо иметь количественные сведения о параметре τ_{ij}, поскольку остальные величины либо табулированы (τ_{ij}), либо известны из результатов непосредственных измерений (a_{oi}) или заданы [$a_i(t)$].

Прежде всего, оценим величину t для частных случаев.

1. Если $\tau_i << \tau_{ij}$, то

$$t \approx -\tau_{ij} \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \tag{3}$$

В этом случае срок реабилитации будет определяться средней продолжительностью пребывания радионуклида i в среде загрязнения в связи с ботаническим фактором.

2. Допустим, что $\tau_i >> \tau_{ij}$, тогда

$$t \approx -\tau_i \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \tag{4}$$

Если средняя продолжительность естественного остывания i-го радионуклида невелика в сравнении с продолжительностью ботанического выведения, то срок реабилитации будет определяться параметром τ_i.

3. В частном случае, когда $\tau_i = \tau_{ij}$

$$t = -\frac{\tau_i}{2} \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} , \tag{5}$$

то есть в этом случае срок реабилитации сокращается вдвое по сравнению с естественным остыванием.

Сопоставляя сроки реабилитации с использованием механизма ботанического выведения (t_{ij}) и без него (t_i) имеем при прочих равных условиях

$$\frac{t_i}{t_{ij}} = 1 + \frac{\tau_i}{\tau_{ij}} . \tag{6}$$

Поскольку параметры τ_i, τ_{ij} больше нуля, то правая часть (6) будет больше единицы.

Другими словами, при любых соотношениях между параметрами естественного остывания τ_i и ботанического выведения τ_{ij} срок реабилитации с применением технологии ботанического выведения оказывается меньше, чем без его использования, то есть в любом случае $t_{ij} < t_i$.

Для расчета параметра τ_{ij} введем понятие периода ботанического полувыведения T_{ij}, под которым будем понимать время, необходимое для выноса половины *i*-ой компоненты *j*-ым растением при некотором уровне урожайности.

Учитывая отмеченное, имеем для функции выживания *i*-го радионуклида в среде культивирования *j*-го аккумулятора:

$$1 - n\frac{m_j}{M}\varphi_{ij} = 2^{-k_{ij}}, \tag{7}$$

где m_j - урожайность (масса с единицы площади) аккумулирующей зеленой массы; M - масса загрязненного корнеобитаемого почвенного слоя единичной площади; n - кратность утилизации (количество урожаев за сезон); k_{ij} - срок выращивания *j*-го растения (промежуток времени Δt) в нормировке к периоду полувыведения *j*-ым растением *i*-го радионуклида (T_{ij}), то есть

$$k_{ij} = \frac{\Delta t}{T_{ij}} \ . \tag{8}$$

Если отношение nm_j / M обозначить через μ_j, тогда

$$T_{ij} = -\left(\frac{\ln 2}{\ln\left(1 - \mu_j \varphi_{ij}\right)}\right)\Delta t, \tag{9}$$

откуда для τ_{ij} имеем

$$\tau_{ij} = -\frac{\Delta t}{\ln\left(1 - \mu_j \varphi_{ij}\right)}. \tag{10}$$

Подставляя выражение для параметра τ_{ij} в формулу (2), получим выражение для оценки срока ботанической реабилитации почвы:

$$t = \left(\frac{\tau_i \Delta t}{\tau_i \ln\left(1 - \mu_j \varphi_{ij}\right) - \Delta t}\right)\ln\frac{a_i(t)}{a_{oi}}. \tag{11}$$

1.2.3. Оценка сроков реабилитации

Оценим время t для предельных случаев.

1. Если $\mu_j \varphi_{ij} \to 0$, то есть переход *i*-го радионуклида из почвы в растительную массу практически отсутствует. Тогда

$$t \to -\tau_i \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}}. \tag{12}$$

Это означает, что срок реабилитации почвы будет определяться лишь естественным остыванием *i*-го радионуклида.

2. Если $\mu_j \varphi_{ij} \to 1$, то есть практически вся активность за время Δt из почвы переходит в растительную массу. При этом

$$\frac{a_i(t = \Delta t)}{a_{oi}} \to 0 \tag{13}$$

и тогда

$$t \to \Delta t \tag{14}$$

В этом случае срок реабилитации почвы будет определяться лишь длительностью вегетационного периода Δt и может составить несколько месяцев.

Для большинства растений $0 < \mu_j \varphi_{ij} < 1$. На рис. 2 представлена оценка по соотношению (11) срока реабилитации почвы, загрязненной радионуклидом Cs^{137}, при использовании в качестве средства дезактивации растения *мышиный горошек*.

Так, для гипераккумулятора *мышиный горошек* $\varphi_{ij} = 0{,}221$, его урожайность m_j при благоприятных условиях составляет 11 *т/га*. Масса загрязненного почвенного слоя площади 1 *га*, мощности 10 *см* и плотности 1 *г/см*^{3} равна 1000 *т*. При двух укосах (n=2) за вегетационный период ($\Delta t = 0{,}25$ года) величина $\mu_j = 0{,}022$. Для уменьшения активности радионуклида Cs^{137} ($\tau_i = 43$ года) в загрязненной почве в 10 раз потребуется время равное 55 годам, для снижения почвенной радиоактивности в 5 раз - примерно 38 лет, в 2 раза - примерно 16 лет (рис. 2).

Рассчитанные сроки оказываются значительно меньше сроков реабилитации почвы без ботанического выведения радиоактивной компоненты. Так, за

счет естественного распада Cs^{137} его активность в почве снижается в 10 раз через 104 года. Это примерно в 2 раза больше, чем при использовании в качестве средства дезактивации *мышиного горошка*.

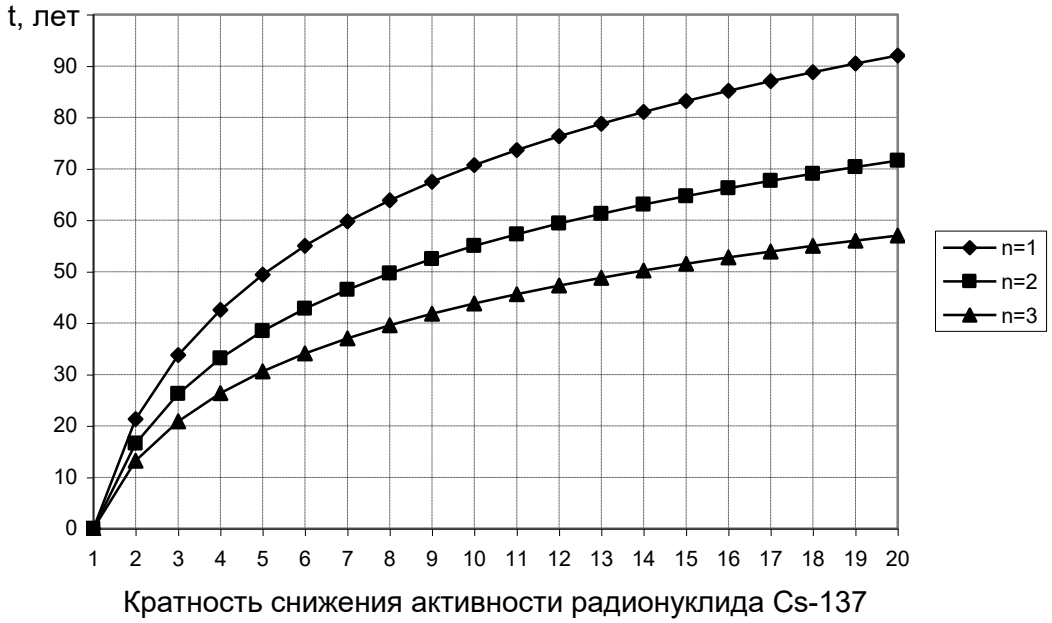


Рис. 2. Оценка срока реабилитации почвы, загрязненной радионуклидом Cs^{137}, при использовании в качестве средства дезактивации растения *мышиный горошек*.

1.2.4. Понятие о факторе ботанической реабилитации и его количественная оценка

Выражение (11) для срока ботанической реабилитации почвы, загрязненной радионуклидом *i*, можно упростить, имея в виду разложение

$$\ln(1-a)\big|_{a<<1} \approx -a\,. \tag{15}$$

С учетом (15) формула (11) выглядит следующим образом:

$$t \approx -\left(\frac{\tau_i \Delta t}{\tau_i \varphi_{ij} \mu_j + \Delta t}\right) \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}}\ , \tag{16}$$

или

$$t_i \approx -\left(\frac{\tau_i}{1+\dfrac{\tau_i}{\Delta t}\varphi_{ij}\mu_j}\right) \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}}\ . \tag{17}$$

Обозначив $\theta_i = \tau_i / \Delta t$, получим:

$$t_i \approx -\left(\frac{\tau_i}{1+\theta_i \varphi_{ij} \mu_j}\right) \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \ , \qquad (18)$$

или

$$t_i \approx -\left(\frac{\tau_i}{1+R}\right) \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \ , \qquad (19)$$

где $R = \mu_j \theta_i \varphi_{ij}$ - фактор ботанической реабилитации.

Из формулы (19) видно, что при $R = 0$ реабилитация будет связана только с естественным остыванием радиоактивной компоненты, то есть

$$t_i \approx -\tau_i \ln \frac{a_i(t)}{a_{oi}} \ . \qquad (20)$$

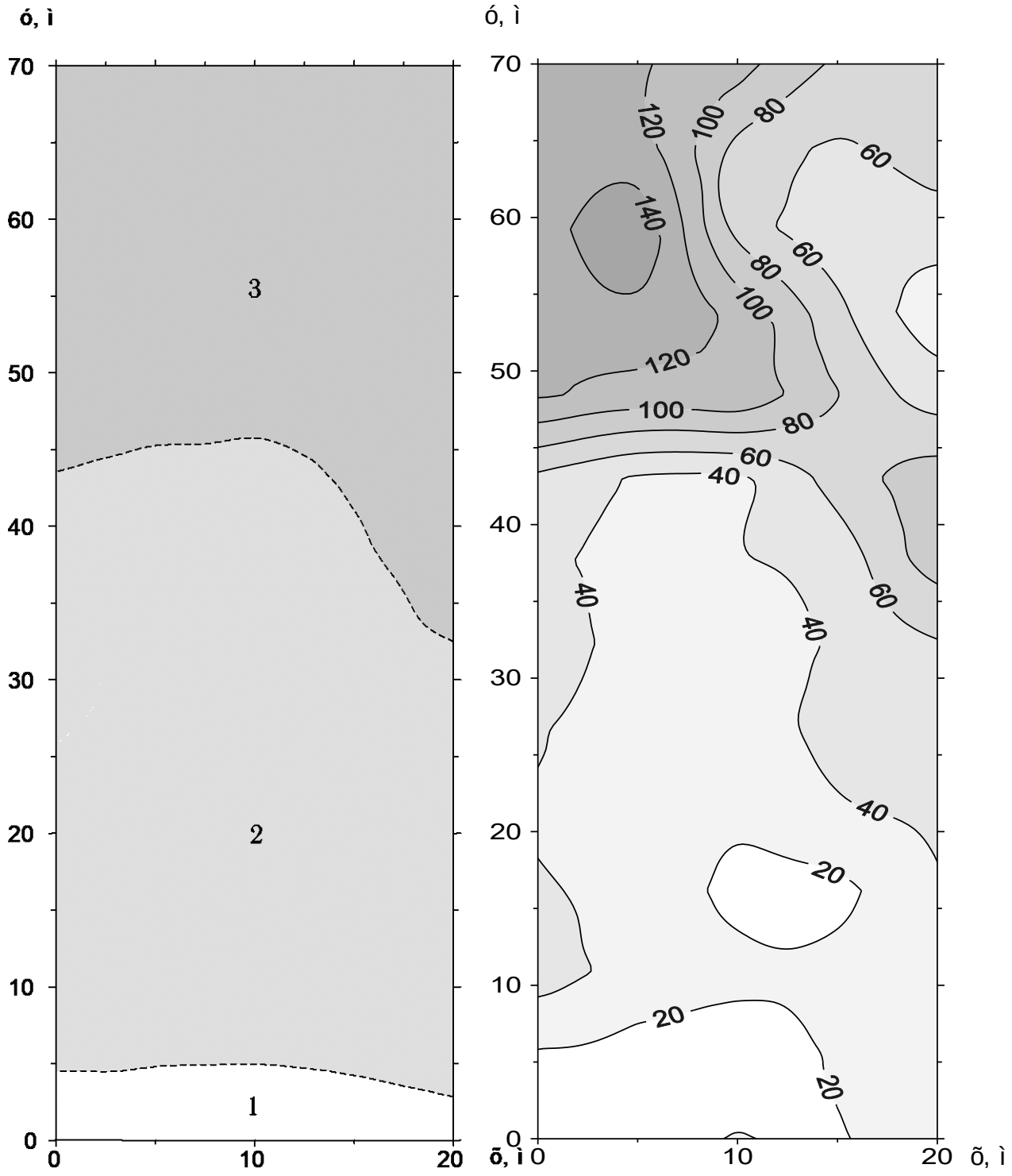
С возрастанием фактора реабилитации R, который включает в себя несколько составляющих, сроки дезактивации почвы уменьшаются и наоборот.

1.3. Практическое применение ботанической реабилитации

Результаты практического применения технологии ботанической реабилитации подтверждают ее основные теоретические положения и указывают на возможности очистки почв от радиоактивного загрязнения путем систематического отчуждения фитомассы, обогащенной радионуклидами.

Примером может служить один из участков Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа), сформировавшегося в результате Кыштымской аварии 1957 года на ПО "Маяк". Участок располагается в южной части Каменского района Свердловской области в окрестностях оз. Тыгиш, где в настоящее время наблюдаются наибольшие остаточные уровни радиоактивного загрязнения, Содержание Sr^{90} в отдельных почвенных пробах соответствует плотности поверхностного загрязнения 5 и более *Ки/км*^{2}.

Участок представлен почвами, с которых велся регулярный в послеаварийный период укос травы, и почвами, где отчуждение фитомассы не производилось (рис. 3а). Уровень загрязнения участка по Sr^{90} на 1997 год – до 1 *Ки/км*^{2}.



а) б)

Рис. 3. а) Схема расположения различных по использованию почв на участке радиоэкологических исследований. б) Распределение β-активности по площади исследованного участка. Отметки изолиний соответствуют *имп/мин*.

Обозначения: 1 - сенокос на рекультивированной почве, 2 - сенокос на целинной почве, 3 - участок леса, где скашивание травы в послеаварийный период не производилось [1].

Так, северо-западную часть участка занимают почвы с погребенным гумусовым горизонтом, образование которого связано с проведением в начальный послеаварийный период серии дезактивационных работ. Последние были проведены на территории ВУРСа в зонах с максимальной плотностью загрязнения, и они представляют собой высокую отвальную вспашку, в результате которой верхняя часть гумусового профиля оказалась перемещенной на глубину 50-90 см. В настоящее время на этой почве производится выращивание многолетних трав, скашивание ведется с применением техники.

Средняя часть участка занята почвами, незатронутыми дезактивационными мероприятиями и которые с 1957 года используются местными жителями как естественный сенокос, скашивание ведется вручную.

И, наконец, юго-западную часть занимает лес. Эти почвы также не затронуты дезактивационными работами, но укос травы с них не производится даже вручную из-за наличия большого количества древесной растительности.

Исследования распределения β-активности по площади участка (Sr^{90} и его дочерний продукт Y^{90} являются β-излучателями) показали, что активность по β-лучам в той части участка, где производилось регулярное с момента загрязнения скашивание растительности, оказалась заметно ниже, чем в точках наблюдений, расположенных за пределами этой части, то есть где укос травы не производился (рис. 3б).

Контраст в аппаратурном отклике по β-лучам хорошо виден на рис. 4, где представлена интенсивность β-излучения по одному из съемочных профилей участка. Так, минимальной β-активностью – 20 *имп/мин* характеризуются вспаханные рекультивированные почвы, на сенокосе β-отклик составил 30-40 *имп/мин*, а на территории леса отмечается максимальная активность по β-лучам – 80-140 *имп/мин*, что примерно в 3 раза больше, чем на сенокосе.

Систематическое скашивание и эвакуация растительности с фактором перехода по радиостронцию $\varphi_{ij} = 0{,}25$ с зараженной территории за 39 лет умень-

шили активность почв в 10 раз. Это сократило время, необходимое на такое снижение активности, более чем в 2 раза. Выращивание и утилизация *шлемника обыкновенного* с фактором перехода $\varphi_{ij} = 0{,}93$ могло бы обеспечить снижение активности Sr^{90} в почве в 10 раз, которое удалось зарегистрировать на участке, не за 39 лет, а примерно за 15 лет. Таким образом, возможность использования технологии ботанической реабилитации радиоактивно загрязненных почв получила экспериментальное подтверждение на локальном участке Восточно-Уральского радиоактивного следа [1].

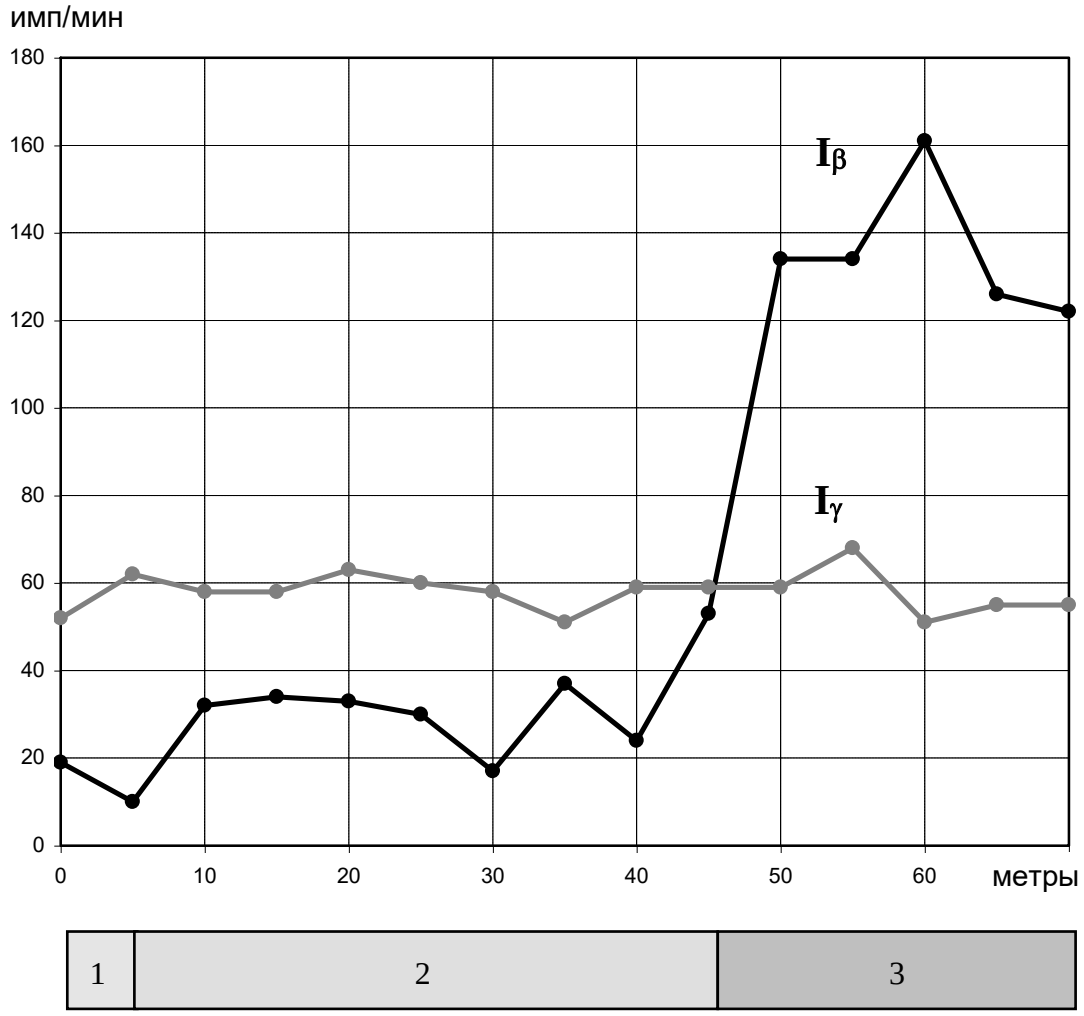


Рис. 4. Интенсивность β- и γ-излучения по съемочному профилю. Обозначения: 1- сенокос на рекультивированной почве, 2 - сенокос на целинной почве, 3 - лес.

2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

2.1. Изучение распределения радионуклида Cs^{137} в почвенном слое Чернобыльского следа

Задание

а) С помощью лабораторного гамма-спектрометра "Гамма-01С" зарегистрировать спектры гамма-излучения почвенных проб, отобранных на территории Чернобыльского следа с разной глубины почвенного слоя.

б) Произвести обработку полученных спектров и вычислить удельную активность радионуклида Cs^{137} в почвенных образцах.

в) Построить график вертикального распределения удельной активности Cs^{137} в почвенном слое.

г) Сделать выводы о соответствии удельной активности Cs^{137} в почвенных образцах нормам радиационной безопасности и максимальной концентрации радиоактивного цезия в почвенном разрезе.

Материалы и оборудование

1. Лабораторный гамма-спектрометр "Гамма-01С".
2. Набор почвенных проб, отобранных на территории Чернобыльского следа с разной глубины почвенного слоя.
3. Эталон Cs^{137} с известной удельной активностью.
4. Набор образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ).
5. Калькулятор, миллиметровка, карандаш, резинка, линейка.

Порядок выполнения работы

а) Лабораторный спектрометр подготовить к работе: прогреть в течение 10 минут, произвести градуировку энергетической шкалы с помощью образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ).

б) Зарегистрировать спектр гамма-излучения эталонного образца Cs^{137} с экспозицией 10 *мин*. Найти площадь фотопика Cs^{137} на спектре гамма-излучения эталона $S_{эт}$.

в) Зарегистрировать спектр фонового гамма-излучения с экспозицией 10 *мин*. Найти площадь $S_ф$, соответствующую энергетическому интервалу фотопика Cs^{137} на спектре фонового гамма-излучения эталона.

г) Взвесить почвенные образцы. Зарегистрировать спектры их гамма-излучения с экспозицией 10 *мин* (рис. 5). Найти площадь фотопика Cs^{137} на спектре гамма-излучения каждой почвенной пробы S_{ni}.

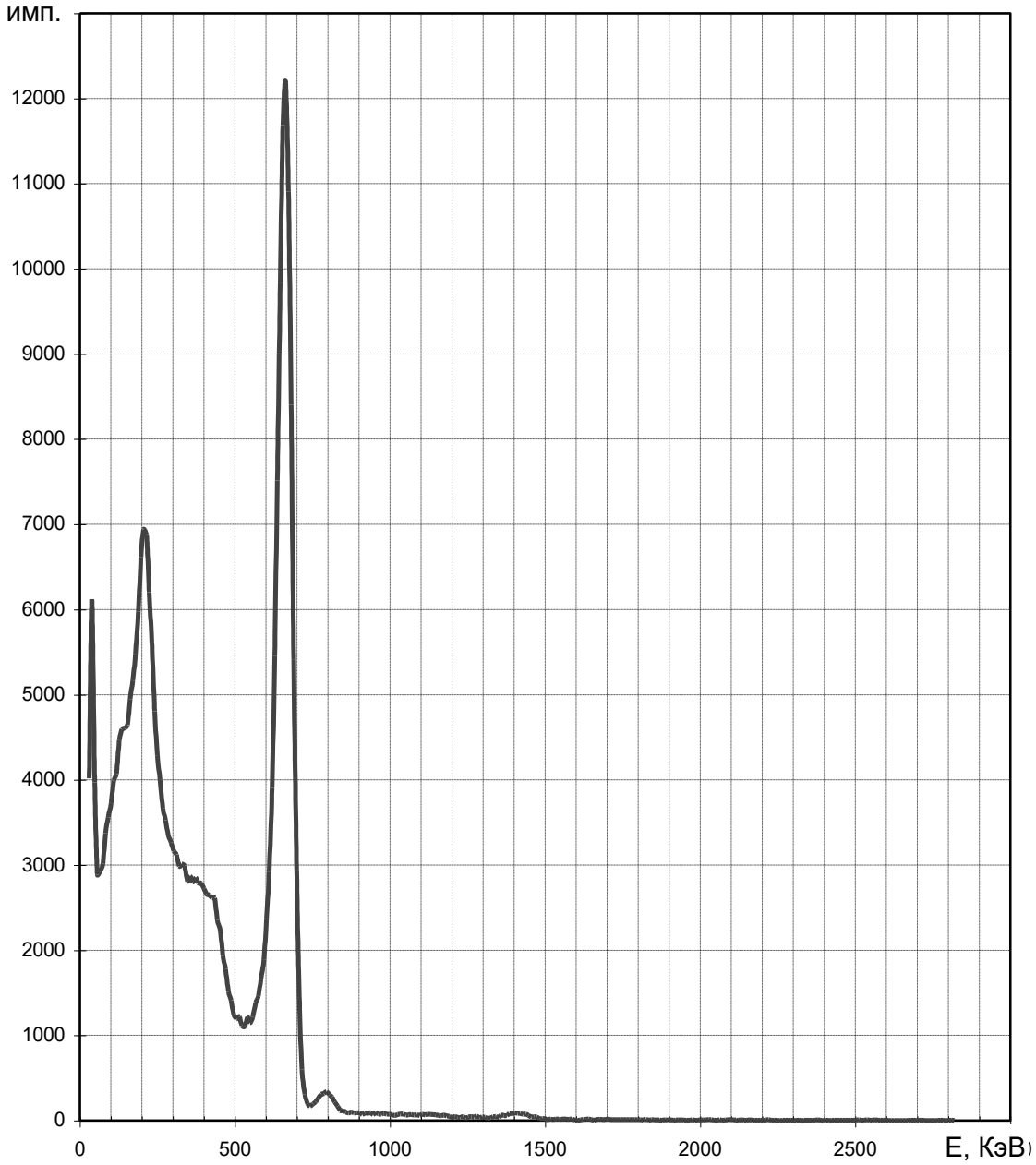


Рис. 5. Спектр гамма-излучения почвенной пробы локального участка Чернобыльского следа. Время измерения – 10 *мин.*, масса – 100 *г*.

д) Вычисление удельной активности Cs^{137} в *i*-ом почвенном образце производится по формуле:

$$A_{ni} = A_{эт} \cdot \frac{S_{ni}}{S_{эт}} \cdot \frac{t_{эт}}{t_n} \cdot \frac{m_{эт}}{m_n}, \qquad (21)$$

где $A_{эт}$ - удельная активность Cs^{137} в эталонном образце в *Бк/кг*; S_{ni} - площадь фотопика Cs^{137} на спектре γ-излучения *i*-ой почвенной пробы в *имп*; $S_{эт}$ - площадь фотопика Cs^{137} на спектре γ -излучения эталона в *имп*; $t_{эт}$ – время регистрации спектра эталонной пробы в *с*; t_{ni} – время регистрации спектра почвенной пробы в *с*; $m_{эт}$ – масса эталонной пробы в *г*; m_{ni} – масса почвенной пробы в *г*.

е) График вертикального распределения удельной активности Cs^{137} в почвенном слое представить в виде гистограммы, образец которой приведен на рис. 6.

ж) Описать полученные результаты. Указать, находится ли Cs^{137} в корнеобитаемом почвенном слое, или он недоступен для корневого питания растений.

Контрольные вопросы

1. Какова основная цель изучения распределения радионуклида Cs^{137} в почвах Чернобыльского следа ?
2. Какова скорость вертикальной миграции радионуклида Cs^{137} в почвах?
3. Чем определяется скорость вертикальной миграции радионуклида Cs^{137} в почвах ?
4. Какие радионуклиды, кроме Cs^{137}, обнаружены Вами в почвенных образцах ?

Содержание отчета

1. Краткое изложение основных теоретических положений.
2. Порядок выполнения измерений и последующей обработки данных.
3. График вертикального распределения удельной активности Cs^{137} в почвенном разрезе.
4. Выводы.

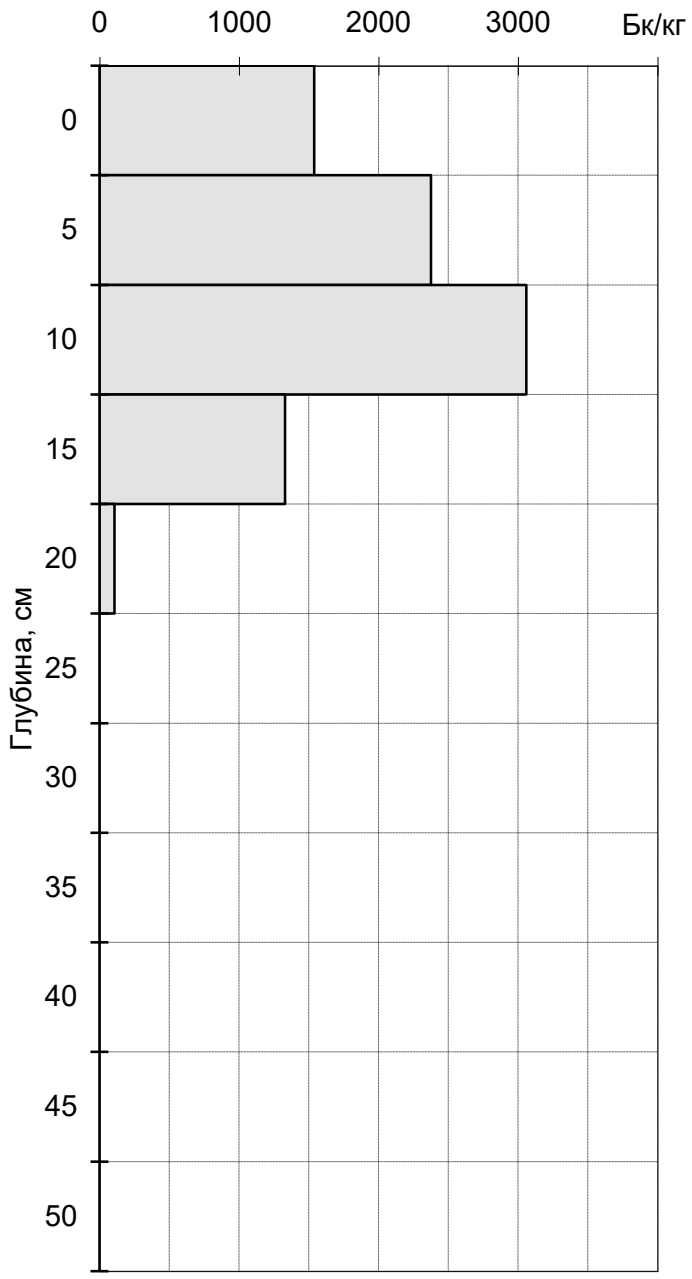


Рис. 6. Образец оформления графика вертикального распределения удельной активности Cs^{137} в почвенном разрезе.

2.2. Определение факторов перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения

Задание

а) С помощью лабораторного гамма-спектрометра "Гамма-01С" зарегистрировать спектры гамма-излучения растительных и почвенных проб, отобранных на территории Чернобыльского следа.

б) Произвести обработку полученных спектров и вычислить удельную активность радионуклида Cs^{137} в растительных и почвенных образцах.

в) Рассчитать факторы перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения.

г) Сделать выводы.

Материалы и оборудование

1. Лабораторный гамма-спектрометр "Гамма-01С".
2. Эталон Cs^{137} с известной удельной активностью.
3. Набор образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ).
4. Пробы растений *мышиный горошек* и *шлемник обыкновенный*.
5. Пробы почв, соответствующие растениям *мышиный горошек* и *шлемник обыкновенный*.
6. Калькулятор, карандаш, резинка.

Порядок выполнения работы

а) Лабораторный спектрометр подготовить к работе: прогреть в течение 10 минут, произвести градуировку энергетической шкалы с помощью образцовых спектрометрических гамма-источников (ОСГИ).

б) Зарегистрировать спектр гамма-излучения эталонного образца Cs^{137} с экспозицией 10 *мин*. Найти площадь фотопика Cs^{137} на спектре гамма-излучения эталона $S_{эт}$.

в) Зарегистрировать спектр фонового гамма-излучения с экспозицией 10 *мин*. Найти площадь $S_ф$, соответствующую энергетическому интервалу фотопика Cs^{137} на спектре фонового гамма-излучения эталона.

г) Взвесить подготовленные растительные образцы для *мышиного горошка* и *шлемника обыкновенного*. Зарегистрировать спектры их гамма-излучения с экспозицией 15 *мин*. Найти площадь фотопика Cs^{137} на спектре гамма-излучения каждой растительной пробы S_{pj}.

д) Взвесить почвенные образцы, соответствующие растениям *мышиный горошек* и *шлемник обыкновенный*. Зарегистрировать спектры их гамма-излу-

чения с экспозицией 5 *мин*. Найти площадь фотопика Cs^{137} на спектре гамма-излучения каждой почвенной пробы S_{nj}.

е) По формуле (21) рассчитать удельную активность Cs^{137} в растительных и соответствующих им почвенных образцах.

ж) По соотношению (1) вычислить факторы перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения *мышиный горошек* и *шлемник обыкновенный*.

з) Сделать заключение, относятся ли исследованные растения к гипераккумуляторам радиоактивного цезия или нет.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы реабилитации радиоактивно загрязненных территорий ? Каковы их недостатки и преимущества ?
2. Что такое фактор перехода радионуклида из почвы в растение ?
3. Какие растения-гипераккумуляторы радиоактивного цезия Вы можете назвать ?
4. Как можно оценить срок ботанической реабилитации почвы ?
5. Какие факторы влияют на срок ботанической реабилитации почвы ?
6. Что такое фактор ботанической реабилитации почвы ?
7. Как влияет фактор ботанической реабилитации на сроки снижения почвенной активности ?

Содержание отчета

1. Краткое изложение основных теоретических положений.
2. Порядок выполнения измерений и последующей обработки данных.
3. Результаты расчета факторов перехода радионуклида Cs^{137} из почв в растения *мышиный горошек* и *шлемник обыкновенный*.
4. Выводы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Ж.Н.* Ядерно-физические измерения параметров ботанической реабилитации радиоактивно загрязненных площадей: Диссертация на соискание ученой степени кандидата геол.- минерал. наук. – Екатеринбург, 1998. – 147 с.

2. *Александрова Ж.Н., Возженников Г.С.* О возможности ботанической реабилитации загрязненных площадей Восточно-Уральского радиоактивного следа // Международная выставка-семинар "Уралэкология-95": Тез. докл. – Екатеринбург, 1995. – с.190-191.

3. *Антропогенная радионуклидная аномалия и растения* / Гродзинский Д.М., Коломиец К.Д., Кутлахмедов Ю.А. и др. – Киев: Лыбидь, 1991. – 156 с.

4. *Брукс Р.Р.* Биологические методы поисков полезных ископаемых: Пер. с англ. – М.: Недра, 1986. – 311 с.

5. *Поляков Ю.А.* Радиоэкология и дезактивация почв. – М.: Атомиздат, 1970. – 142 с.

Учебное издание

Александрова Жанна Николаевна

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки»
очной и заочной формы обучения

Часть 2
Реабилитация радиоактивно загрязненных территорий

Редактор _____
Компьютерная верстка автора

Подписано в печать ___ . ___ . 2018 г.
Бумага писчая. Формат 60 x 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. ____. Уч.-изд. л. ____. Тираж 100. Заказ _____

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНИСТЕРСТВОНАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Упоров

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Специальность:

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Александрова Ж. Н.

Екатеринбург

2020

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Ж. Н. Александрова, Ю. В. Белышев

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

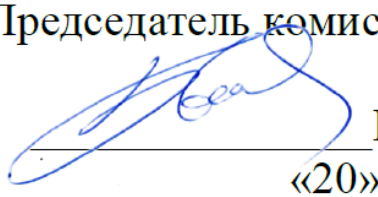
Часть 3

Определение радона в воде

Екатеринбург
2020

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

Ж. Н. Александрова, Ю. В. Белышев

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Часть 3
Определение радона в воде

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

УДК 550.83
А46

Рецензент: Щапов В.А., старший научный сотрудник
Института геофизики УрО РАН, д-р геол.-мин. наук

Александрова Ж.Н., Белышев Ю.В.

А46 Лабораторный практикум по радиационной безопасности: учебно-методическое пособие к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине "Радиационная безопасность" для студентов специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки» очной и заочной формы обучения; Часть 3. Определение радона в воде / Ж. Н. Александрова, Ю. В. Белышев; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2020. – 23 с.

В учебно-методическом пособии приводятся сведения о радиоактивном газе радоне, дан краткий обзор существующих способов его определения. Описан полевой эманометр «Радон» и порядок работы с ним. Пособие содержит руководство к выполнению лабораторной работы по определению концентрации радона в воде.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся специализациям «Геофизические методы исследования скважин» и «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» по специальности «Технология геологической разведки».

© Александрова Ж.Н., Белышев Ю.В., 2018
© Уральский государственный горный университет, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭМАНАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ……... 4

1.1 Свойства радона …… 4

1.2 Радон в воздухе зданий …… 6

1.3 Радон в питьевой воде …….. 7

1.4 Способы определения радона ……..…. 8

2. ПОЛЕВОЙ ЭМАНОМЕТР «РАДОН» ……. 13

2.1 Основные технические данные и характеристики прибора ….. 14

2.2 Устройство и принцип работы прибора ……..…..... 14

2.3 Подготовка прибора и измерительной установки к работе …..... 15

2.4 Градуирование прибора ……. 16

3. ПРОГРАММА ИЗМЕРЕНИЙ ……... 18

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ …….……..……... 22

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ……..… 23

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭМАНАЦИОННЫХ МЕТОДОВ

1.1 Свойства радона

После открытия радия, когда ученые познавали тайны радиоактивности, было установлено, что твердые вещества, находившиеся в близком соседстве с солями радия, становились радиоактивными. Однако, спустя несколько дней радиоактивность этих веществ исчезала бесследно. В 1902 году Дорн, изучавший это явление, пришел к выводу, что радий непрерывно испускает радиоактивное вещество, невесомые количества которого оседают на близлежащих предметах. Это вещество оказалось радиоактивным газом, который Резерфордом был назван эманацией радия. Слово "*эманация*" было заимствовано из латинского языка и означает "истечение".

Радиоактивные газы (эманации) - радон $_{86}Rn^{222}$ ($T_{1/2}$ =3,82 сут), торон $_{86}Rn^{220}$ (Tn, $T_{1/2}$ =55,6 с) и актинон $_{86}Rn^{219}$ (An, $T_{1/2}$ =3,96 с) входят в радиоактивные цепочки последовательно превращающихся *естественных* радионуклидов уранового $_{92}U^{238}$ ($T_{1/2}$ =4,47·10^9 лет), ториевого $_{90}Th^{232}$ ($T_{1/2}$ = 14·10^9 лет) и актиноуранового $_{92}U^{235}$ ($T_{1/2}$ =7,04·10^8 лет) рядов.

Радон – самый тяжелый из благородных газов. Он в 110 раз тяжелее водорода, в 55 раз тяжелее гелия. Не имеет ни запаха, ни вкуса, прозрачен и бесцветен.

Плотность радона при 0 °С равна 9,81 кг/м^3, т.е. почти в 7,5 раз больше плотности воздуха. Однако пока эти сведения не проверены, так как чтобы получить один литр радона из солей радия, нужно около 500 кг радия. Если бы такой объем газа и был получен каким-либо образом, то, по словам Резерфорда, ученого, открывшего радон, "никакой сосуд не мог бы удержать его, так как количество тепла, испускаемое радоном, расплавило бы сосуд, в который его заключили".

Радон химически инертен и реагирует только с сильными фторирующими реагентами.

Радон образуется при распаде $_{88}Ra^{226}$ ($T_{1/2}$ = 1620 лет), входящего в радиоактивное семейство $_{92}U^{238}$. Он является α-излучателем.

В результате радиоактивного распада $_{88}Ra^{226}$ образующийся радон попадает в кристаллическую решетку минералов. Процесс выделения радона из минералов и горных пород в поровое или трещинное простран-

ство получил название *эманирования*. Не все атомы радона могут выделиться в поровое пространство, поэтому для характеристики степени высвобождения радона из горных пород используется *коэффициент эманирования*:

$$\eta = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_{\text{о}}}100\% = \frac{C_{\text{п}}V_{\text{п}}}{CV}100\% = \frac{C_{\text{п}}}{C}k_{\text{п}} \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где $Q_{\text{п}}$ - количество эманации, выделяемой в поровое пространство за некоторое время; $Q_{\text{о}}$ - полное количество эманации (включая «замурованную» часть в минеральных зернах), образующейся за тот же промежуток времени; $C = Q_{\text{о}}/V$ - общая концентрация эманации, находящейся в объеме V; $V_{\text{п}}$ - объем пор; $k_{\text{п}} = V_{\text{п}}/V$ - коэффициент пористости породы.

Величина коэффициента эманирования зависит от характера породы, ее структуры и степени ее раздробленности. Чем меньше зерна породы, тем больше внешняя поверхность зерен, тем активнее идет процесс эманирования. Коэффициент эманирования может меняться от первых процентов (скальные породы) до 30-40 % (песчаники, угли) и даже 60 % (торфяники).

Попадая в поры горной породы эманации и в дальнейшем распространяются путем диффузии или конвективного переноса (по трещинам, разломам), образуя *газовый ореол рассеяния*. Растворенные в воде радиоактивные элементы и эманации могут мигрировать с подземными водами на значительные расстояния (до десятков километров), образуя *водный ореол рассеяния*.

Проводниками радона под землей являются региональные разломы, заложенные в допалеозойское время, и разломы, активизированные в мезо-кайонозойское время, с помощью которых радон появляется на поверхности земли и частично концентрируется в рыхлых отложениях.

Если в породе известна массовая доля P_U (%) урана, то концентрация Rn в объеме порового пространства вычисляется по формуле:

$$C_{\text{Ra}}^{\text{пор}} = 3{,}4 \cdot 10^4 \frac{\eta}{k_{\text{п}}} \rho K_{\text{рр}} P_{\text{U}}, \qquad (2)$$

где ρ - плотность горной породы (г/см^3); $K_{\text{рр}}$ - коэффициент радиоактивного равновесия между радием и ураном.

$$K_{\text{рр}} = \frac{P_{\text{Ra}}}{P_{\text{U}}} \frac{1}{3{,}4 \cdot 10^{-7}}, \qquad (3)$$

где P_{Ra} и P_U - содержания радия и урана соответственно.

Концентрация эманаций измеряется в долях удельной активности (Бк/л, Бк/м^3 или Ки/л, Ки/м^3) - количества ядерных превращений в секунду, происходящих в единице объема вещества.

$$1 \text{ Ки} = 3{,}7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}, \; 1 \text{ эман} = 10^{-10} \text{ Ки/л} = 3{,}7 \text{ Бк/л}$$

При оценке концентрации Tn используется следующая формула:

$$C_{\text{Tn}}^{\text{пор}} = 2{,}6 \cdot 10^4 \, \frac{\eta}{k_{\text{п}}} \, \rho P_{\text{Th}} \, . \qquad (4)$$

Экспериментальными исследованиями установлено, что распределение Rn между жидкой и газообразной фазами подчиняется *закону Генри*:

$$C_{\text{ж}} = \alpha(T) C_{\text{г}} \, , \qquad (5)$$

где $C_{\text{ж}}$ - концентрация Rn в жидкости; $C_{\text{г}}$ - концентрация Rn в газе;

$\alpha(T)$ - коэффициент растворимости (коэффициент Генри).

Установлена следующая эмпирическая зависимость растворимости радона в воде в зависимости от температуры:

$$\alpha(T) = 0{,}105 + 0{,}405 e^{-0{,}0502 \cdot T} \, . \qquad (6)$$

Из формулы видно, что коэффициент α уменьшается с ростом температуры. При температурах 10, 20, 30, 40 °C он равен соответственно 0,35; 0,25; 0,20 и 0,16. При кипячении воды радон полностью удаляется.

В природе радона очень мало - его можно отнести к числу наименее распространенных на нашей планете химических элементов. Концентрация Rn в атмосфере оценивается цифрой $7 \cdot 10^{-17}$ % по весу. В земной коре его тоже очень мало, поскольку радон образуется из сверхредкого элемента - радия. Тем не менее, даже ничтожное присутствие радона можно обнаружить с помощью специальных приборов - эманометров.

1.2 Радон в воздухе зданий

Основным источником поступления радона в воздух помещений является геологическое пространство под зданием. Содержание радона в воздухе помещений зависит от его содержания в почве и подстилающих породах, их эманирующей способности, климатических условий, конструкции зданий и системы их вентиляции, кратностью воздухообмена в помещении. Концентрации и потоки радона крайне неравномерны, они изменяются в очень широких пределах для различных регионов и видов зданий.

Свой вклад в поток радона, поступающий в помещение, создает и его выход из строительных конструкций - радон может генерироваться строительными материалами при достаточно большом содержании в них урана и тория. Генерируется он вследствие того, что при строительстве здания мог быть использован кирпич, изготовленный из глины, характеризующейся повышенной радиоактивностью.

При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы объемная активность радона и торона и их дочерних продуктов распада в воздухе помещений не превышала **100** Бк/м^3.

В эксплуатируемых зданиях концентрация Rn^{222} и Rn^{220} и их дочерних продуктов распада в воздухе не должна превышать **200** Бк/м^3. При более высоких значениях объемной активности должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений.

Изотоп Rn^{222} (продукт распада $_{92}U^{238}$) дает примерно 50–55 % дозы облучения, которое ежегодно получает каждый житель Земли. Изотоп Rn^{220} (продукт распада $_{90}Th^{232}$) прибавляет к этому еще примерно 5–10 %. Однако исследования показали, что в отдельных местностях радоновое облучение во много раз и даже на несколько порядков может превышать средние величины.

1.3 Радон в питьевой воде

Каким образом радон попадает в питьевую воду? Он попадает в воду из окружающих пород (гранитов, базальтов и др.), с которыми соприкасаются водоносные слои. Поэтому концентрация радона в водах зависит от концентрации материнских элементов в горных породах, омываемых ею, коэффициента эманирования, пористости или трещиноватости горных пород и скорости движения воды (расхода потока). Рыхлые или трещиноватые породы характеризуются повышенными концентрациями радона (зоны тектонических нарушений, кора выветривания и т.д.).

Подземные воды трещинных массивов кислых кристаллических пород обычно отличаются наиболее высокой концентрацией радона, достигающей 500 Бк/л и выше. Значительно ниже концентрация радона в водах основных изверженных пород. Трещинные воды известняков, песчаников,

сланцев обычно имеют концентрацию радона в пределах 10-100 Бк/л. Однако, в отдельных случаях, и в этих породах могут встречаться повышенные концентрации радона. Подземные воды в горизонтах грунтовых вод, залегающих недалеко от поверхности, обычно имеют более низкую концентрацию радона, составляющую менее 50 Бк/л. В поверхностных водах концентрация радона, как правило, не превышает 2-5 Бк/л, главным образом, из-за того, что радон успевает распасться в течение существования воды в поверхностных условиях или уйти в атмосферу за счет аэрации.

В зависимости от геологических и гидрогеологических условий в различных районах земли создаются условия для формирования широкого спектра фоновых концентрации радона. Наряду с районами с пониженными фоновыми концентрациями радона в водах имеются территории с весьма высокими, “ураганными” содержаниями радона. Такие территории обнаружены в Бразилии, Индии, Канаде. В Иране известны родники с высокими концентрациями радона. Повышенными фоновыми концентрациями радона характеризуются скандинавские страны. Многочисленные зоны с высокой концентрацией радона в водах выявлены в США. В России выявлены зоны с концентрацией радона в воде в 300-400 Бк/л. Из-за разнообразия условий радононакопления в водах в разных странах приняты различные величины предельно допустимых концентраций радона, которые ограничивают использование вод с высоким содержанием радона. Так, в Финляндии предельно допустимые концентрации установлены на уровне 300 Бк/л, в Швеции - 300 Бк/л, в Ирландии - 200 Бк/л.

В России нормы радиационной безопасности устанавливают предельно допустимое содержание радона в воде в **60 Бк/л** при отсутствии в воде других радиоактивных веществ. До этого «Санитарные правила и нормы для централизованного водоснабжения» разрешали пользоваться водой с содержанием радона до 120 Бк/л.

1.4 Способы определения радона

Радон можно определить с помощью эманационных методов.

Под эманационным методом геофизической разведки понимают исследования распределения концентрации радиоактивных газов в горных породах, рудах, почве, атмосферном воздухе, воде в целях поисков и разведки месторождений радиоактивных руд, а также для решения некото-

рых геологических (картирование разломов, зон трещиноватости), инженерно-геологических (выявление пород с повышенной пористостью, отслеживание водных горизонтов) и экологических задач. Сравнительно недавно установлено аномальное поведение радона в подземных водах вблизи эпицентра землетрясения. Это открытие позволило создать метод прогноза землетрясений, который уже оправдал себя на практике.

В зависимости от природы эманаций различают радоновый, тороновый и актиноновый методы. Наибольшее распространение в полевых условиях получил радоновый метод эманационной съемки. Путем измерения концентраций Rn и Tn в почвенном воздухе и воде можно определять природу активного начала (тип радиоактивной аномалии) горных пород.

Эманационный метод представляет собой один из основных радиометрических методов геофизической разведки, что обуславливается его большой по сравнению с другими радиометрическими методами глубинностью, так и его высокой чувствительностью.

Суть эманационных методов анализа заключается в следующем. Радиоактивные газы тем или иным способом извлекают из твердых или жидких веществ и переводят в ионизационную или сцинтилляционную камеру, чувствительную к α-частицам (радиоактивные эманации Rn, Tn, *An* - это α-излучатели), которая предварительно градуируется с помощью жидкого радиевого стандартного образца (эталона). По ионизационному току или количеству импульсов определяют концентрацию эманации в камере и затем в исходной пробе почвенного воздуха или воды. Данные об активности Rn, Tn, An используют для определения содержания долгоживущих материнских веществ - U (по Ra), Th и Ac.

Существует два наиболее распространенных способа анализа концентрации эманаций в водных пробах - *вакуумный* и *циркуляционный*.

При вакуумном способе (рис. 1, *а*) из сцинтилляционной камеры 1 объемом $V_к$ и из осушителя 2 объемом $V_{ос}$ через соединительные трубки 3 с зажимами $З_{1\text{-}2}$ откачивают воздух. Затем кран $К_1$ и зажимы в определенном порядке открывают, после чего атмосферный воздух, проходя через сосуд 4, обогащается растворенным в воде 5 радиоактивным газом, начинает поступать в эманационную камеру со скоростью около 100 пузырьков в минуту. Специальный сосуд (барботер) плотно закрыт резиновой пробкой 6 с винтовым зажимом, предотвращающей утечку эманации.

В замкнутой циркуляционной системе (рис. 1, *б*) эманация из сосуда с водой 4 (общий объем $V_с$, объем воды - $V_{вод}$) с помощью груши 7 объемом $V_г$ через соединительные трубки 3 объемом $V_т$ в течении некоторого времени прокачки $t_{пр}$ равномерно распределяется по всему *газовому* объему циркуляционной системы $V_{сист}$:

$$V_{сист} = V_к + V_{ос} + V_г + V_т + V_с - V_{вод} + \alpha V_{вод}, \quad (7)$$

или

$$V_{сист} = V_{возд} + \alpha V_{вод}, \quad (8)$$

где $V_{возд}$ - объем воздуха в системе; $\alpha V_{вод}$ - объем эманации, растворенной в воде; α - коэффициент Генри.

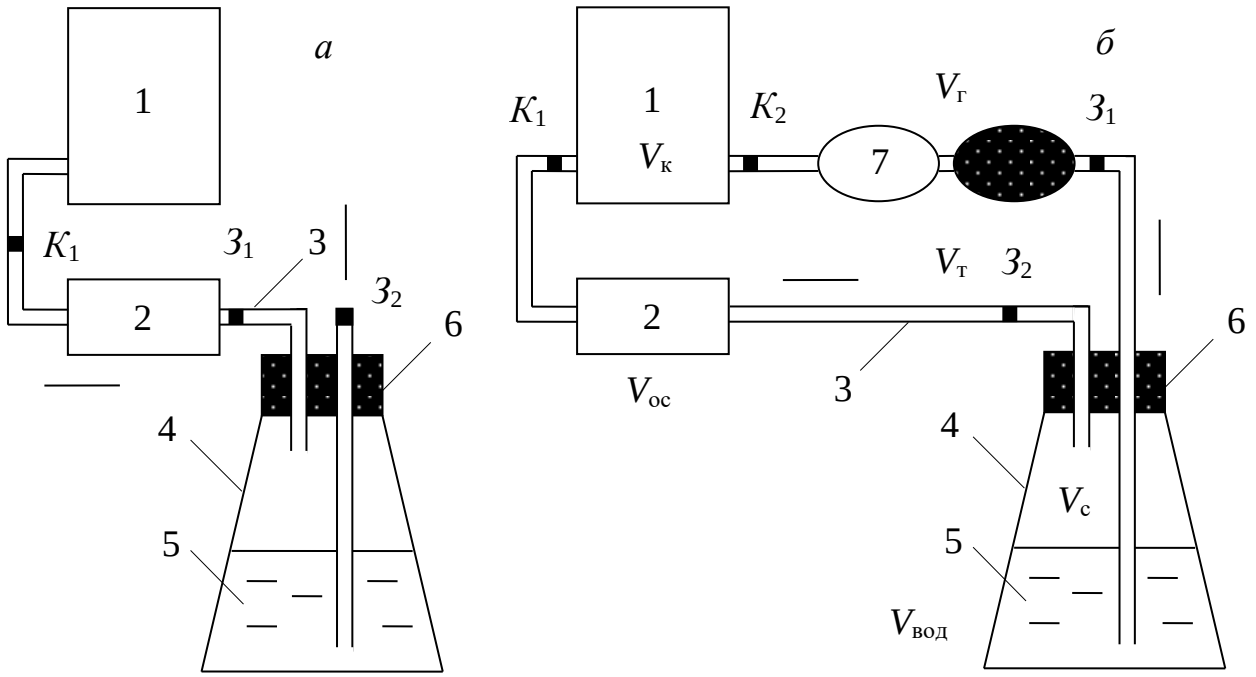


Рис. 1. Вакуумный (*а*) и циркуляционный (*б*) способы анализа. Стрелками показано направление движения воздуха

Имеет смысл сделать некоторые пояснения относительно объема эманации, растворенной в жидкости. Формулу (5) можно переписать так:

$$\frac{Q_ж}{\alpha V_ж} = \frac{Q_{газ}}{V_{газ}}, \quad (9)$$

где $Q_ж$, $Q_{газ}$ - количество эманации (Бк) в объемах $V_ж$ и $V_{газ}$.

Если бы мы перевели всю эманацию из жидкости в газ (что эквивалентно $Q_ж = Q_{газ}$), то объем $V_{газ}$, который она занимает в этом случае, со-

гласно (9) должен составить $\alpha V_{вод}$, что и отражено в соотношении (8).

После введения Rn в камеру и перекрытия зажимов начинает происходить накопление его дочерних продуктов распада (тоже α-излучателей), что приводит к увеличению интенсивности α-излучения I во времени (рис.2). Нарастание I зависит от продолжительности введения $t_{пр}$ эманации в камеру, от формы и размера камеры, типа детектора, поэтому наряду со значением I фиксируют интервал времени $t_{пауз}$ от момента прекращения прокачки системы до начала измерения скорости следования импульсов.

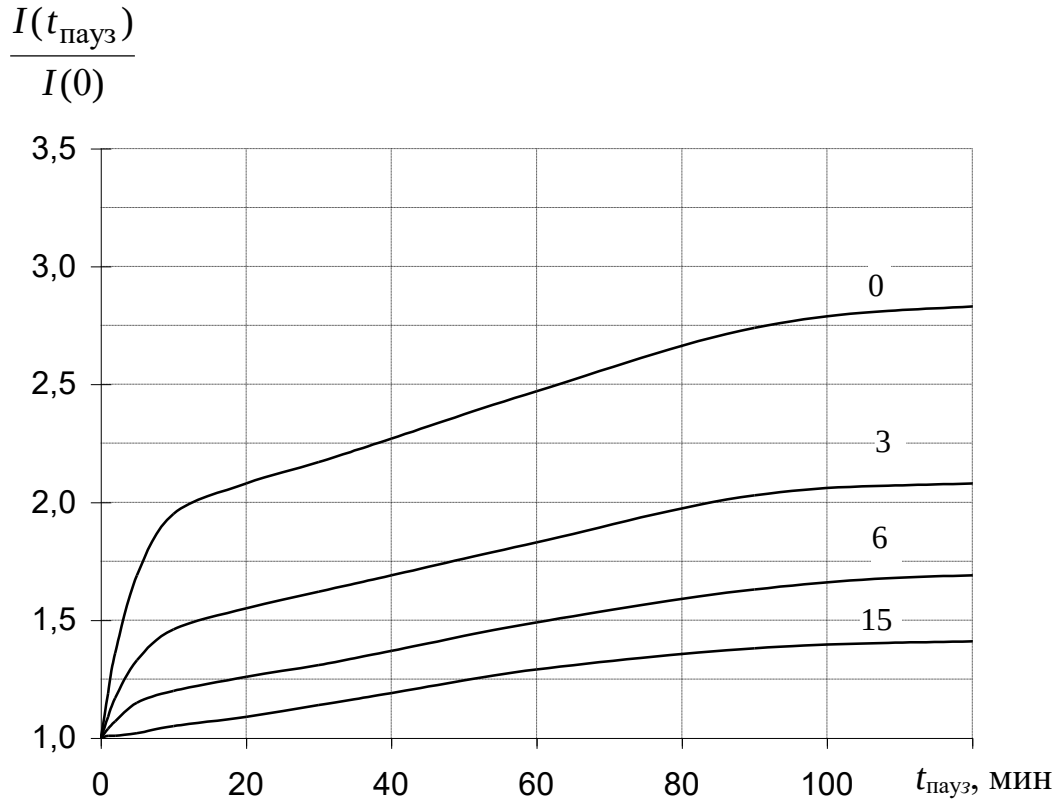


Рис. 2. Коэффициенты нарастания скорости счета импульсов в сцинтилляционной камере в зависимости от интервала $t_{пауз}$ и продолжительности прокачки системы $t_{пр}$ в минутах (шифр кривых)

Значение $t_{пр}$ выбирают одинаковым в процессе анализа проб и при градуировании аппаратуры. Для гидрохимических проб $t_{пр}$ = 3-6 мин. Значение $t_{пауз}$ в анализах повышенной точности достигает нескольких часов, при изучении лито- и гидрохимических проб - от 3-10 мин до 3 ч.

Для анализа на Rn отбирают 0,2-0,5 л воды (в зависимости от объема барботера) и помещают ее в сосуд, включенный в циркуляционную систему. Желательно произвести эту операцию не позже 4-5 суток после мо-

мента отбора пробы, т.к. если вода не содержит солей Ra, то за этот интервал времени проба может потерять значительную долю активности.

Концентрация Rn в камере после прокачки системы, составляет

$$C_{\mathrm{Rn}}^{\text{возд}} = \varepsilon I\, e^{-\lambda t}, \tag{10}$$

где I - скорость счета импульсов в превышении над фоном (имп/мин); ε - градуировочный коэффициент [эман/(имп/мин)]; t - время между отбором пробы и началом ее анализа; λ - постоянная распада Rn:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0{,}693}{3{,}82 \cdot 24 \cdot 3600} = 2{,}1 \cdot 10^{-6}\ \text{с}^{-1}. \tag{11}$$

Экспоненциальный множитель в формуле (10) выступает как поправка за распад эманации до начала проведения анализа. Если время t не превышает первых часов, то поправку можно не учитывать.

Количество Rn, циркулирующего в системе составляет

$$Q_{\mathrm{Rn}}^{\text{возд}} = C_{\mathrm{Rn}}^{\text{возд}} V_{\text{сист}} = \varepsilon I\, e^{-\lambda t} V_{\text{сист}}. \tag{12}$$

Поскольку из водной пробы был извлечен весь радон, то величина

$$C_{Rn}^{вод} = \varepsilon I\, e^{-\lambda t} \frac{V_{\text{сист}}}{V_{\text{вод}}} = \varepsilon I\, e^{-\lambda t} \frac{\left(V_{\text{возд}} + \alpha V_{\text{вод}}\right)}{V_{вод}} \tag{13}$$

представляет собой искомую концентрацию Rn в исследуемой пробе.

В случае, когда $V_{\text{возд}} >> \alpha V_{\text{вод}}$ и можно пренебречь распадом Rn, формула (13) упрощается:

$$C_{\mathrm{Rn}}^{\text{вод}} = \varepsilon I \frac{V_{\text{сист}}}{V_{\text{вод}}} \approx \varepsilon I \frac{V_{\text{возд}}}{V_{\text{вод}}}. \tag{14}$$

В полевых условиях содержание Rn в высокорадиоактивных водах определяют γ-методом. Для этого водой заполняют стандартный сосуд объемом 8-12 л и в нем измеряют интенсивность γ-излучения. Расчет концентрации эманации ведут по формуле:

$$C_{\mathrm{Rn},\gamma}^{\text{вод}} = \varepsilon_\gamma I_\gamma, \tag{15}$$

где I_γ - интенсивность γ-излучения в превышении над естественным фоном (пА/кг или мкР/ч); ε_γ - градуировочный коэффициент, который при работе с радиометрами серии СРП-68 составляет около 300 Бк/л на 1 пА/кг (5,8 эман

на 1 мкР/ч).

Эманационная съемка в полевых условиях заключается том, что в определенной точке съемочного профиля производится отбор проб почвенного воздуха с некоторой глубины. Почвенный воздух по соединительной системе с помощью ручного насоса закачивается в эманационную камеру. После введения пробы воздуха в камеру, с помощью фотоэлектронного умножителя и счетного устройства импульсов определяется количество сцинтилляций, которое пропорционально концентрации Rn в камере. Сцинтилляционный метод применим для анализа проб воздуха, содержащих радон в концентрациях от нескольких десятых долей эмана и выше.

На рис. 3 приведена принципиальная схема эманационных измерений на одной из точек съемочного профиля в полевых условия.

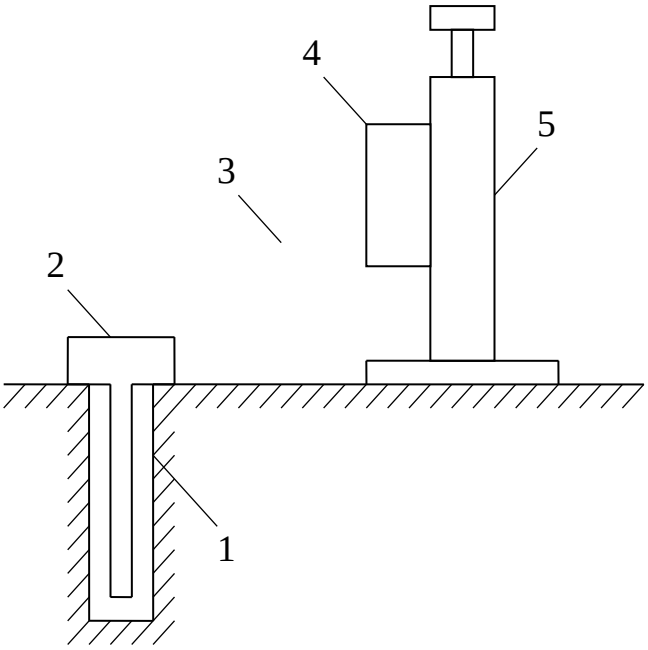


Рис. 3. Схема эманационных измерений в полевых условиях. Обозначения: 1 − шпур; 2 − пробоотборник воздуха; 3 − соединительный шланг; 4 − эманационная камера и измерительное устройство; 5 − держатель и ручной насос

2. ПОЛЕВОЙ ЭМАНОМЕТР «РАДОН»

Полевой сцинтилляционный эманометр «Радон» предназначен для определения концентрации Rn в почвенном воздухе при полевой эманационной съемке и определения Rn в пробах воды. «Радон» может применяться и при дозиметрических измерениях. Эманометр в разных модифи-

кациях выпускался с конца 60-х до середины 80-х годов, когда ему на смену пришел более современный прибор РГА-01 «Глициния».

2.1 Основные технические данные и характеристики прибора

- Диапазон измерения скорости счета импульсов - от 0 до 5000 имп/с с поддиапазонами 50, 250, 1000 и 5000 имп/с.

- Чувствительность прибора после трехчасового накопления продуктов распада Rn при объеме камеры 0,5 л не менее 0,36 эман/(имп/с) при фоне в чистой камере не более 5 имп/мин.

- Прибор устойчиво работает в диапазоне температур 0-40 °С при относительная влажности до 80 %. Дополнительная погрешность прибора, вызванная изменением температуры, не более 10 %.

- Питание прибора осуществляется от шести элементов А-373.

- Дополнительная погрешность, вызванная изменением напряжения питания в пределах 8,1 до 9,9 при номинале 9,0 - не более 15 %.

- Основная погрешность измерений эманометра - не более 30 %.

2.2 Устройство и принцип работы прибора

Эманометр «Радон» состоит из следующих основных блоков: сцинтилляционной камеры, фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), блока питания и стабилизатора напряжения, усилителя импульсов, порогового дискриминатора, интенсиметра α-излучения, электромеханического счетчика (ЭМС) импульсов с секундомером. В комплект эманометра входит также ручной насос для закачки почвенного воздуха, осушитель и соединительные трубки.

Сцинтилляционная камера представляет собой металлический стакан покрытый внутри слоем *ZnS*(*Ag*) - веществом, фоточувствительным к ионизирующему воздействию α-частиц. При попадании α-частицы на слой сцинтиллятора возникает световой квант (вспышка света), который, попадая в *фотоэлектронный умножитель*, в результате фотоэффекта на катоде выбивает из него электрон. Под действием ускоряющего электрического поля напряжением ≈ 600 В фотоэлектрон в дальнейших столкновениях с *динодами* ФЭУ производит лавинообразное умножение заряда, снимаемого с анода в виде короткого (1-5 мкс) импульса напряжения. С выхода ФЭУ импульсы попадают на *усилитель* и далее - на *пороговый дискриминатор*, осуществля-

ющий их отбор по амплитуде. С выхода дискриминатора импульсы поступают на *ЭМС* и *аналоговый интенсиметр* со стрелочным индикатором, принцип работы которого близок для большинства радиометров.

На панели основного блока эманометра расположены: держатель ФЭУ со съемной сцинтилляционной камерой и металлическими кранами, стрелочный индикатор измерительного прибора (ИП), регулятор порога дискриминации, кнопка СБРОС, переключатель диапазонов измерений (50, 250, 1000, 5000 имп/с), переключатель РОД РАБОТ и разъем для подключения блока ЭМС. На отдельном блоке ЭМС расположены: секундомер (слева), стрелочный индикатор числа зарегистрированных импульсов, тумблер СТОП/ПУСК и переключатель масштабов ×1 / ×2.

Переключатель рода работ может находиться в следующих положениях: ВЫКЛ - прибор выключен, НБ - проверка напряжения питания батарей, НВ - проверка высокого напряжения питания ФЭУ. ИМП/СЕК - режим измерения скорости счета импульсов с помощью стрелочного индикатора, ЭМС - режим измерения скорости счета импульсов с помощью электромеханического счетчика. При относительно высоких скоростях следования импульсов (более 20 имп/с) используется режим измерения со стрелочным индикатором, при низких скоростях - режим ЭМС.

ВНИМАНИЕ! Категорически запрещается использовать режим ЭМС при скорости счета 30 имп/с и более - это может привести к выходу счетчика из строя!

2.3 Подготовка прибора и измерительной установки к работе

Подготовка прибора начинается с зарядки батарей в отсек питания и проверки напряжения питания с помощью переключателя рода работ (положение НБ). При правильной работе блока питания стрелка измерительного прибора должна находиться во второй половине шкалы.

ВНИМАНИЕ! Включение прибора в режим измерений возможно только с установленной эманационной или контрольной камерой! В противном случае может произойти засветка ФЭУ и выход его из строя.

Далее производится проверка высокого напряжения ФЭУ: при переключателе рода работ НВ стрелка ИП должна отклоняться не менее чем на

16 делений шкалы. Если этого не происходит, то необходимо подождать 3-5 минут пока не установится рабочий режим (≈18-20 делений).

С помощью контрольной камеры проверяется чувствительность прибора и правильность установки порога дискриминации. С этой целью на поддиапазоне не ниже 250 снимается зависимость скорости счета импульсов от положения порога дискриминации. В некотором диапазоне шкалы регулятора порога должно наблюдаться «плато» - незначительное изменение скорости счета. Регулятор порога устанавливается примерно в середину этого «плато». Если «плато» не наблюдается, то положение порога фиксируется исходя из паспортных значений чувствительности эманометра, измеренных с помощью контрольной камеры на разных диафрагмах.

Непосредственно перед началом измерений концентрации Rn необходимо проверить работоспособность эманационных камер и оценить их собственный фон. Камера считается пригодной к работе если фон не превышает 30-40 имп/мин. Дочерние продукты распада Rn, оседая на стенках сцинтилляционной камеры, могут вызвать ее радиационное загрязнение. Поэтому после измерений высокоактивных проб рекомендуется заменить камеру и не использовать ее до тех пор, пока фон не снизится до нормального уровня (за счет проветривания и распада радионуклидов).

Подготовка установки для измерения концентраций Rn в воде заключается в сборе циркуляционной системы (рис. 4.1, *б*). Перед подключением соединительных трубок к эманационной камере краны $K_{1\text{-}2}$ должны быть обязательно закрыты во избежание попадания эманации в детектор до начала измерений. Следует также проверять герметичность системы в целом и отсутствие в ней утечек воздуха. Следует обратить внимание на направление подключения груши, в противном случае при прокачке вместо воздуха в камеру может попасть вода и вывести прибор из строя.

2.4 Градуирование прибора

Градуирование эманометра заключается в нахождении значения коэффициента ε. С этой целью 1-2 раза в месяц проводят измерения скорости счета импульсов на стандартных образцах (СО). В качестве СО используют помещенный в барботер раствор соли Ra массой m_{Ra} (г). Для удаления Rn сосуд с радиевым раствором продувают воздухом, плотно закрывают, момент герметизации фиксируют на этикетке СО. Время накоп-

ления Rn берут $t > 3$ суток.

Собирают циркуляционную систему (рис. 1, *б*), следя за тем, чтобы зажимы $З_{1\text{-}2}$ и краны $К_{1\text{-}2}$ были закрыты. Далее измеряют фон камеры $I_ф$ (имп/мин) за время $t_{изм} = 3$ мин. После этого открывают зажимы $З_{1\text{-}2}$, краны $К_{1\text{-}2}$ и начинают прокачку воздуха в течении $t_{пр} = 3$ мин. Прокачку системы ведут в темпе, при котором в воде наблюдаются отдельные пузырьки воздуха, следующие друг за другом со скоростью около 300 в мин.

Затем камеру закрывают и в течении нескольких часов через каждые 3 мин фиксируют показания прибора, настроенного на заданную чувствительность (порогом дискриминации), и строят кривую нарастания I (за вычетом фона) во времени.

Градуировочный коэффициент ε в эман/(имп/мин) для момента времени $t_{пауз} = 3$ мин (значительная часть Tn уже распадется) после прокачки воздуха вычисляют по следующей формуле:

$$\varepsilon = \left(1 - e^{-\lambda t}\right) \frac{C_{Rn}^{возд}}{I(t_{пауз})}, \text{ или} \qquad (16)$$

$$\varepsilon = \left(1 - e^{-\lambda t}\right) \frac{m_{Ra} \cdot 10^{10}}{\left(V_{возд} + \alpha V_{вод}\right) I(t_{пауз})}, \qquad (17)$$

где $I(t_{пауз})$ - показания прибора, определяемые на графике для интервала времени $t_{пауз}$, принятого в процессе анализа проб.

Пример. Имеем эталон Ra массой $m_{Ra} = 8{,}55 \cdot 10^{-9}$ г и следующие режимы анализа: $t_{пр} = 3$ мин, $t_{изм} = 3$ мин, $t_{пауз} = 3$ мин. Параметры системы: $V_к = 0{,}5$, $V_{ос} = 0$, $V_г = 0{,}3$, $V_с = 0{,}5$, $V_т = 0{,}05$, $V_{вод} = 0{,}4$ (все в л), фон камеры $I_ф = 37$ имп/мин, температура $T_{возд} = 20$ °С. Эталон прокачен 72 ч назад, т.е. $t = 3$ сут.

Измеренная скорость счета импульсов на эталоне составила 1167 имп/с. После вычета фона $I(t_{пауз}) = 1167\text{-}37 = 1130$ имп/мин.

$V_{возд} = V_к + V_{ос} + V_г + V_т + V_с - V_{вод} = 0{,}95$ л.

$V_{сист} = V_{возд} + \alpha V_{вод} = 0{,}95 + 0{,}2 \cdot 0{,}4 \approx 1$ л.

$1\text{-}\exp(-\lambda t) = 1\text{-}\exp(-0{,}693 \cdot 3/3{,}82) = 0{,}42$.

$\varepsilon = 8{,}55 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{10} \cdot 0{,}42/(1 \cdot 1130) = 0{,}032$ эман/(имп/мин).

При проведении градуировании аппаратуры особо тщательно следует следить за тем, чтобы раствор радия не попал внутрь эманационной ка-

меры. Последствия радиационного заражения эманометра крайне неприятны: необходимо полностью разобрать прибор, тщательно промыть каждую деталь. Зараженная камера не пригодна к дальнейшим измерениям.

3. ПРОГРАММА ИЗМЕРЕНИЙ

Задание:

1. Ознакомиться с элементами теории эманационных методов (раздел 1).

2. Ознакомиться с эманометром «Радон», его назначением и основными техническими характеристиками. Подготовить прибор и измерительную установку к работе (раздел 2).

4. Произвести градуировку эманометра в соответствии с описанием, приведенном в разделе 2.4 (выполняется строго под руководством преподавателя).

5. Отобрать пробы воды из разных источников и выполнить измерения концентраций *Rn* в соответствии с программой измерений (раздел 3).

6. Сделать выводы о соответствии нормам радиационной безопасности исследованных водных источников и возможной природе выявленных аномалий.

7. Ответить на контрольные вопросы (раздел 4).

***Материалы, оборудование*:**

1. Эманометр «Радон» с контрольной камерой, комплект из 6 батарей питания к нему (А-373, «Орион»).

2. Набор сцинтилляционных эманационных камер объемом 0,5 л.

3. Эталонный водный раствор соли радия ($10^{-7} \div 10^{-9}$ г Ra).

4. Специальные сосуды для отбора водных проб (барботеры).

5. Соединительные резиновые трубки, груша для прокачки воздуха, стеклянные трубки, осушительная камера.

6. Калькулятор, журнал измерений, карандаш, резинка.

Отбор водных проб выполняется в следующем порядке:

1. Сосуды для отбора проб (барботеры) моются, желательно в речной или озерной воде, после чего сушатся. На барботеры наклеиваются этикетки из лейкопластыря для записи даты, времени и места отбора проб.

2. Отбор проб производится из водоемов, колодцев, родников, водопроводных кранов, скважин и других источников в объеме 0,3-0,35 л (сосуды емкостью 0,5 л) и 0,5-0,6 л (емкость 1 л). Из водоемов и колодцев отбираются пробы V = 0,5-0,6 л, из скважин и родников - V = 0,3-0,35 л.

3. Если вода набирается из крана, то струя воды должна бежать свободно, БЕЗ НАПОРА и пузырьков воздуха. Воду следует наливать аккуратно, так, чтобы она бежала по стенке сосуда и не плескалась на дне. Эти предосторожности гарантируют сохранность растворенного в воде *Rn*.

4. Сразу же после заполнения барботера водой (примерно до середины) его следует герметично закрыть, для чего зажимаются или перевязываются резиновые соединительные трубки. Пробка барботера плотно зажимается винтовым механизмом, причем следует контролировать силу зажима - стеклянные трубки внутри сосуда не должны расколоться.

5. На этикетке сосуда записывается время t_o и место отбора пробы.

Подготовка прибора и измерительной установки к работе выполняется в соответствии с разделом 4.2.3, градуирование - по указанию преподавателя.

Выполнение измерений концентрации Rn производят так:

1. Собирают циркуляционную систему (рис. 1, *б*), следя за тем, чтобы зажимы $З_{1\text{-}2}$ и краны $К_{1\text{-}2}$ были закрыты.

2. Измерят фон камеры $I_ф$ (имп/мин) за время $t_{изм}$ = 3 мин. С этой целью переключатель рода работ устанавливают в положение ЭМС. В исходное состояние сбрасываются секундомер и ЭМС. Пересчетный коэффициент ЭМС устанавливают в положение ×2 (регистрируется каждый второй импульс). Для начала измерений необходимо одновременно запустить секундомер и включить переключатель ПУСК счетчика импульсов. Далее следят за секундомером, так как счетчик автоматически не останавливается после истечения времени $t_{изм}$. По истечении заданной экспозиции переключатель переводят в положение СТОП.

3. Открывают зажимы $З_{1\text{-}2}$, краны $К_{1\text{-}2}$ и начинают прокачку воздуха в течении $t_{пр}$ = 3 мин. Прокачку системы ведут в темпе, при котором в воде наблюдаются отдельные пузырьки воздуха, следующие друг за другом со скоростью около 300 в мин.

4. После прокачки воздуха краны $К_{1\text{-}2}$ закрывают и выжидают некоторое время $t_{пауз}$ = 3 мин, чтобы активность радона в камере немного увеличилась, а торона - значительно уменьшилась.

5. Записывают в журнал время начала анализа t_1. Проводят измерения скорости счета импульсов I (имп/мин) в течении времени $t_{изм}$ = 3 мин аналогично п.2.

6. Вычисляют концентрацию *Rn* в водной пробе по формуле:

$$C_{\mathrm{Rn}}^{\text{вод}} = \varepsilon k\left(I - I_{\text{ф}}\right)\frac{V_{\text{сист}}}{V_{\text{вод}}}\exp\left[-\frac{\ln 2}{3{,}82}\left(t_1 - t_0\right)\right], \qquad (18)$$

где k - пересчетный коэффициент счетчика, для нашего случая $k = 2$.

В формуле (18) время отбора t_0 и начала анализа t_1 - в сутках. Если $t_1 - t_0 < 0{,}2$ сут, то вместо (18) используется более простая формула:

$$C_{\mathrm{Rn}}^{\text{вод}} = \varepsilon k\left(I - I_{\text{ф}}\right)\frac{V_{\text{сист}}}{V_{\text{вод}}}. \qquad (19)$$

При вычислениях принять:

$V_{\text{сист}} = V_{\text{возд}} + \alpha V_{\text{вод}}$, $\alpha = 0.2$;

$V_{\text{возд}} = V_{\text{к}} + V_{\text{ос}} + V_{\text{г}} + V_{\text{т}} + V_{\text{с}} - V_{\text{вод}}$.

$V_{\text{к}} = 0{,}5$ л, $V_{\text{ос}} = 0{,}2$ л, $V_{\text{г}} = 0{,}3$ л, $V_{\text{т}} = 0{,}05$ л, $V_{\text{с}} = 0{,}5$ или 1,0 л.

Объем воды $V_{\text{вод}}$ в барботере определяют по оцифрованной шкале.

В процессе измерений рекомендуется вести следующую форму лабораторного журнала:

Прибор № _____ Оператор _____

$t_{\text{пр}}$ = _____ $t_{\text{пауз}}$ = _____ $t_{\text{изм}}$ = _____

k = _____ ε = _____ эман/(имп/мин)

	Место отбора пробы воды	t_0, сут	t_1, сут	$I_{\text{ф}}$, имп	I, имп	$I - I_{\text{ф}}$, имп	$V_{\text{вод}}$, л	$V_{\text{возд}}$, л	$\frac{V_{\text{сист}}}{V_{\text{вод}}}$	C_{Rn}, эман
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*

Примечание. Если градуирование не проводится, то значение пересчетного коэффициента ε принимается равным 0,05 эман/(имп/с).





Рис. 4.4. Процесс измерения концентрации радона в водных пробах, отобранных в разных точках Верх-Сысертского участка

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сущность, цели и задачи эманационной съемки.

2. Радиоактивные газы и их краткая характеристика.

2. Глубинность эманационных методов (отдельно по Rn и Tn).

3. По какой формуле можно оценить концентрацию радона в поровом пространстве горной породы?

4. Единицы измерения концентрации эманаций и их соотношение.

5. Закон Генри. Зависимость коэффициента Генри от температуры.

5. Способы анализа концентрации эманаций в воздухе и в воде.

6. Полевой эманометр «Радон» и его краткая характеристика.

7. На каком физическом эффекте основан метод определения концентрации радиоактивных газов прибором «Радон»?

7. Устройство эманометра «Радон» и подготовка его к работе.

8. Порядок градуирования эманометра «Радон».

9. Порядок отбора и анализа содержания Rn в водных пробах.

10. Почему после ввода Rn в сцинтилляционную камеру скорость счета импульсов увеличивается с течением времени?

11. Если спустя несколько суток после отбора водной пробы ее α-активность не изменилась, то какой Вы можете сделать вывод?

12. Назовите физические предпосылки для раздельного определения концентраций радона, торона и актинона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Возженников Г.С., Белышев Ю.В.* Радиометрия и ядерная геофизика: Учебное пособие. - Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2011.

2. *Гонсалес А.Х., Андерс Ж.* Естественные и искусственные источники излучения. В кн.: Ядерная энергия в будущем. МАГАТЭ, 1989. Т. 31, № 2.

3. *Жуковский М. В.* Радон: измерение, дозы, оценка риска. - Екатеринбург: ИПЭ, 1997.

4. *Крисюк Э.М.* Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989.

5. *Нефёдов В.Д.* и др. Радиохимия. – М: Высшая школа, 1985.

6. Радиация: Дозы, эффекты, риск. Пер. с англ. - М.: Мир, 1998.

7. *Смыслов А.А., Максимовский В.А., Харламов М.Г.* и др. Радон в земной коре и риск радоноопасности // Разведка и охрана недр. 1995. № 5.

8. *Титов В.К., Лучин И.А., Лашков Б.П.* Радон в почвах и зданиях - Л.: Рудгеофизика, 1991.

9.*Уткин* В.И. Газовое дыхание Земли // Соросовский образовательный журнал. – М., 1997. – № 1.

10.*Уткин В. И.* Радоновая проблема в экологии. // Соросовский образовательный журнал. – М., 2000. - том 6, № 3.

Учебное издание

Александрова Жанна Николаевна
Белышев Юрий Владимирович

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине «Радиационная безопасность» для студентов
специализаций «Геофизические методы исследования скважин» и
«Геофизические методы поисков и разведки МПИ»
специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки»
очной и заочной формы обучения

Часть 3
Определение радона в воде

Редактор _____
Компьютерная верстка автора

Подписано в печать ___ . ___ . 2018 г.
Бумага писчая. Формат 60 x 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. ____. Уч.-изд. л. ____. Тираж 100. Заказ _____

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНОБРНАУКИ РФ

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

«УТВЕРЖДАЮ»
Зав. кафедрой ТТР МПИ
_____ Проф. С. Г. Фролов

Л. И. Кралина, Г. А. Усов, Ф. П. Сердюков

Исследование процессов разрушения и физико-механических свойств горных пород

Методическое пособие
к комплексу практических занятий
по дисциплине

«Техника разведки»

для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
Очного и заочного обучения

Часть 1

Екатеринбург
2020

Оглавление

Введение…….3
Лабораторная работа № 1. Определение абразивности образцов горной породы методом Барона……4
Лабораторная работа № 2. Определение физико-механических параметров скальных горных пород……..6
Лабораторная работа № 3. Определение энергоемкости процесса распиловки горных пород алмазным диском…….....10
Лабораторная работа № 4. Исследование акустического спектра резания горной породы алмазным диском…….....15
Библиографический список…….....18

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для выполнения лабораторных работ по профилирующим дисциплинам для студентов специальности 21.05.02 Прикладная геология. Предложенные в учебно-методическом пособии лабораторные работы выполняются с целью закрепления теоретических знаний, приобретения практических навыков в выполнении работ лабораторного характера, в том числе с элементами НИРС, расчетов, необходимых при изучении студентами профилирующих дисциплин, курсовом и дипломном проектировании. При выполнении работ используются справочные материалы, приведенные в приложении. Большинство работ рассчитано на выполнение и оформление непосредственно на занятиях. Если работа не закончена, то с разрешения преподавателя она может быть оформлена и сдана к следующему занятию.

Структурно, в зависимости от теоретического характера лабораторных исследований, учебно-методическое пособие состоит из трех частей:

Часть 1. Исследование процессов разрушения и физико-механических свойств горных пород;

Часть 2. Исследование буровых промывочных жидкостей и тампонажных растворов;

Часть 3. Методика обработки результатов исследования при выполнении лабораторных работ и справочные материалы.

Список литературы, использованной при написании учебно-методического пособия, приведен в конце каждой части.

Предлагаемые в настоящем методическом пособии лабораторные работы студентами выполняются побригадно по 2-3 человека. Объем данных работ рассчитан в основном на 2-4 часа, реже - на 6-8 часов в случае проведения студентами комплексных исследований повышенной сложности и детальности.

Полученные результаты лабораторных исследований оформляются студентами в виде отчета, содержащего следующие данные и разделы:

1. Полное наименование работы.
2. Состав исполнителей.
3. Руководитель работы.
4. Задание, дата.
5. Исходные данные.
6. Порядок выполнения работы.
7. Выводы и рекомендации по результатам исследований.

Лабораторная работа № 1

Определение абразивности образцов горной породы методом Барона

Настоящие методики определения абразивности горных пород разработаны в Институте горного дела им. А. А. Скочинского, Л. И. Бароном и А. В. Кузнецовым. Сущность ее заключается в истирании о поверхность образца горной породы торца вращающегося стержня из незакаленной стали -серебрянки с последующим определением весового износа стержня во время опыта. За критерий абразивности принимается суммарная потеря в весе стержня за стандартное время опыта 10 минут. Опытное потирание стержня производится при осевой нагрузке 150 Н и скорости вращения 400 об/мин.

Испытания производятся на установке, выполненной на базе обычного сверлильного станка типа НС - 1 2 А.

Образец горной породы устанавливается в зажимном приспособлении таким образом, чтобы истираемая поверхность была перпендикулярна шпинделю станка. В патроне станка закрепляется эталонный стержень из инструментальной калиброванной стали-серебрянки У8А диаметром 8 мм. Изготовление стержней производится на токарном станке, где пруток разрезается на части длиной 70 мм. В одном из торцов каждого стержня высверливается центральное отверстие диаметром 4 мм и глубиной 12 мм.

Определение абразивности породы производят сверлением образца породы эталонным стержнем, предварительно взвешенным на аналитических весах с точностью до 0,1 мг. Исследования производят по схеме парных опытов: сначала сверление осуществляется в течение 10 мин одним концом стержня, затем в течение 10 мин – другим.

После опыта стержень очищается и снова взвешивается на аналитических весах с точностью до 0,1 мг.

Коэффициент абразивности породы вычисляется на основании результатов исследований по формуле

$$A = \frac{\sum q_i}{2n_{\text{п}}}, \qquad (1.1)$$

где A - коэффициент абразивности, мг,

q_i - потеря массы эталонного стержня за каждый парный опыт, мг;

$n_{\text{п}}$ - число парных опытов.

На каждом образце горной породы проводится 3-5 парных опытов, а в целом по пробе необходимо провести 9-15 таких опытов

Необходимое число единичных опытов определяется с учетом коэффициента вариации, зависящего от структуры горных пород, на основании величины отношения

$$a = \frac{K_{\text{доп}}}{K_{\text{вар}}} \qquad (1.2)$$

где $K_{\text{доп}}$- допускаемое отклонение точности определения коэффициента абразивности;

$K_{\text{вар}}$ - коэффициент вариации, принимаемый согласно табл. 1.1.

Согласно абсолютной величине a, необходимо определить минимальное число единичных опытов, руководствуясь табл. 1.2.

Таблица 1.1

Определение коэффициента вариации $K_{вар}$

Структура пород	Размер зерен, мм	$K_{вар}$, %
Крупнозернистая	5	30
Среднезернистая	3-5	22
Мелкозернистая	0,3-0,2	19
Тонкозернистая с включениями	0,2	34

Таблица 1.2

Определение минимального числа единичных опытов

a	2,0	0,98	0,69	0,57	0,49	0,48
n	1	4	8	12	16	20

Запись результатов измерений и вычислений производится в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Определение абразивности горных пород

№ п.п	Порода		Номер образца опыта	Масса стержня. $G_{1,2}$, мг		Потеря массы, мг	Абразивность А, мг				Примечание
	шифр	название		до опыта	после опыта		по опыту	по образцу	среднее по пробе	коэф. вариац, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Построение графиков и выводы результатов работы

Построение графиков по результатам измерений и вычислений настоящей лабораторной работы. УП1, УП2 - предварительные усилители;

Количественный и качественный анализ зависимостей

$A = f\left(\frac{H_{м,\max}}{H_{м,\min}}\right)$ и $A = f\left(H_{м,\max}\right)$, а также степени зернистости

(крупно-, средне-, мелко-, микрозернистости) исследуемых образцов горных пород.

Обосновать практическое значение полученных результатов лабораторных исследований и дать практические рекомендации.

Лабораторная работа № 2.

Определение физико-механических параметров скальных горных пород

Для оценки прочностных свойств горных пород определяются коэффициент динамической прочности (крепости и дробимости) $F_д$, а для оценки абразивных свойств - коэффициент абразивности $K_{абр}$.

Методика разработана в ЦНИГРИ под руководством Н. И. Любимова и рекомендована для исследований ФМС скальных горных пород.

Отбор н подготовка образцов горных пород

Отбор образцов горных пород производится, как правило, из керна. Можно также отбирать образцы произвольной формы соответствующего размера.

Размеры образцов из керна: длина 20-25 см при бурении коронками диаметром 46-59 мм и 15-18 см при бурении коронками диаметром 76-92 мм.

Подготовка проб из образцов осуществляется в следующем порядке:

- исследуемый образец породы разбивается на куски изометрической формы без острых углов размером 1,5-2,0 см в поперечнике;
- набираются две пробы: каждая проба состоит из 25 кусков и разделяется на пять частей по пять кусков.

Оборудование и материалы, необходимые для исследований

При определении прочностных и абразивных свойств горных пород по методике ЦНИГРИ применяются:

- прибор ПОК для определения динамической прочности (крепости) горных пород;
- прибор ПОАП-2М для определения абразивности горных пород;
- весы типа ВЛКТ-100 г / 5-3.

Прибор ПОК состоит из трубчатой ступы (рис. 2.1, а) и объемомера (рис. 2.1, б). Составными частями трубчатой ступы являются: загрузочный стакан *1*, направляющая труба *2*, удерживающий шплинт *3*, гиря *4*, упор *5*, шнур *6* и рукоятка *7*.

Объемомер состоит из стакана *1* и поршня со шкалой *2*.

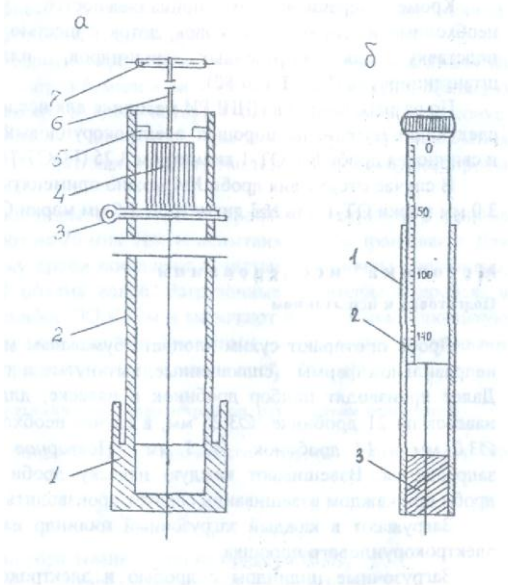


Рис. 2.1. Прибор ПОК для определения динамической прочности горных пород:

а – трубчатая ступа: *1* – загрузочный стакан; *2* – направляющая труба; *3* – шплинт удерживающий; *4* – гиря; *5* – упор; *6* – шнур; *7* – рукоятка; *б* – объемомер: *1* – стакан; *2* – поршень со шкалой; *3* – дно

Прибор ПОАП-2м, схема которого приведена на рис. 2.2, состоит из электродвигателя АОЛБ 22-4 мощностью 0,18 кВт с числом оборотов 1420 об/мин, двух рабочих органов с загрузочными камерами и пульта управления со счетчиком оборотов двигателя.

В приборе ПОАП-2м рабочий орган представляет собой жесткое сварное соединение *8* трех загрузочных камер *4*, шатуна *7* и эксцентрикового вала *2*, совершающего колебательно-вращательное движение в шариковых подшипниках *10*.

Опорой рабочего органа служат маятниковые шатуны *3*, которые с помощью шариковых подшипников *6* шарнирно связывают рабочий орган с плитой прибора.

Загрузочные цилиндры вставляются в камеры *4* прямоугольной формы и закрываются крышками *5* при помощи натяжных замков.

Привод рабочего органа прибора осуществляется от электродвигателя *1* через эксцентриковый вал *2* с насаженным на него маховиком *9*. При помощи вала 2 загрузочные камеры совершают возвратно-поступательное движение, обеспечивающее интенсивное перемешивание помещенного в них материала.

Механический редуктор-счетчик оборотов *12*, который присоединяется к валу электромотора при помощи двух шкивов и приводного ремня, позволяет контролировать число колебаний рабочего органа.

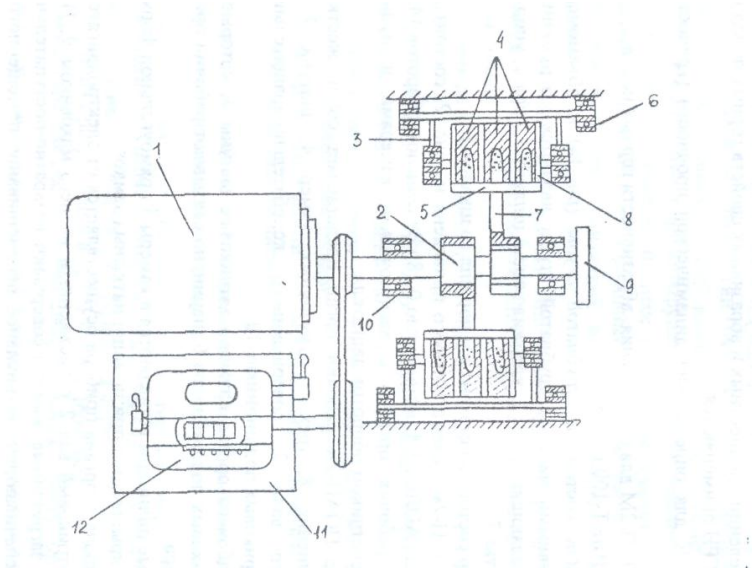


Рис. 2.2. Схема прибора ПОАП-2М для определения абразивности горных пород:
1 – электродвигатель; *2* – эксцентриковый вал; *3* – шатуны; *4* – загрузочные цилиндры; *5* – крышка; *6* – опоры; *7* – шатун; *8* – рабочие органы; *9* – маховик; *10* – подшипники; *11* – пульт управления; *12* – счетчик.

Весы типа ВЛКТ-100 г/5-3 предназначены для определения потери веса эталонного материала при определении абразивности пород с требуемой точностью

Для исследований на приборах ПОК и ПОАП-2м используются:

- загрузочные цилиндры из стекла органического СОЛ (ГОСТ 15809-70) - 18 шт. (6 - для проведения опыта, 6 - для промывки дроби после опыта, 6 - запасные);
- сито из сетки №5 (ГОСТ 3826-66);
- мерка емкостью 1 $см^3$.

Кроме перечисленных принадлежностей, учтенных в ОСТе, необходимо иметь молоток, совок, лоток с шестью
ячейками для дроби, подставку для загрузочных цилиндров, пластинку, лопаточку, штангенциркуль (ГОСТ 166-80).

По разработанной в ЦНИГРИ методике для исследований необходимы следующие материалы: порошок электрокорундовый №12 (ГОСТ 3647-80) и свинцовая дробь №4 ОТ-1 диаметром 3.25 (ГОСТ 7837-76).

В случае отсутствия дроби №4 можно применять дробь №5 диаметром 3,0 мм марки ОТ-1 или №3 диаметром 3,5 мм марки ОТ-П.

Методика исследований
Подготовка к испытаниям

Дробь протирают сухим хлопчатобумажным материалом. Дробинки неправильной формы (сплющенные, вытянутые и т. п.) отбраковываются. Далее производят подбор дробинок в навеске, для чего заготовляют 6 навесок по 21 дробинке Ø 3,25 мм; в случае необходимости 26 дробинок Ø 3,0 мм и 14 дробинок Ø 3,5 мм. Повторное использование дроби запрещается. Взвешивают каждую навеску дроби. Определение массы дроби при каждом взвешивании следует производить с точностью до 5 мг.

Загружают в каждый загрузочный цилиндр навеску дроби и 1 см электрокорундового порошка.

Загрузочные цилиндры с дробью и электрокорундовым порошком помещают в прибор и включают его на 20 минут. При этом электродвигатель должен совершить 28 тыс. оборотов, которые контролируются счетчиком прибора.

Каждую навеску дроби после указанного опыта помещают в сосуд с водой и после перемешивания (всполаскивания) извлекают и протирают насухо чистым хлопчатобумажным материалом.

Промытую дробь взвешивают. Потеря массы дроби в каждой пробирке должна быть 200±10 мг. В случае отклонения потери массы дроби от указанного необходимо изменить количество дробинок в навеске и повторить тарировочные работы вновь.

Проведение испытаний

Каждую часть пробы, состоящую из 5 кусков, помещают в стакан прибора ПОК и производят 10 сбрасываний гири массой 2,4 кг с высоты 600 мм (груз поднимается до упора). Продукт разрушения всех пяти частей каждой пробы породы просеивается через сито с размером стороны ячейки а свету 0,5 мм. Прошедшую через сито фракцию 0,5 мм и менее ссыпают в трубу объемомера (рис. 4.2). В трубу свободно вставляют до упора цилиндр и снимают отсчет "h" по шкале цилиндра в миллиметрах.

Раздробленную горную породу фракции 0,5 мм и менее высыпают из объемомера на лист чистой бумаги в виде конуса, затем конус с помощью пластинки развертывают в диск, который снова пересыпают в конус. Процесс перемешивания повторяют 2 - 3 раза для получения однородной среды. Из противоположных частей диска отбирают пробы объемом 1 см^3 каждая.

Загрузочные цилиндры с дробью и пробами помещают в прибор ПОАП-2м и включают на 20 мин. После испытания дробь промывают. Для этого каждую навеску дроби помещают в чистые загрузочные цилиндры, заполненные на 2/3 объема водой. Загрузочные цилиндры с дробью и водой помещают в прибор ПОАП-2м и включают его на 3 мин. Промытую дробь протирают сухим хлопчатобумажным материалом, взвешивают каждую навеску и определяют потерю массы дроби ΔQ (мг).

Определение физико-механических параметров по результатам испытаний

Коэффициент динамической прочности породы определяет по формуле:

$$F_{д} = \frac{20n}{h} = \frac{200}{h}, \qquad (2.1)$$

где n=10 - число сбрасываний гири на приборе ПОК;

h - отсчет по шкале цилиндра объемомера, мм.

Коэффициент абразивности исследуемой породы определяют по формуле:

$$K_{\text{абр}} = \frac{\Delta Q}{100}\ , \tag{2.2}$$

где ΔQ - потеря массы дроби, мг.

Коэффициенты динамической прочности и абразивности определяются по двум пробам.

За средние значения $F_{\text{д}}$ или $K_{\text{абр}}$ принимаются среднеарифметические двух определений при условии:

$$Z = \frac{X_1 - X_2}{(X_1 + X_2)/2} \cdot 100 \langle 25\ \%, \tag{2.3}$$

где X_1 и X_2 - значения двух определений $F_{\text{д}}$ и $K_{\text{абр}}$.

В случае отклонения от приведенного условия проводятся дополнительные определения. Из полученных значений $F_{\text{д}}$ и $K_{\text{абр}}$ выбираются те два, для которых выполняется условие (2.3).

На основании определенных опытным путем значений динамической прочности $F_{\text{д}}$ и коэффициента абразивности $K_{\text{абр}}$ можно определить объединенный комплексный показатель бурности $\rho_{\text{м}}$ по формуле:

$$\rho_{\text{м}} = 3F_{\text{д}}^{0.8} \cdot K_{\text{абр}} \tag{2.4}$$

Лабораторная работа № 3.
Определение энергоемкости процесса распиловки горных пород алмазным диском

Распиловка является начальной операцией в обработке каменного сырья. Для распиловки горных пород используют несколько типов алмазных пил и станков, конструкция которых зависит от размеров камней и конкретной цели распиловки.

Процесс распиловки можно контролировать по показаниям электроприборов, которые устанавливаются в системе электропривода для измерения силы тока, напряжения и потребляемой мощности.

Оценка процесса распиловки возможна по удельным затратам электроэнергии на единицу площади распиливания, которая зависит от ФМС горных пород, параметров режущего инструмента и технологических параметров распиливания.

Задачей исследования является определение энергоемкости процесса распиливания горных пород с различными ФМС на камнерезном станке.

Технические средства для определения энергоемкости процесса распиловки

В качестве распиловочного механизма используется серийный камнерезный станок ПТ-44, оснащенный алмазным отрезным диском:

Техническая характеристика камнерезного полуавтомата ПТ-44

Наибольшая высота обрабатываемой заготовки, мм ….	150
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки, мм …..	160
Частота вращения шпинделя, об/мин ……..	1500
Инструмент: круг отрезной, 2726-0272 ГОСТ 10110-78	1000
диаметр, мм ……	450
толщина, мм……	2,4
Скорость подачи (продольное перемещение салазок), мм/мин	
при модуле червячной передачи m = 1……..	5,4-31,5
m = 2……..	10,8-63
Питающая эл. сеть:	
род тока…….	Переменный
частота тока, Гц……	50
напряжение, В……..	220, 380
Электродвигатель	
Тип…….	4А80В (АИР90В)
мощность, кВт……..	1,5 (2,2)
частота вращения, об/мин……..	1500
габариты, мм, не более……	1240 890 940
масса, кг, не более……..	350

Принцип работы камнерезного полуавтомата ПТ-44

Привод станка осуществляется от электродвигателя *1* (рис. 3.1) Вращение от двигателя передается через клиноременную передачу на шпиндель *2*, на котором закреплен алмазный круг *10*. Вращение шпинделя двухскоростное, так как шкив шпинделя имеет два ручья с разными диаметрами.

При распиловке заготовок продольная подача заготовки *11* производится механически от двигателя *1* через клиноременную передачу, червячную передачу *7*, передачу "винт-гайка", гайка *8* которой является разъемной. При разомкнутом положении гайки механическая подача на заготовку не происходит. Заготовка при распиловке надежно закрепляется в зажимном устройстве *9*, которое имеет возможность продольного

перемещения по направляющим *4*. Скорость продольной подачи во время распиловки регулируется бесступенчатым вариатором *6*. При переводе рычага влево подача замедляется, вправо - ускоряется

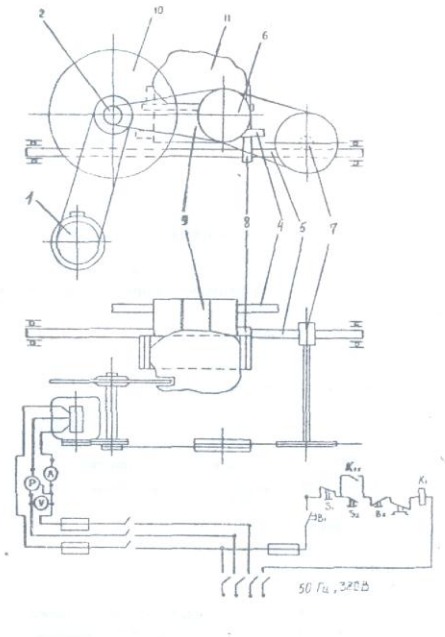


Рис. 3.1. Электромеханическая схема ПТ-44

Приборы для контроля процесса распиловки

Для контроля процесса распиловки камнерезный полуавтомат ПТ-44 имеет электрический щит, оборудованный вольтметром с ценой деления 20 В в диапазоне 500 В, амперметром с ценой деления 0,5 А в диапазоне ЮЛ и ваттметром с ценой деления 0,5 кВт в диапазоне 1,4 кВт.

Для проведения исследований необходимо иметь секундомер.

Методика определения процесса распиловки
Подготовка образцов для распиловки

Для распиловки используются образцы скальных горных пород произвольной формы. Размеры образца следует подбирать из расчета затрат времени на отрезание одной пластины в пределах 4-6 мин. и возможности получения из образца двух пластин толщиной 30 мм и длиной не менее 100 мм. Каждый образец должен быть промаркирован. Полученные при распиловке пластины используются в следующей лабораторной работе.

Подготовка камнерезного полуавтомата ПТ-44

Исследуемый образец закрепляется в зажимном устройстве станка. Для распиловки следует использовать червячное колесо с модулем m=1. Рычагом вариатора устанавливается нужная скорость резания. Рекомендуемая скорость резания при распиловке твердых пород (яшма) -23,4 мм/мин., при распиловке мягких пород (змеевик) – 33,4 мм/мин.

Организация наблюдений за процессом распиловки

В процессе исследований по показаниям ваттметра измеряется потребляемая мощность на холостое вращение алмазного диска и суммарная потребляемая мощность в

процессе распиловки. Потребляемая мощность на распиливание определяется по формуле:

$$P_p = \sum P - P_{xx} \qquad (3.1)$$

где P_p - потребляемая мощность на распиливание, Вт;

$\sum P$ - суммарная потребляемая мощность, Вт;

P_{xx} - потребляемая мощность на холостое вращение алмазного диска, Вт.

Для получения достоверной информации необходимо провести 3 опыта - параллельные распиловки образца, обеспечивающие получение двух пластин.

Каждый опыт начинается с регистрации потребляемой суммарной мощности в момент начала распиловки. Затем суммарная потребляемая мощность регистрируется с помощью секундомера через каждые 30 с до окончания распиловки.

Результаты наблюдений и обработки заносятся в таблицу.

Регистрация результатов наблюдения и расчетов

Номер парал. набл.	P_{xx}	Суммарная потребляемая Мощность ΣP, Вт										Площадь распила S,м^2	Работа A, Втс	Удельная энергоемкость W, Вт·с/м^2
		0	30	60	90	120	150	180	210	240	270			
Образец №1														
1														
2														
3														
Образец №2														
1														
2														
3														

На основании наблюдений при распиловке каждого образца строятся графики, характеризующие изменение P_P во времени. Форма графика приведена на рис. 3.2.

Определение произведенной работы для распиливания образца

Работа распиливания характеризуется площадью фигуры 5 (рис. 3.2), ограниченной кривой, характеризующей изменение суммарной потребляемой мощности $\sum P$ во времени, и линией, ограничивающей мощность холостого вращения P_{xx}.

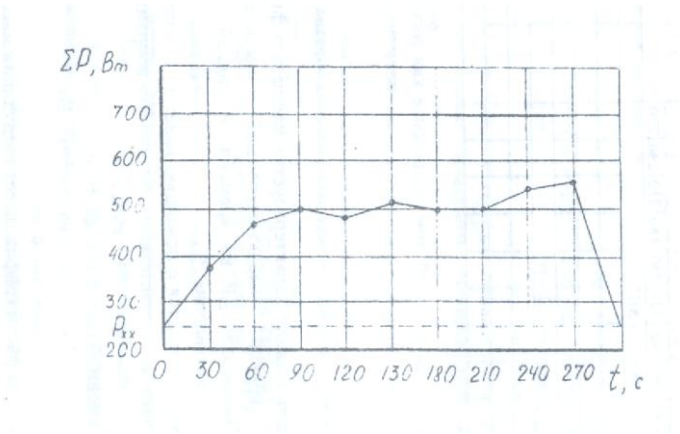


Рис. 3.2. График изменения потребляемой мощности во времени при распиловке яшмы технической.

Площадь *S* определяется с помощью палетки. Масштаб одной клетки палетки определяется в соответствии с масштабом координат графика:

$$M = P_p t_н, \tag{3.2}$$

где M - масштаб одной клетки, Вт·с;

P_p - масштаб мощности на графике, Вт;

$t_н$ - масштаб времени, с. Приведенный на рис. 4.6 график имеет следующий масштаб:

$M = 100 \cdot 30 = 3000$, Вт·с.

Тогда работа распиливания образца определяется из условия, Вт/с:

$$A = Mm, \tag{3.3}$$

где M - масштаб одной клетки, 3000 Вт·с;

m - количество расчетных клеток палетки в пределах площади, ограниченной кривой изменения $P_Р$ во времени, шт.

Для определения количества расчетных клеток под кривой методом палетки подсчитывается количество полных клеток n_1 и количество неполных клеток n_2. Затем приближенно определяется общее количество расчетных клеток из условия:

$$M=(n_1+n_2)/2. \tag{3.4}$$

Определение площади распила

Площадь поверхности распила образца горной породы определяется также по палетке. В качестве палетки может быть использован лист миллиметровки или разлинованный в клетку тетрадный лист. На палетку накладывается распиленный образец горной породы, и фиксируется площадь распила. Масштаб палетки принимается

$$M= 1 \text{ см}^2 = 0{,}0001 \text{ м}^2.$$

Площадь распила рассчитывается из условия:

$$S=Mm, \tag{3.5}$$

где S - площадь распила, м^2;

M - масштаб палетки, м^2;

m - количество расчетных клеток палетки, шт.

Определение удельной энергоемкости процесса распиливания

Удельная энергоемкость распиливания на единицу площади горной породы рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{A}{S}. \tag{3.6}$$

где W - удельная энергоемкость распиливания, Вт·с/м^2;

A - работа, Вт·с;

S - площадь распила, м^2.

Методика статистической обработки результатов наблюдений

Обобщающими результатами наблюдений, характеризующих энергоемкость процесса распиловки, являются удельные затраты мощности на единицу площади распиловки W_1, W_2, W_3, …, W_n, которые получены при проведении параллельных опытов при распиловке образца определенной горной породы.

Энергоемкость процесса распиловки образца горной породы характеризуется удельными затратами мощности, которые определяются как среднее арифметическое значение удельных затрат мощности при проведении параллельных опытов по формуле:

$$\overline{W} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} W_i \quad . \tag{3.7}$$

Дисперсия удельных затрат мощности параллельных опытов, характеризующих степень разброса вокруг среднего значения, рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{1}{1-n}\sum_{i=1}^{n}(W_i - \overline{W})^2 \, . \tag{3.8}$$

Среднее квадратическое отклонение результата каждого опыта как абсолютный показатель изменчивости удельных затрат мощности определяется из выражения:

$$S = \sqrt{\frac{1}{1-n}\sum_{i=1}^{n}(W_i - \overline{W})^2} \quad . \tag{3.9}$$

Отдельным показателем изменчивости удельных затрат мощности параллельных опытов является коэффициент вариации, который рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{вар}} = \frac{S}{W}100 \ \% \tag{3.10}$$

Лабораторная работа № 4.

Исследование акустического спектра резания горной породы алмазным диском

Отбор и подготовка образцов

Для исследований необходимо использовать образцы горных пород с известными параметрами динамической прочности, абразивности и модуля продольной упругости. Образец должен иметь форму пластины толщиной 30 мм. Рекомендуется использовать пластины, полученные при выполнении лабораторной работы № 3 данного раздела. Каждый образец должен иметь свою маркировку.

Технические средства для регистрации акустического спектра

Для исследования акустического спектра резания горных пород алмазным диском используется анализатор спектра АС-1.

Акустический спектр регистрируется анализатором спектра АС-1 в пределах звуковых колебаний 16 Гц – 20 кГц при распиловке образца горной породы на камнерезном станке ПТ-44, оснащенном алмазным отрезным диском АС-50 315/250 50 М. Для контроля процесса резания станок оснащен ваттметром, вольтметром и амперметром.

Техническая характеристика анализатора спектра АС-1

Прибор состоит из измерительного блока и двух микрофонов МД 52. Измерительный блок предназначен:

- для усиления сигналов, поступающих от микрофонов;
- выделения из шумового спектра основных гармонических составляющих;
- измерения частоты звуковых колебаний в трех диапазонах (I–20-200 Гц, II - 200-2000 Гц, III - 2-16 кГц);
- измерения уровня звукового давления акустического спектра с помощью микроамперметра.

Функциональная схема АС-1 представлена на рис. 4.2. На схеме показаны:

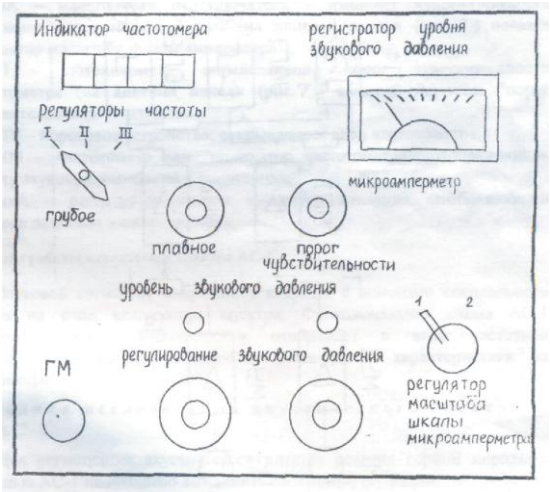


Рис. 4.1. Схема лицевой панели АС-1

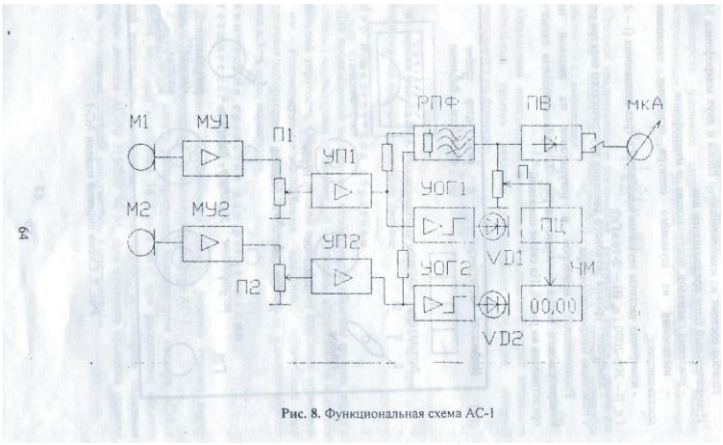


Рис. 8. Функциональная схема АС-1

Рис. 4.2. Функциональная схема АС-1

МУ1, МУ2 -микрофонные усилители 1 и 2 каналов;

П1, П2 - потенциометры установки уровня сигналов с микрофонных усилителей (ручки потенциометров П1 и П2 выведены на лицевую панель (см. рис. 4.2) и обозначены "регулирование звукового давления 1-й канал и 2-й канал");

УОГ1, УОГ2 - усилители-ограничители шумового сигнала с выходом на светоиды VD1, VD2 (на лицевой панели (см. рис. 4.2) светоиды обозначены "уровень звукового давления");

РПФ - режекторный полосовой фильтр с высокой добротностью, (перестройка частоты фильтра осуществляется ручками (см. рис. 4.2) "регуляторы частоты грубое, плавное", расположенными на лицевой панели);

ПВ - прецезионный выпрямитель выделяет положительную полуволну первой гармоники шумового сигнала;

SA - масштабный переключатель - изменяет чувствительность микроамперметра мкА в 2 раза (на лицевой панели (см. рис. 4.2) показан "регулятор масштаба шкалы амперметра");

П - потенциометр, определяющий порог чувствительности частотометра (на лицевой панели (см. рис. 4.2) имеется указатель "порог чувствительности");

ПУ - пороговое устройство, открывающее вход частотометра;

ЧМ - частотометр или "индикатор частотометра", отображающий частоту звуковых колебаний в килогерцах;

мкА - регистратор уровня звукового давления, отображающий звуковое давление в микроамперах.

Принцип работы анализатора спектра АС-1

Звуковой сигнал от микрофонов подается с помощью специального кабеля на вход анализатора спектра. Функциональная схема АС-1 усиливает сигнал, фильтрует и отображает в виде частотной характеристики на частотометре и амплитудной характеристики на амперметре.

Методика исследования акустического спектра на АС-1

Для регистрации акустического спектра резания горной породы с помощью АС-1 необходимо выполнить следующие операции:

Расположение приборов и регуляторов на лицевой панели измерительного блока показано на рис. 4.1,

1. Установить микрофоны в непосредственной близости от режущего инструмента, обеспечив условия предотвращения попадания влаги на микрофоны.
2. Подключить микрофоны к гнезду ГМ прибора.
3. Подключить прибор к сети 220 В.

4. Установить ручки управления прибора в положение, соответствующее готовности прибора к работе. Для этого необходимо выполнить следующие операции.

4.1. Ручки потенциометров "регулирование звукового давления" (П1 и П2) установить в крайнее левое положение (повернуть против часовой стрелки до упора).

4.2. Переключатель "регуляторы частоты грубое, плавное" установить в крайнее левое положение.

4.3. Ручку "порог чувствительности" установить в крайнее левое положение, при этом индикатор частотометра должен показывать 00.00.

4.4. Переключатель ЗА "регулятор масштаба шкалы микроамперметра" установить в крайнее левое положение, при этом стрелочный индикатор мкА должен быть на нуле.

5. Включить камнерезный станок, установить режим подачи с помощью вариатора в зависимости от физико-механических свойств распиливаемого образца и обеспечить работу станка в установившемся режиме резания горной породы.

6. Медленно поворачивать ручки потенциометров П1 и П2 "регулирование звукового давления" по часовой стрелке до включения светоидов УВ1 и УО2. После включения светоидов повернуть ручки П1 и П2 против часовой стрелки, стараясь уловить положение регуляторов уровня сигнала, соответствующее моменту затухания светоидов.

7. Произвести измерения параметров акустического спектра, выполняя последовательно следующие операции.

7.1. Поворачивая ручку "регуляторы частоты плавное" по часовой стрелке, установить по микроамперметру на положение ручки, соответствующее максимальному уровню сигнала в выбранном частотном диапазоне. Точнее можно найти положение ручки, поворачивая ее по или против часовой стрелки.

7.2. Повернуть ручку "порог чувствительности" до включения частотометра в режим счета частоты. Рекомендуется поворачивать ручку не плавно, а дискретно, изменяя угол поворота в связи с некоторым запаздыванием включения счетного устройства.

7.3. Показания частотометра и стрелочного индикатора занести в таблицу. При необходимости взять еще 1-2 отсчета на этом же частотном диапазоне, стремясь отыскать локальный максимум.

7.4. Повернуть ручку "порог чувствительности" против часовой стрелки до сброса показаний индикатора частотометра (до установки 00.00).

7.5. Повернуть ручку "регуляторы частоты плавное" в крайнее левое положение и перейти на следующий частотный диапазон, переключив переключатель «регуляторы частоты грубое» по часовой стрелке в следующее положение.

7.6. Повторить измерения на вновь избранном диапазоне частоты, выполнив пункты 7.1-7.3 Результаты измерений занести в таблицу.

7.7. Выполнив пункты 7.4 и 7.5, перейти на третий диапазон частот, установив переключатель "регуляторы частоты грубое" в положение III (крайнее правое).

7.8. Повторить измерения на III диапазоне частот, выполнив пункты 7.1. - 7.3. Результаты измерений занести в таблицу.

Результаты измерений исследования акустического спектра резания горной породы алмазным диском

Диапазон	I			II			III		
Уровень звукового давления, мкА									
Частота звуковых колебаний, кГц									

Примечания.

1. После выполнения пункта 7.3 положение ручки "регулирование звукового давления" нельзя изменять до окончания работы, в противном случае достоверность характера спектрограммы будет нарушена.
2. В некоторых случаях на одном или двух диапазонах частот могут отсутствовать ярко выраженные основные максимумы, в этом случае рекомендуется ограничиться регистрацией локальных максимумов, стараясь как можно точнее устанавливать порог чувствительности порогового устройства частотомера ручкой "порог чувствительности".
3. Если при измерении локальных максимумов показания стрелочного измерительного прибора весьма малы и отсчет взять затруднительно, можно перевести переключатель SA "регулятор масштаба шкалы микроамперметра" в крайнее правое положение. В этом случае в таблицу следует заносить численное значение, равное 1/2 от показания прибора.

Методика обработки результатов наблюдения

Графическое построение измеренных спектров производится на полулогарифмической бумаге, для того, чтобы весь диапазон измеряемых частот умещался в размерах одного листа формата А4 и при этом масштаб был бы читаемым. Построение спектрограммы (рис. 4.3), характеризующей процесс резания, производится по следующей методике.

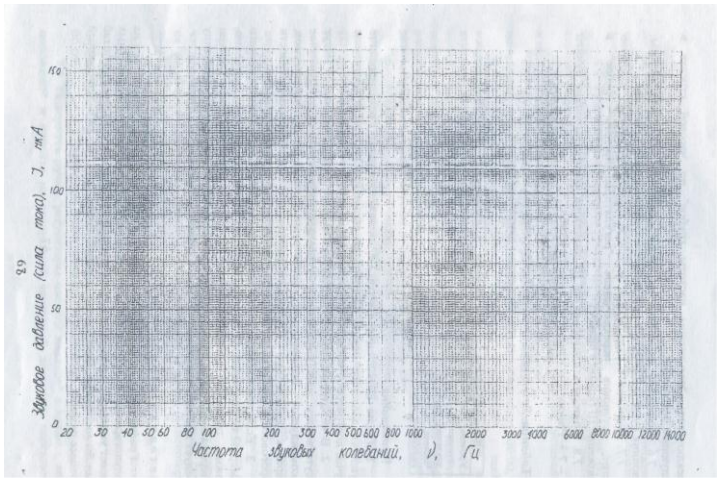


Рис. 4.3. Спектрограмма звуковых колебаний процесса резания

1. На логарифмической шкале абсцисс, соответствующей трем диапазонам АС-1, откладываются частоты в герцах, на линейной шкале ординат – уровни звукового давления акустического спектра резания в микроамперах.
2. На спектрограмме находится уровень звукового давления, соответствующий зарегистрированному максимуму длины полуволны акустического спектра.

Библиографический список

1. Инструкция по применению прибора ПСХ-4 для определения удельной поверхности измельченных материалов/ Госкомитет по промышленности строительных материалов при Госстрое СССР. – М.: 1964. - 14 с.
2. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород: учебник для вузов. – 5-е изд, перераб. и доп. – М.: Недра, 1989. - 359 с.

3. Спивак А. И., Попов А. Н. Разрушение горных пород при бурении скважин: учебник для вузов. – 4-е изд. Перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. - 208 с.
4. Ямщиков В. С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. – М.: Недра, 1982.

ФГБОУ ВО
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Кафедра технологии и техники разведки МПИ

«УТВЕРЖДАЮ»
Зав. кафедрой ТТР МПИ
_____ Проф. С. Г. Фролов

Усов Г.А.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ БУРОВЫМ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Учебно-методическое пособие
по самостоятельной работе для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД 4

1.1. Общая характеристика механических способов разрушения горных пород при бурении скважин……4

1.2. Формирование зоны предразрушения при механическом разрушении горных пород……

1.3. Экономическая оценка эффективности разрушения горных пород при бурении……

1.4. Разрушение горных пород буровым инструментом с резцами из твердого сплава…….

1.4.1. Твердые сплавы и их свойства……

1.4.2. Основные типы бурового инструмента, вооруженного твердосплавными резцами……

1.4.3. Разрушение горных пород буровым инструментом с резцами из композиционных алмазосодержащих и поликристаллических алмазов…..

1.4.4. Буровые инструменты с резцами из твердых материалов с поликристаллическими алмазами……..

1.5. Разрушение горных пород алмазным буровым инструментом……

1.5.1. Общие сведения об алмазном буровом инструменте…….

1.5.2. Разработки алмазных инструментов компаний Atlas Copco и Boart Longyear…….

1.5.3.Динамические нагрузки на алмазы в процессе разрушения горных пород……...

1.6. Разрушение горных пород шарошечными долотами…….

1.6.1.Конструкции и вооружение шарошечных долот……

1.6.2.Системы очистки забоя и интенсификация процесса разрушения при бурении шарошечными долотами……

1.7.Разрушение горных пород при вращательно-ударном, ударно-вращательном и ударном способах бурения…….

1.7.1.Разрушение горных пород при вращательно-ударном способе бурения……

1.7.2.Разрушение горных пород алмазным инструментом в режиме вращательно-ударного бурения……

1.7.3.Разрушение горных пород шарошечными долотами в режиме вращательно-ударного бурения……..

1.7.4.Разрушение горных пород при ударно-вращательном способе бурения…..

1.7.5.Разрушение горных пород при ударном способе бурения……..

1.8.Взрывное разрушение……..

1.8.1.Понятие о взрыве……..

1.8.2.Механизм разрушения пород взрывом……

2. БУРОВОЙ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ…….

2.1. Классификация породоразрушающих инструментов .....

2.2. Конструкции породоразрушающих инструментов.....

2.2.1. Лопастные породоразрушающие инструменты.....

2.2.2. Шарошечные породоразрушающие инструменты.....

2.2.3. Вооружение шарошечных породоразрушающих инструментов.....

2.2.4. Системы очистки забоя и элементов вооружения шарошечных породоразрушающих инструментов.....
2.2.5. Опоры шарошек шарошечных породоразрушающих инструментов.....
2.2.6. Система герметизации маслонаполненных опор шарошечных породоразрушающих инструментов.....
2.2.7. Типы и основные размеры шарошечных долот по ГОСТ 20692−75.....
2.2.8. Лицензионные шарошечные долота производства ОАО «Волгабурмаш» ...
2.2.9. Одношарошечные долота.....
2.2.10. Система кодирования износа шарошечных долот, принятая в России.....
2.2.11. Кодирование износа шарошечных породоразрушающих инструментов по кодам IADC.....
2.3. Алмазные долота, долота ИСМ и PDC.....
2.3.1 Алмазные долота.....
2.3.2. Кодирование износа алмазных (классических) долот.....
2.3.3. Долота ИСМ.....
2.3.4. Долота PDC.....
2.3.5. Кодирование износа долот PDC.....
2.4. Бурильные головки.....
2.4.1. Шарошечные и лопастные бурильные головки по ГОСТ 21210−75.....
2.4.2. Алмазные бурильные головки и бурильные головки ИСМ и PDC.....
2.5. Фрезерный инструмент…….
2.5.1. Фрезеры забойные и торцевые…….
2.5.2. Фрезеры забойно-кольцевые…….
2.5.3. Фрезеры кольцевые……..
2.5.4. Фрезеры пилотные……
2.5.5. Фрезеры колонные конусные (райберы)……..
2.5.6. Фрезеры-ловители магнитные……..
2.6. Элементы бурильной колонны……..
2.6.1. Калибраторы……...
2.6.2. Калибраторы-расширители……..
2.6.3. Переводники……
Литература.....

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

1.1. Общая характеристика механических способов разрушения горных пород при бурении скважин

Вращательное бурение резцовым твердосплавным инструментом (лопастными долотами, твердосплавными коронками).

Данный способ и инструменты предназначены для бурения мягких и средних по твердости горных пород как при роторном (с вращением бурильной колонны) бурении, так и бурении забойными двигателями – турбо-, электробурами, винтовыми забойными двигателями.

Реализуются резание и скалывание под действием: $P_{ос}$ – осевого усилия и $F_р$ – усилия резания (рис. 1.1).

Параметры резца: α – угол приострения резца; $\gamma_п$ -передний угол резца; $\gamma_з$ – задний угол резца; $\beta_р$ – угол резания.

Основные формы резцов: I – с положительным передним углом; II – с отрицательным передним углом; III – самозатачивающийся резец.

Вращательное бурение буровым инструментом с резцами из композиционных алмазосодержащих материалов и поликристаллических алмазов. Применяется для бурения мягких, горных пород средней твердости с пропластками твердых при роторном бурении и бурении турбо -, электробурами, винтовыми забойными двигателями.

Элементом вооружения являются вставки из композиционного материала славутич или алмазно-твердосплавные пластины *PDC (policristalline diamont cutters) Stratapax* (*General Electric*, США*), Sindit* (*De Beers*, ЮАР), алмазно-твердосплавные пластины – АТП (ИСМ и ВНИИалмаз).

Пластинами *PDC* оснащают резцы бурового инструмента, предназначенные в основном для бурения мягких пород и пород средней твердости. Передний угол резцов с *PDC* $\gamma_п$ изменяется от –5 до –25° (рис.1.2).

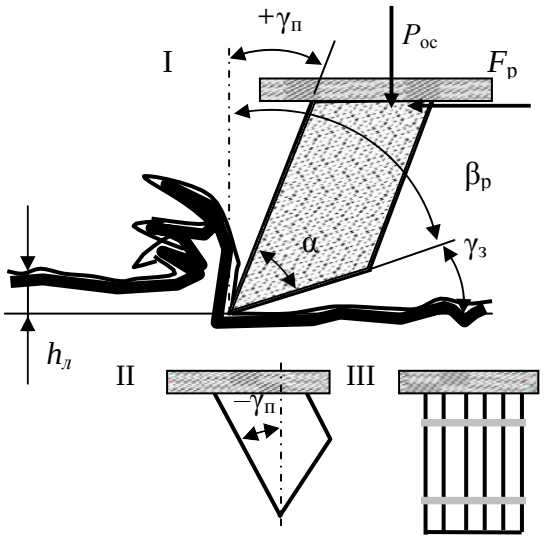


Рис. 1.1. Схема параметров вооружения твердосплавного инструмента

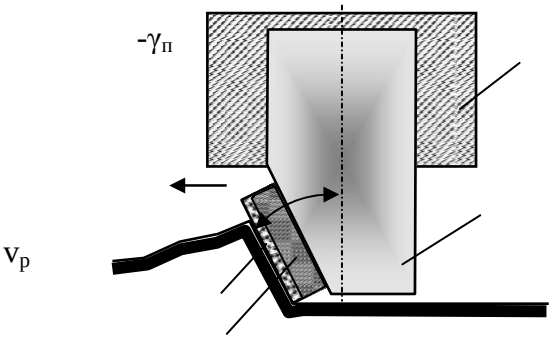


Рис. 1.2. Резец с пластиной PDC: 1 – слой поликристаллических алмазов; 2 – подложка из твердого сплава; 3 – твердосплавная опора; 4 – корпус коронки

При бурении пластично-хрупких пород разрушение осуществляется вдавливанием, резанием и сдвигом. При бурении хрупких пород (твердых) наблюдается раздавливание и скалывание породы алмазными резцами пластинки.

Вращательное бурение алмазным однослойным инструментом (алмазные долота, головки, коронки). Применяется для бурения горных пород средней твердости и твердых.

При бурении алмазным инструментом реализуются смятие, раздавливание, резание, скалывание породы.

Основная форма резцов:

- дробленый (необработанный) алмаз (по мере износа приобретает овальную форму);
- округлый – овализованный алмаз;
- округлый – полированный алмаз.

Размер резцов определяется зернистостью используемых алмазов. Зернистость алмазов изменяется в основном от 5–10 до 150–200 шт. на карат (1 карат = 0,2 г). Соответственно размер зерен от 3–2,5 мм до 0,8 и менее.

Овализованные и полированные алмазы реализуют в основном раздавливание, необработанные алмазы с острыми гранями резание-скалывание. Для повышения эффективности разрушения алмазы в коронках могут устанавливаться ориентированно наиболее твердыми гранями в направлении резания-скалывания.

При повышении размера алмаза процесс разрушения видоизменяется от резания к скалыванию, далее к раздавливанию и к упругому деформированию.

Более крупные и дробленые алмазы применяют для бурения менее твердых горных пород, более мелкие, овализованные и полированные, для бурения твердых и крепких горных пород.

Алмазный резец закреплен в твердосплавной матрице (WC+Co) и для эффективного разрушения может выступать из матрицы на высоту, в основном, не превышающую ⅓ диаметра алмаза.

Алмазный инструмент характеризуется разновысотностью резцов ($h_1 \neq h_2 \neq h_3$ на рис. 1.3), которая максимальна на начальном этапе бурения – приработке инструмента.

Для повышения эффективности разрушения горных пород алмазный инструмент изготавливают с заданным выступанием алмазов из матрицы.

Для эффективного разрушения горной породы необходимы высокие значения частоты вращения инструмента (800–1 000 мин$^{-1}$).

Вращательное бурение алмазными импрегнированными коронками. Бурение твердых и очень твердых горных пород. При бурении реализуется истирание, микрорезание.

Для эффективного разрушения горной породы необходимы высокие значения частоты вращения инструмента (1 000 мин$^{-1}$и более).

Для изготовления инструмента применяют природные и искусственные алмазы минимальных размеров. Размер зерна 0,9–0,5 мм (зернистость 150 и более шт./кар.).

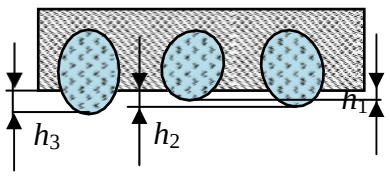


Рис. 1.3. Овализованные алмазы в матрице коронки.

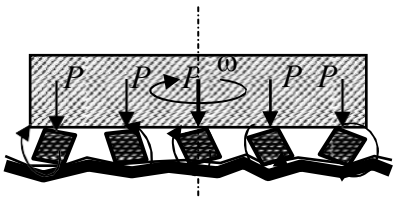


Рис.1.4. Схема работы дробовой коронки

Вращательное бурение дробовыми коронками (дробью). Бурение твердых и очень твердых горных пород (рис. 1.4). Реализуется смятие, раздавливание, скалывание.Дробовое бурение в значительном объеме применялось до периода широкого использования алмазного инструмента.

Вращательное бурение шарошечными долотами. Инструмент дробящее-скалывающего действия показан на рисунке 1.5.

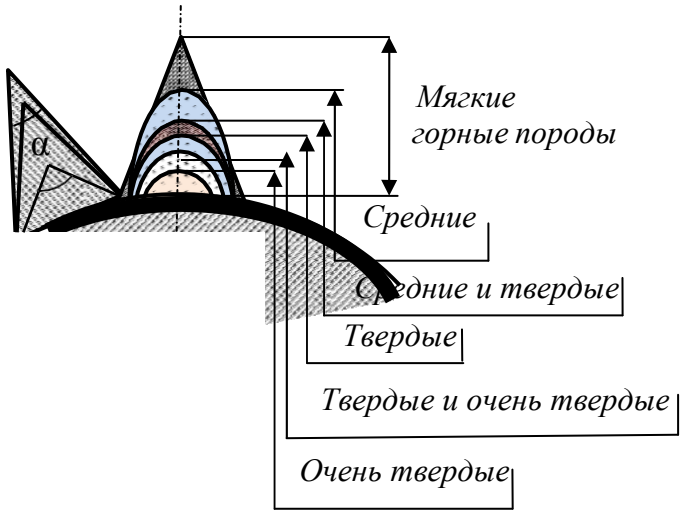


Рис.1.5. Геометрические размеры породоразрушающих элементов шарошечных долот для бурения различных по твердости горных пород

Способ предназначен для бурения горных пород как мягких, так и средней твердости, твердых и самых твердых. При бурении реализуются раздавливание, дробление, скалывание, резание породы при проскальзывании шарошек.

Этапы разрушающего действия:

- косой удар – скалывание породы под действием усилия P_y;
- раздавливание породы иуглубление лунки под действием усилия P_z;
- скалывание и подрезание породы при проскальзывании в направлении вращения шарошки.

По мере увеличения твердости горных пород от мягких до средних угол приострения α клиновидных зубьев увеличивается от 30–40 до 80–90°, а размер породоразрушающих зубьев и вставок уменьшается (рис. 1.5). Для бурения твердых и очень твердых пород используются овальные и шарообразные твердосплавные вставки.

Инструмент безударного раздавливающего действия. При бурении дисковые долота, вращаясь, перекатываются по забою и острыми ребрами шарошек раздавливают породу под действием осевого усилия и развиваемых в породе контактных напряжений.

Инструмент с зубчато-дисковыми шарошками. Реализует разрушение мягких и средней твердости горных пород резанием-скалыванием зубьями дисковых шарошек *1*, установленных в радиальном направлении относительно корпуса долота (рис. 1.6, 1.7). Вращение и перекатывание шарошек по забою происходит за счет зацепления зубьев с образовавшейся криволинейной поверхностью у стенки скважины.

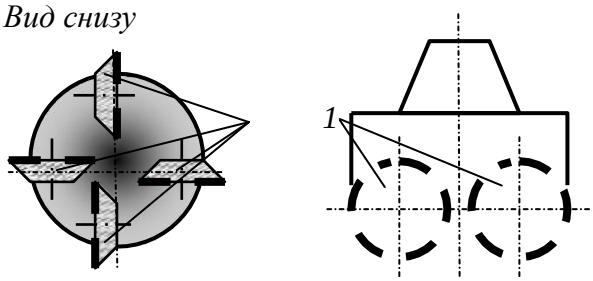


Рис. 1.6. Схема долота с зубчато-дисковыми шарошками

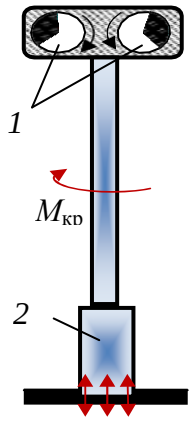


Рис. 1.7. Схема вибрационного бурения

Ударное бурение. Реализуется дробление и скалывание упругохрупких горных пород под действием удара.

Для бурения используются ударные способы разрушения горных пород под действием энергии сбрасываемого с определенной высоты бурового снаряда, например ударно-канатное бурение (способ применялся для бурения нефтяных скважин до 1900 г.) или забивной способ с помощью устройства ударного действия.

Комбинированное (с вращательным) механическое разрушение горных пород. Ударно-вращательный способ бурения. Реализуется разрушение за счет удара высокого уровня энергии, а вращение инструмента носит вспомогательный характер, определяя схему поражения забоя породоразрушающими вставками долота или коронки. Для бурения используются гидро-, пневмоударники и буровой инструмент с резцами в основном клиновидной и шарообразной формы. Способ успешно применяется для бурения горных пород самой различной твердости и при сооружении скважин различного назначения – взрывных, гидрогеологических, инженерно-геологических, геологоразведочных и др., диаметра и глубины.

Вращательно-ударный способ бурения. Способ применяется для бурения твердых горных пород алмазным инструментом при сооружении в основном геологоразведочных скважин.

При бурении реализуется разрушение породы за счет действия осевой силы и усилия резания. Ударное воздействие на породу с высокой частотой, но малой энергией дополняет породоразрушающее воздействие на породу основных факторов, характеризующих врашательное бурение – осевая нагрузка и частота вращения. Для бурения используются алмазный однослойный буровой инструмент или шарошечные долота и высокочастотные гидроударники.

Гидромеханический способ бурения. Реализуется при вращательном способе бурения скважин, при котором горные породы разрушаются под воздействием стационарных высоконапорных тонких струй промывочной жидкости (воды или бурового раствора) и механических породоразрушающих элементов (резец, шарошка).

Струями воды формируются щели в породе, а механическим инструментом производится скалывание ослабленных межщелевых блоков. При гидромеханическом разрушении осуществляется непрерывное динамическое и статическое воздействие на забой. Давление жидкости, необходимое для гидромеханического разрушения рыхлых пород, 20–50 МПа, мягких и средней твердости – 70–100, очень твердых – более 150 МПа. Рациональные окружные скорости перемещения насадок 10–40 см/с.

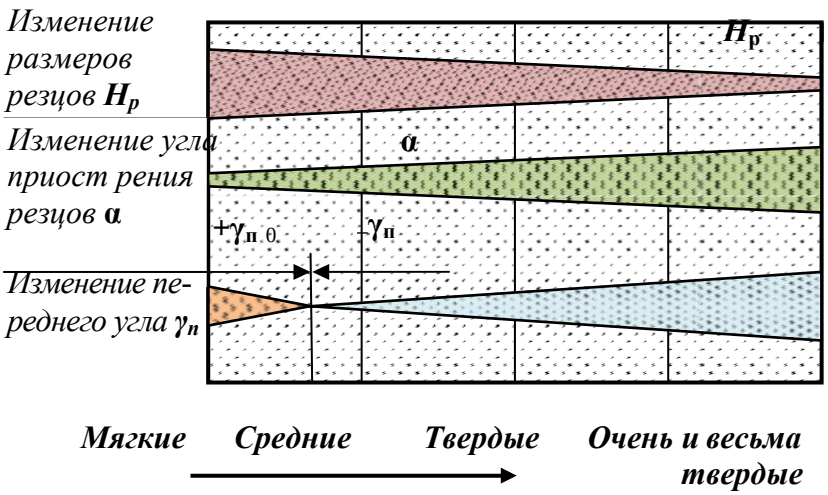
Термомеханический способ бурения. Вращательный способ бурения горных пород твердосплавным или алмазным буровым инструментом с одновременным нагреванием до высокой температуры торца инструмента и горной породы на забое.

Нагревание породы снижает ее твердость и упругость, повышает пластичность.

Вибрационное бурение. При вибрационном бурении используются приостренные наконечники (грунтоносы), которые соединяются через бурильные трубы с вибратором (рис. 1.7). Применяется для бурения преимущественно несвязных горных пород (пески). Углубление скважины происходит практически без разрушения горной породы за счет разуплотнения вследствие уменьшения сил трения между слабосвязанными частицами породы.

Компания *Sonic Samp Drill* разработала технику бурения на основе ударного бурения и высокочастотных вибраций для бурения самых прочных пород. Применение вибрационной установки колонкового бурения (рис. 1.7) позволяет в 1,5–2 раза увеличить производительность по сравнению с традиционными видами бурения. В зависимости от модели буровой установки колонкового бурения вибрационная мощность импульса составляет до 350 кН. В основе системы *Sonic* заключены два эксцентрика *1*, которые приводятся в движение двумя высокоскоростными (12 000 мин$^{-1}$) гидромоторами. Гидромоторы генерируют высокочастотные (до 180 Гц) вибрации, которые непосредственно передаются на буровой башмак *2* и вызывают активное разупрочнение и разрушение горной породы.

На рис. 1.8 приведены схемы, поясняющие связь основных параметров резцов буровых инструментов, таких как размер, угол приострения и передний угол, с твердостью горных пород.



Схема, обозначающая параметры резцов $H_р$, α, $\gamma_п$.

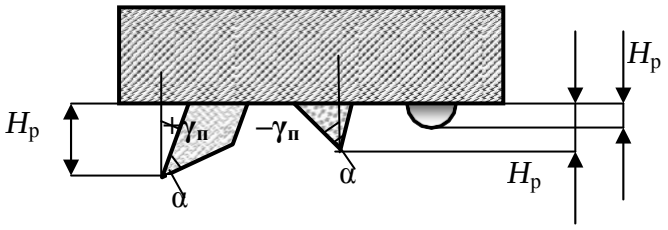


Рис. 1.8. Схемы, показывающие связь размеров резцов H, угла их приострения α и переднего угла $\gamma_п$ с твердостью горных пород.

Как следует из схемы на рис. 1.8, с увеличением твердости горных пород размеры резцов $H_р$ уменьшаются, угол приострения α возрастает, передний угол $\gamma_п$ из положительного становится отрицательным, а его отрицательное значение увеличивается по мере повышения твердости горных пород.

Наиболее производительным из механических способов бурения скважин в твердых породах является процесс бурения забойными пневмоударниками в режиме ударно-вращательного бурения при высоком значении давления подаваемого воздуха (механическая скорость более 20 м/ч по самым твердым породам).

Вращательное и вращательно-ударное бурение алмазным инструментом, шарошечными долотами твердых пород значительно уступают по производительности пневмоударному бурению.

При соударении шаров с твердой горной породой со скоростью порядка нескольких десятков метров в секунду она разрушается. Продукты разрушения частично циркулируют с инжектируемой жидкостью, измельчаются и выносятся из скважины восходящим потоком промывочной жидкости.

При бурении скважин на нефть и газ в настоящее время основными инструментами остаются шарошечные долота, реализующие дробяще-скалывающее воздействие на горную породу и долота режуще- скалывающего действия с резцами типа *PDC*. Если для современных шарошечных долот проходка на долото может составлять 100–200 и даже несколько сотен метров при скорости бурения 10–20 м/ч, то до- лота с резцами *PDC* показывают выдаю щиеся результаты при разрушении мягких и горных пород средней твердости: проходка может достигать 1 000 и более мет- ров, а механическая скорость 20–40 м/ч.

Например, в Эвенкии в июле 2012 г. успешно произведена отработка матричного *PDC* долота 215,9 мм серии *Tornado* производства компании *DDI*, США (рис. 1.9). Бурение осуществлялось ротором и винтовым гидродвигателем. Проходка на долото составила 1 150 м до первой реставрации при средней скорости бурения 20 м/ч, максимальная скорость достигала 40 м/ч.



Рис. 1.9. Долото PDC Tornado после проходки 1150 м.

1.2. Формирование зоны предразрушения при механическом разрушении горных пород

При механических способах бурения одновременно с отделением от массива продуктов разрушения горной породы в призабойном пространстве формируется особый слой породы, который ослаблен развитой системой микротрещин. Академик П. А. Ребиндер назвал этот слой породы зоной предразрушения [22].

Зона предразрушения горной породы имеет распространение по поверхности забоя, ствола скважины и керна. С точки зрения интенсификации процесса бурения и снижения энергоемкости разрушения горной породы наиболее продуктивна зона предразрушения забоя скважины.

Причинами появления зоны предразрушения являются напряжения и деформации горной породы, которые распространяются равномерно во все стороны от точек приложения разрушающих усилий со стороны породоразрушающих резцов и вставок бурового инструмента.

Таким образом, образование зоны предразрушения – закономерность процесса механического разрушения горных пород, проявляющаяся при всех механических

способах бурения.

Закономерности формирования зоны предразрушения исследовались с применением метода люминесцентной дефектоскопии. Зона предразрушения изучалась в призабойных участках пробуренных алмазным импрегнированным инструментом стволов скважин. Бурение осуществляли при различных осевых нагрузках и фиксировали углубление за один оборот инструмента на забое. После бурения производилась обработка призабойной зоны ствола люминесцентными жидкостями, обладающими высокой смачивающей и проникающей способностью. Полученные срезы призабойной зоны в дальнейшем исследовались на люминесцентном дефектоскопе. По свечению люминесцентной жидкости определяли область распространения трещин зоны предразрушения.

Результаты замеров глубины развития зон предразрушения, образовавшихся при бурении гранит-порфира, габбро и кварцито-песчаника, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты исследования зоны предразрушения

Порода	Показатели	Осевая нагрузка, даН				
		250	500	750	1 000	1 250
Гранит-порфир	Глубина зоны предразрушения $h_з$, мм;	1,8	2,5	2,85	3,0	3,1
	Углубление за оборот h, мм;	0,024	0,039	0,051	0,056	
	$h_з/h$	75	64	56	53	
Габбро	Глубина зоны предразрушения $h_з$, мм;	0,18	0,35	0,4	0,51	0,55
	Углубление за оборот h, мм;	0,0175	0,0335	0,039	0,055	0,0645
	$h_з/h$	10,2	10,4	10,2	9,2	8,5
Кварцито-песчаник	Глубина зоны предразрушения $h_з$, мм;	1,2	1,65	1,87	2,1	2,1
	Углубление за оборот h, мм;	0,0075	0,0125	0,0185	0,0215	0,024
	$h_з/h$	160	132	101	97	87

Как следует из полученных данных, зона предразрушения по своей глубине значительно превышает величину проходки за один оборот инструмента на забое (рис. 1.10). Это соотношение особенно велико в хрупких горных породах, а минимально у более пластичного габбро. С ростом осевого усилия в диапазоне 250–750 даН величина зоны предразрушения возрастает, а при дальнейшем повышении осевого усилия глубина развития зоны предразрушения увеличивается незначительно.

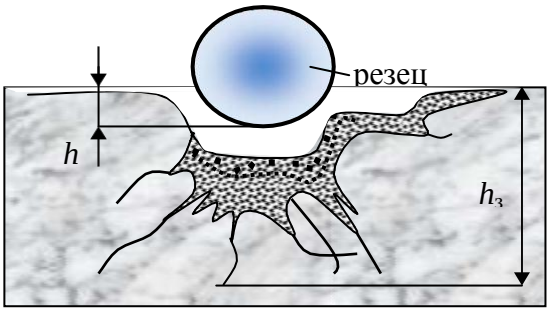


Рис. 1.10. Борозда разрушения и зона предразрушения, образовавшиеся при разрушении гранита резцом.

Исследование зоны предразрушения в тех же горных породах после бурения твердосплавными резцами показало, что наблюдаются выявленные при алмазном бурении закономерности, но глубина развития зоны предразрушения в сравнении с глубиной разрушения породы резцом значительно уменьшилась, особенно у габбро, что связано со значительным увеличением размеров резцов, снижением удельных контактных напряжений на породу и размеров ядра сжатия породы в сравнении с

глубиной внедрения резцов.

Таким образом, в результате экспериментов удалось установить:

- при взаимодействии бурового инструмента с породой помимо зоны разрушения формируется образованная системой микротрещин зона предразрушения;
- зона предразрушения образуется при всех рассмотренных видах взаимодействия инструмента с породой – резании, резании-скалывании, раздавливании и смятии;
- зона предразрушения способствует разрушению горной породы при дальнейших циклах нагружения;
- глубина развития зоны предразрушения при разных способах бурения и применяемых инструментах различна, но при этом сохраняются общие закономерности развития образующих зону предразрушения трещин;
- в пластичных горных породах и мягких минералах зона предразрушения не образуется.

Зона предразрушения в упруго-хрупком долерите и упругопластичном анизотропном спекшемся туфе изучалась визуально в процессе экспериментальных работ.

Из образцов забоев скважин, полученных после разбуривания блоков пород, были изготовлены шлифы для изучения в отраженном свете под микроскопом *Polam C-111*.

Для изготовления шлифов использованы штуфы забойных зон долерита и спекшегося туфа, полученные при бурении алмазным однослойным инструментом с водой и водным раствором 0,3 % сульфонола.

В процессе изучения шлифов под микроскопом сделаны фотографические снимки зон предразрушения горных пород.

С учетом вычисленных значений увеличения микроскопом и фотографическим аппаратом рассчитаны приближенные значения мощностей зон предразрушения горных пород.

На рис. 1.11 представлен фотографический снимок зоны предразрушения в образце долерита. На снимке показано, что зона предразрушения в твердой породе, в данном случае долерите, состоит из двух областей (границы областей на рис. 1.11 обозначены пунктирными линиями): чрезвычайно разрушенной и ослабленной трещинами. При этом мощность первой составляет 0,17 мм, а мощность второй 1,7 мм (см. рис. 1.11). Можно отметить, что форма зоны предразрушения практически повторяет форму забоя.

В спекшемся туфе, упругопластичной анизотропной породе зона предразрушения представлена также двумя областями (рис. 1.12): чрезвычайно разрушенной и пластических деформаций. Область чрезвычайно разрушенной (смятой, разрыхленной) породы расположена на глубине 0,12 мм от забоя породы. Область пластических деформаций охватывает призабойную область и область стенки скважины. Примерная мощность данной области – 0,42 мм.

Образец, фотографический снимок которого приведен на рис. 1.12, получен при бурении с осевым усилием – 600 даН, частотой вращения – 150 мин$^{-1}$ с применением эмульсионного промывочного агента.

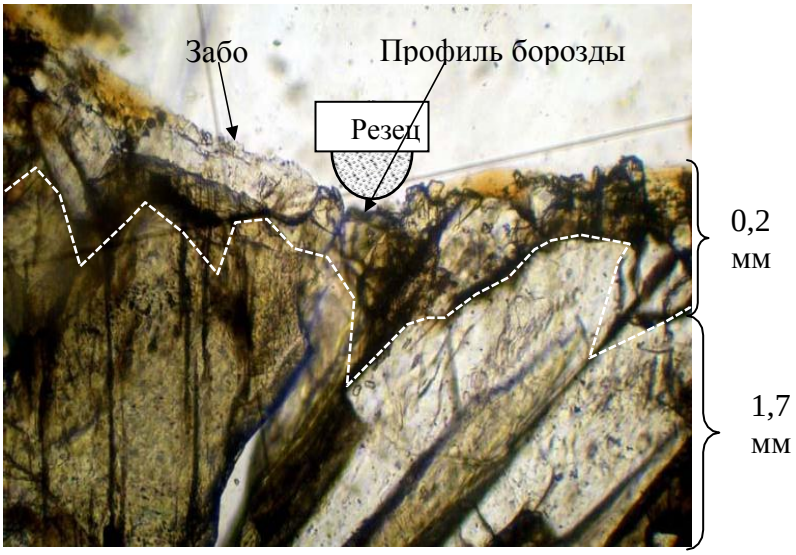


Рис. 1.11. Фотографический снимок зоны предразрушения в образце долерита с указанием областей, составляющих зону предразрушения: 0,2 мм – чрезвычайно разрушенной породы; 1,7 мм – ослабленной трещинами

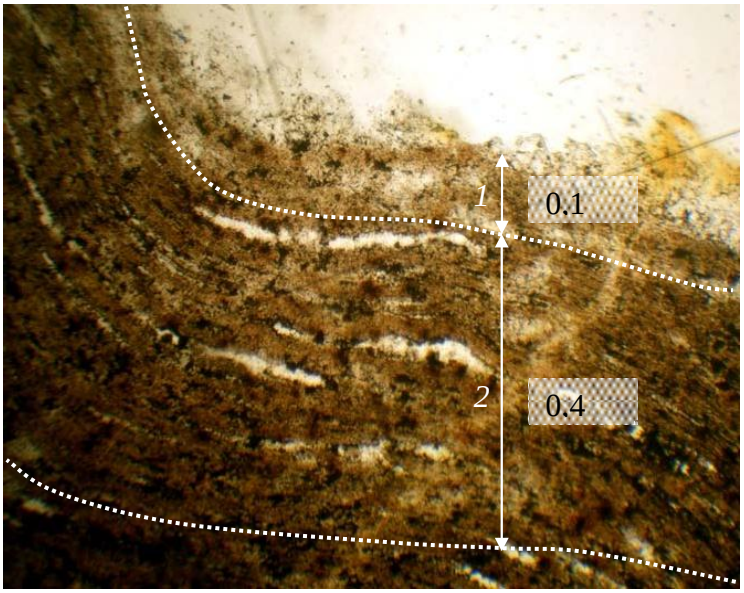


Рис. 1.12. Фотографический снимок зоны предразрушения в образце спекшегося туфа с указанием размеров областей, составляющих зону предразрушения: *1* – разрушенной породы; *2* – пластических деформаций.

По результатам проведенного исследования на данной стадии работ можно сделать следующие выводы:

- размеры зоны предразрушения увеличиваются при повышении осевого усилия и несколько снижаются с ростом частоты вращения бурового инструмента;
- зона предразрушения в упруго-хрупком долерите представлена чрезвычайно разбитой трещинами породы, при этом трещины развиваются, как правило, между минеральными зернами, разрушению также подвергаются более хрупкие кристаллы;
- в породах более пластичных (спекшийся туф) зона предразрушения развивается в виде «разрыхленной», смятой породы без образования явных трещин;
- трещины зоны предразрушения анизотропных пород развиваются преимущественно вдоль плоскостей слоистости, сланцеватости или флюидальности.

Зона предразрушения горной породы при бурении является объектом

технологического воздействия с целью интенсификации процессов разрушения, например за счет адсорбционного понижения прочности.

Цель подобного воздействия – развитие зоны предразрушения, ослабление поверхностного слоя забоя скважины и снижение энергоемкости разрушения горных пород при бурении.

1.3. Экономическая оценка эффективности разрушения горных пород при бурении

Экономическая оценка эффективности бурения оценивается стоимостью метра пробуренной скважины. Зависимость для расчета стоимости метра имеет следующий вид:

$$C_м = \frac{C_{ст}}{T \cdot v_м}\left(1 + \frac{T - T_б}{l_р}\right) + \frac{Ц}{L}, \qquad (1.1)$$

где: $C_т$ - стоимость станко-смены, руб.; T – длительность станко-смены, ч;

$T_б$ - время, затраченное непосредственно на углубление ствола скважины, ч;

Ц – стоимость бурового инструмента, руб.;

$v_м$ – механическая скорость бурения, м/ч;

$l_р$ – длина рейсовой проходки, м; L – проходка буровым инструментом (ресурс инструмента), м.

При бескерновом бурении длина рейсовой проходки равняется проходке буровым инструментом.

При колонковом бурении длина рейса ограничивается длиной керноприемной трубы, что при бурении снарядом со съемным керноприемником требует прекращения углубки ствола, подъема и последующего спуска керноприемника, что несколько снижает время, затрачиваемое непосредственно на углубление ствола скважины. Бурение снарядом без съемного керноприемника требует подъема всей бурильной колонны из скважины для извлечения керна, что еще более снижает долю времени $T_б$.

Из зависимости (1.1) следует, что стоимость метра бурения определяется такими параметрами, как механическая скорость бурения, стоимость бурового инструмента и его ресурс.

Анализ зависимости показывает, что на стоимость метра пробуренной скважины наиболее значительно влияет ресурс инструмента, а повышение механической скорости бурения будет оправдано при условии сохранения эффективного ресурса бурового инструмента.

На рис. 1.13 приведена кривая, равная стоимости 1 м проходки скважины, в координатах проходки на буровой инструмент и механической скорости бурения, по данным И. Ф. Вовчановского, для долот типа ИСМ. Из приведенных зависимостей следует, что одинаковую стоимость 1 м бурения скважины можно получить как путем увеличения механической скорости бурения, уменьшив при этом стойкость бурового инструмента, так и в результате повышения стойкости инструмента, но снижения механической скорости бурения. Выбор оптимального варианта сочетания стойкости бурового инструмента и механической скорости бурения следует производить с учетом глубины скважины.

При возрастающей глубине скважины более важной характеристикой будет большая стойкость инструмента, что позволит повысить время, затраченное на углубление скважины в балансе общих затрат времени на производство работ.

При бурении неглубоких скважин, когда спуско-подъемные операции занимают сравнительно малую долю в общем балансе производительного времени, можно допустить вариант форсированного бурения на высоких механических скоростях, но с несколько ограниченным ресурсом инструмента.

Поиск оптимальных условий производства буровых работ, параметров режима бурения, ориентированных на минимальную стоимость метра пробуренной скважины, является типичной задачей оптимизации.

При решении этой задачи опытным путем можно получить зависимости, отражающие влияние параметров режима бурения на ресурс бурового инструмента и значения механической скорости бурения при определенных постоянных значениях глубины скважины, горно-геологических условиях бурения и применяемых типах бурового инструмента. Полученные данные позволяют рассчитать стоимость метра проходки для каждого варианта сочетания параметров режима бурения и выбрать, таким образом, оптимальные параметры режима бурения для определенных условий производства работ.

На рис. 1.14 приведены подобные кривые, отражающие многосложную связь условий и параметров, определяющих себестоимость бурения шарошечными долотами большого диаметра. Как следует из графиков, по минимуму стоимость метра проходки следует выбрать из следующих параметров режима бурения: частота вращения долота 400 мин$^{-1}$, осевая нагрузка около 180 кН, так как повышение частоты вращения долота приводит к снижению проходки на долото и повышению стоимости метра бурения.

Оптимальные параметры режима бурения, выбор которых осуществляется по минимуму стоимости метра проходки, как правило, соответствуют наиболее эффективному процессу разрушения горных пород, характери- зующимуся минимальными затратами энергии на разрушение, высокими значениями механических скоростей бурения и эффективным ресурсом бурового инструмента.

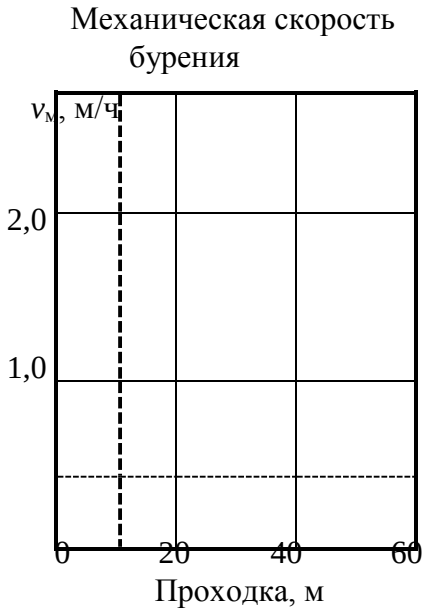


Рис. 1.13. Зависимость стоимости 1 м бурения от проходки и механической скорости бурения

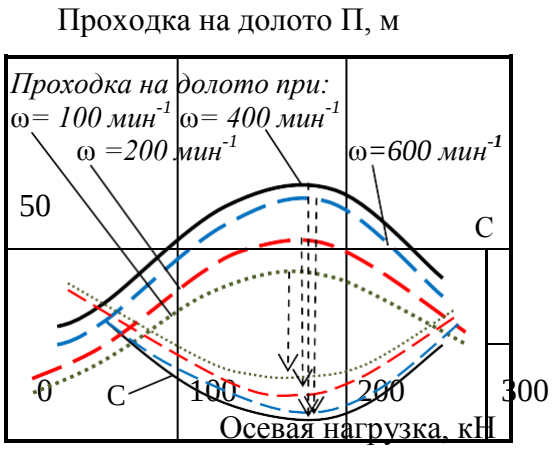


Рис. 1.14. Зависимости проходки на долото П и стоимости метра проходки на долото С от параметров режима бурения

Пример 1. При бурении на месторождении используются двухшарошечные долота типа ДДА-59 и трехшарошечные долота типа 3Ш-59К- ЦА. При равной стоимости – 3 000 рублей за долото, эти долота показывают различную механическую скорость – 12 и 9 метров в час и ресурс – 9 и 12 м соответственно. Стоимость станкосмены продолжительностью 8 ч – 32 000 руб. Время бурения в общем балансе затрат времени на производство работ – 50 %.

Рассчитаем стоимость метра бурения долотом ДДА-59:

$$C = \frac{32\,000 \cdot 1}{8 - 4 \cdot 3\,000} + \frac{8 - 4 \cdot 3\,000}{2\,52} = 2\,52$$

Аналогично рассчитаем стоимость метра бурения трехшарошечными долотами. В этом случае стоимость метра бурения составит 2 010 руб.

Для повышения эффективности бурения долотами ДДА произведена их модернизация путем размещения двух гидромониторных насадок (работы выполнены Иркутским отделением ВИТР). Стоимость долот, получив- ших обозначение ДДА-С, повысилась до 3 500 руб. Испытания показали, что достигнут рост механической скорости на 20 % – (14 м/ч) и проходки на долото на 40 % – (12 м).

Стоимость метра бурения долотом ДДА-С составила 1 897 руб., что подтвердило эффективность модернизации долот в сравнении со стандартным инструментом.

Пример 2. При бурении на месторождении применяют снаряд со съемным керноприемником (КССК). Длина керноприемника 4,5 м, что задает значение рейсовой проходки $l_р$ = 4,5 м. Ресурс буровой коронки 50 м, её стоимость 5 000 руб. Механическая скорость бурения 4,5 м/ч. При стоимости станко-смены 32 000 руб., длительности смены 8 ч и затратах времени непосредственно на бурение 6 часов стоимость метра скважины будет равна:

$$C = \frac{32\,000 \cdot 1}{8 - 6 \cdot 5\,000} + \frac{8 - 6 \cdot 5\,000}{4,5 \cdot 4,5 \cdot 50} = 2\,740 \text{ руб.}$$

Ограничение длины рейсовой проходки до 2,5 м в связи с заклиниванием и истиранием керна при бурении трещиноватых пород привело к повышению непроизводительных затрат и снижению времени, затрачиваемого на бурение до 5 ч, ресурса инструмента до 40 м и механической скорости бурения до 4 м/ч, что следующим образом отразилось на повышении стоимости метра:

$$C_м = \frac{32\,000 \cdot 1}{8 \cdot 4} + \frac{8 - 5 \cdot 5\,000}{2,5 \cdot 40} = 5\,925 \text{ руб.}$$

Таким образом, влияние рейсовой проходки и ресурса бурового ин- струмента наиболее значительно при формировании затрат на бурение.

При бурении скважины буровым снарядом без съемного керноприемника произойдет рост затрат времени на проведение спуско-подъемных операций (СПО) и

снижение доли времени $T_б$.

При бурении неглубоких скважин (до 200–250 м) при прочих равных условиях в сравнении с КССК или ССК это не приведет к значительному росту стоимости метра бурения, но может отразиться на качестве керна и, соответственно, на стоимости бурения, если, например, для повышения сохранности керна при бурении потребуется несколько ограничить длину рейсовой проходки.

При проходке более глубоких скважин (250–300 м) затраты на бурение снарядом со съемным керноприемником будут значительно ниже, даже при большей длине керноприемной части колонкового набора. Например, если время бурения $T_б$ будет равно 3 ч, при длине колонковой трубы 6 м, то при сохранении значений всех остальных данных, использованных в первом расчете, стоимость метра бурения

$$C_м = \frac{32\,000 \cdot 1}{8 \cdot 4{,}5} + \frac{8-3}{6} + \frac{5\,000}{50} = 4\,300 \text{ руб.}$$

Если для повышения сохранности керна в колонковой трубе потребуется ограничить длину рейсовой проходки, это приведет к еще более значительному росту стоимости метра бурения. Например, если длина рейсовой проходки будет равна рейсу при бурении КССК – 4,5 м, то стоимость метра бурения составит

$$C_м = \frac{32\,000 \cdot 1}{8 \cdot 4{,}5} + \frac{8-3}{4{,}5} + \frac{5\,000}{50} = 5\,2$$

руб.

При последних расчетах не учтено, то обстоятельство, что при проведении СПО, особенно в наклонных и искривленных скважинах, снижается ресурс как бурового снаряда, так и дорогостоящего бурового инструмента вследствие изнашивания о стенки скважины при подъеме и спуске. Опыт буровых работ показывает, что изнашивание буровых коронок и долот, расширителей, калибраторов в процессе спускаподъема может быть очень велик. Другой эффект от применения снарядов со съемным керноприемником состоит в том, что при спуско-подъемных операциях перепады давления промывочной жидкости, вызванные перемещением снаряда вызывают разрушение стенок скважины и их обваливание, соответственно сокращение операций СПО способствует сохранению ствола скважины без каких-либо дополнительных технологических операций. По этим причинам расчетная стоимость метра бурения снарядом без съемного керноприемника может быть еще выше. Соответственно, будут еще более значительны аргументы в пользу выбора для производства работ снарядов со съемным керноприемником, особенно если учесть, что в настоящее время отечественными и зарубежными производителями предлагаются буровые коронки, ресурс которых может составлять не десятки, а сотни метров.

1.4. Разрушение горных пород буровым инструментом с резцами из твердого сплава

При вращательном бурении разрушение рыхлых, мягких и горных пород средней твердости, пластичных и упругопластичных успешно осуществляется резанием или резанием-скалыванием буровыми коронками или долотами, вооруженными твердосплавными резцами.

При разрушении горных пород реализуются:

- резание, т. е. непрерывное отделение пластичной породы или стружки кромкой прижатого к забою резца;
- скалывание, т.е. периодическое отделение осколков породы от забоя прижатым к породе с достаточным осевым усилием резцом или путем приложения ударного импульса к резцу;
- резание-скалывание, т. е. отделение крупных частей породы скалыванием или отрывом передней гранью резца с последующим срезанием мелких выступов до нового акта скалывания.

1.4.1. Твердые сплавы и их свойства

Твердосплавный породоразрушающий инструмент армируют главным образом спеченными твердыми сплавами различной формы и размеров.

Наплавочные твердые сплавы используют для повышения износостойкости лопастных долот режущего типа, шарошечных долот для бурения мягких горных пород и средней твердости, специальных коронок для вращательного бурения и башмаков обсадных колонн. Преимуществом наплавочных материалов является возможность многократного восстановления бурового инструмента. Основной материал для наплавок – релит, который характеризуется невысокой, в сравнении со спеченными твердыми сплавами, твердостью и износостойкостью.

Для армирования бурового инструмента используют в основном спеченные вольфрамокобальтовые твердые сплавы типа ВК, которые имеют большую твердость, сочетающуюся с высокой износостойкостью при нагреве до 1000°. Сплавы ВК почти не подвергаются заметной деформации, имеют большую прочность на сжатие, но в то же время обладают невысокой прочностью на изгиб и растяжение, небольшой ударной вязкостью.

Спеченные твердые сплавы состоят из карбида вольфрама WC и кобальта Co в различных процентных отношениях. Карбид вольфрама придает сплаву значительную твердость и износостойкость. Он не магнитен, имеет высокую теплопроводность и весьма хрупок.

Кобальт – ковкий и вязкий металл, в расплавленном состоянии он хорошо смачивает зерна карбида вольфрама и при затвердении прочно связывает их.

Спеченный сплав типа ВК3, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15, ВК20, ВК25 изготавливают из порошковой смеси карбида вольфрама и кобальта путем прессовки в специальных графитовых пресс-формах и спекания при температуре ниже температуры плавления карбидов.

Цифры в марке сплава соответствуют процентному содержанию кобальта, в зависимости от которого сплавы отличаются прежде всего прочностью на изгиб, плотностью и твердостью.

Прочность на изгиб у сплава ВК3 составляет 1 100 МПа (минимальная), у сплава ВК25 – 2 000 МПа (максимальная). При этом более твердым является сплав ВК6 – 90 МПа. Твердость сплава ВК25 – 82 МПа.

Твердость сплава возрастает с увеличением содержания карбида вольфрама и уменьшением размеров его зерен. По структуре сплавы разделяются на мелко-, средне- и крупнозернистые. Мелкозернистые сплавы с размером зерен 1 мкм имеют индекс «М», крупнозернистые с размером зерен до 3–5 мкм индекс «В», среднезернистые – зерно 1–2 мкм не имеют индекса.

При увеличении содержания кобальта и зернистости возрастает ударная вязкость сплава. Предел прочности резцов из твердых сплавов может быть существенно повышен упрочнением, например охлаждением в азоте или алмазным шлифованием. Алмазное шлифование удаляет с поверхности резцов дефектный слой, что существенно повышает предел прочности сплава на изгиб и ударную вязкость на 20–50 %, ударную дол-

говечность в 10 раз.

С учетом основных физико-механических свойств среднезернистые и крупнозернистые сплавы с малым содержанием кобальта применяют для армирования инструмента, работающего в условиях безударных нагрузок, т. е. бурового инструмента для вращательного бурения. Сплавы со средним и высоким содержанием кобальта используют для армирования инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок, т. е. инструмента для ударно-вращательного бурения и шарошечных долот, предназначенных для бурения пород высокой твердости. Эти сплавы обладают наибольшей прочностью, но они менее износостойки.

Более высокие и сбалансированные характеристики имеют сплавы *DP* компании *Sandvik*. Они за счет слоистой структуры, при которой максимальной твердостью вставка обладает на поверхности и в центре, а средний слой характеризуется высокой вязкостью, сочетают высокую прочность, ударную вязкость и твердость поверхности.

Основной проблемой нанесения наплавочных твердых вольфрамкобальновых сплавов является так называемая *температурная деградация*, которая заключается в значительном снижении твердости покрытия вследствие действия высоких температур.

Решение данной проблемы связано с применением тонких электродов, расплавляющихся при меньшей температуре и за меньший временной интервал, что в результате снижает температуру и время наплавления твердого сплава на поверхность бурового инструмента. В результате применения такой технологии уменьшается отрицательное влияние высокой температуры на качество и прочность твердого сплава.

Другим направлением повышения качества упрочнения поверхностей буровых инструментов твердыми сплавами является применение технологии порошковой металлургии. В этом случае достигается качество покрытия, соответствующее прочностным характеристикам твердосплавных вставок.

1.4.2. Основные типы бурового инструмента, вооруженного твердосплавными резцами

Твердосплавные коронки предназначены для колонкового вращательного бурения скважин в мягких и средней твердости горных породах подразделяются на три типа:

- для бурения мягких пород (ребристые, крупнорезцовые) – тип М;
- малоабразивных пород средней твердости (гладкостенные резцовые) – тип СМ;
- абразивных пород средней твердости (гладкостенные, микрорезцовые или самозатачивающиеся) – тип СА.

Эффективность работы коронки во многом зависит от угла заточки α переднего угла $\gamma_п$, угла поворота резцов, их числа и расположения резцов относительно друг друга.

Угол α выбирают в зависимости от характера проходимых пород: чем тверже порода, тем этот угол больше (см. рис. 1.15). Для пород средней твердости рациональным является прямой угол резания α, для мягких – 75–80о. Выход резцов за пределы наружного f2 и внутреннего f1 контура корпуса зависит от твердости пород: 0,75–1,0 мм – при бурении пород средней твердости и твердых и 3–6 мм для бурения мягких пород.

Размер резца (выступание резца над торцом коронки) также зависит от твердости горных пород и для горных пород средней твердости и твердых составляет 1,5–2,5 мм и 3–7 мм – мягких пород.

Разворот резцов относительно радиуса коронки на угол $\varphi_р$ = 10–15° повышает их сопротивляемость сколу вследствие динамических нагрузок, характерных для бурения трещиноватых, твердых горных пород и пород с включением обломков – брекчий и конгломератов. При этом внутренние резцы размещают с поворотом внутрь коронки, а наружные в направлении внешнего диаметра (рис. 1.15, *б*).

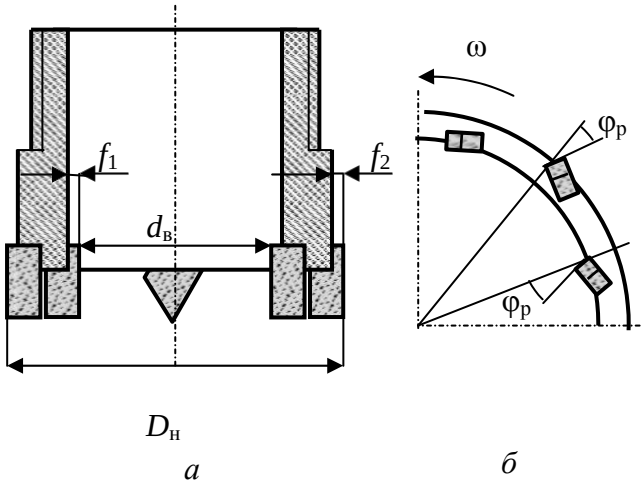


Рис. 1.15. Схема вооружения твердосплавной коронки: *а* – вид сбоку в разрезе; *б* – размерещение резцов на торце коронки с поворотом на угол $\varphi_р$ в фронтальной плоскости резания-скалывания

Для бурения твердых и абразивных пород средней твердости применяют резцы с небольшой площадью сечения, которые в процессе работы самозатачиваются.

Эффективно работают резцы в коронке, конструкция которой обеспечивает ступенчатую форму разрушения забоя, так как наличие дополнительных обнаженных поверхностей забоя способствует более эффективному разрушению породы. Как следует из опытных данных, механическая скорость бурения при ступенчатом забое может быть в 1,9 раза выше, чем при плоском.

Коронка с плоскими поверхностями (рис. 1.16, *а*) используется с буровыми снарядами типа *GEOBOR S* для бурения в рыхлых породах. При бурении такими коронками разрушенная порода гранями резцов направляется в стороны, что, в свою очередь, приводит к снижению заклинивания керна.

Коронки с восьмигранными вставками (рис. 1.16, *б*) имеют угол наклона режущих поверхностей 10º. Вставки выполнены из износостойкого сплава ВК. В процессе эксплуатации они могут многократно затачиваться.

Коронка *Corborit* (рис. 1.16, *в*) имеет чрезвычайно шершавую многогранную рабочую поверхность, полученную при спекании матрицы, состоящей из зерен карбида вольфрама и специального сплава, который, расплавляясь, связывает зерна карбида W. Матрица коронки разделена промывочными каналами. Размер зерен карбида вольфрама от 2 до 5 мм. Матрица коронки разделена промывочными каналами. Размер зерен карбида вольфрама от 2 до 5 мм. Коронка предназначена для бурения мягких, средней твердости и твердых горных пород.



Рис. 1.16. Твердосплавные коронки компании *Atlas Copco*

В процессе бурения коронка с подобным вооружением обладает большим количеством режущих кромок, вступающих в контакт с породой, что позволяет снизить вибрирование в процессе резания-скалывания. Она может применяться для бурения горных пород средней твердости с пропластками твердых горных пород.

Лопастные долота предназначены для бурения в основном мягких и пластичных

горных пород. Лопастные долота подразделяются по количеству рабочих органов в виде лопастей: на одно-, двух-, трех-, четырех-, шести- и многолопастные.

Достоинствами лопастных долот является простота конструкции, отсутствие подшипниковых узлов, крайне уязвимых для абразива, сравнительно низкая стоимость долот при достаточно высоком ресурсе (в мягких породах сотни и тысячи метров).

Недостатки лопастных долот – это интенсивная потеря диаметра долота и износ режущих элементов, работающих при высокой температуре, а также необходимость приложения большого крутящего момента, что особенно сложно обеспечить при бурении забойными двигателями и большом диаметре долот.

Однолопастные долота подразделяются на долота типа Ц, Р и пикобуры.

Долота типа Ц предназначены для разбуривания цементных пробок после цементирования обсадных колонн.

Долота типа Р используют для расширения ствола скважины и его проработки.

Пикобуры для бурения неглубоких скважин в песчано-глинистых породах.

Двухлопастные долота – для бурения преимущественно пластичных и мягких горных пород при относительно небольшой мощности привода.

Долота этой разновидности изготавливаются обычно в малых размерах, диаметром от 93 до 165,1 мм.

Двухлопастные долота выпускают двух типов: М и МС.

Долото трехлопастной конструкции (рис. 1.17) наиболее широко используются при бурении и представлены в самом широком ассортименте.

Их применяют в скважинах различного назначения и с разными типами привода, как забойного, так и роторного (верхний привод). Трехлопастные долота могут выпускаться с обычными промывочными каналами (обычно тремя) и тремя каналами с гидромониторными насадками.

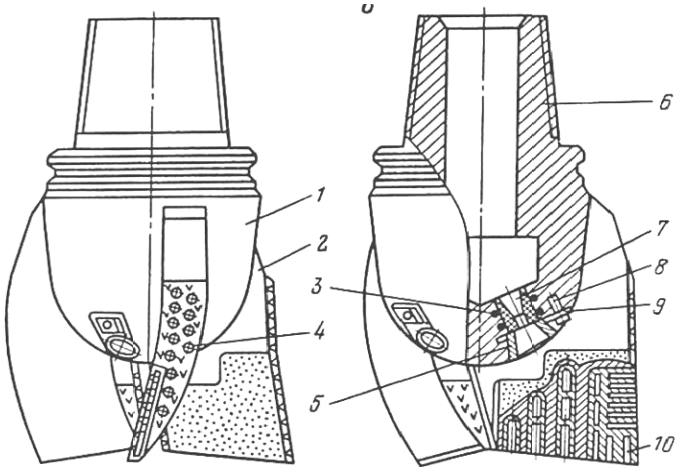


Рис. 1.17. Трехлопастное долото

Долото (рис. 1.17) имеет корпус *1*, лопасти *2*. Боковые поверхности лопастей *2* армируются твердосплавными штырями *3* и релитом, в проме

жутках между штырями. Сопло *7* гидромониторной насадки изготавливают из керамики и устанавливают, герметизируя уплотнительными резиновыми кольцами *4*. Сопло *7* удерживается в гнезде шайбой *5*, которая закрепляется стопорной шайбой *9* при помощи винта *8*. Для соединения с колонной у долота выполняется ниппельная резьба 6. В лезвиях лопастей *2* имеются пазы *10*, в которые укрепляются основные режущие элементы: твердосплавные пластины (долото типа М) или дробленые осколки (долото типа МС).

Долота типа М и МС в модификации с обычным промывочным каналом (пример обозначения 3Л-215,9 МС) выпускаются размером от 120,6 до 444,5 мм, а долота со струйной промывкой (пример обозначения 3ЛГ-244,5М) – диаметром от 190,5 до 444,5 мм.

1.4.3. Разрушение горных пород буровым инструментом с резцами из композиционных алмазосодержащих и поликристаллических алмазов

Для создания бурового инструмента резцового типа могут использоваться композиционные материалы, содержащие отдельные алмазные зерна в металлической и металлокерамической матрицах, к ним относится созданный в 1967 г. материал славутич.

Результаты испытаний показали, что с увеличением размеров алмазных зерен разрушающая нагрузка на них при бурении растет, а предел прочности резко снижается (рис. 1.18). Поэтому применение крупных алмазов, диаметр которых более 1,5 мм, может приводить к интенсивному разрушению резцов. Славутич представляет собой крупный алмазосодержащий резец, который обладает более высокой прочностью, чем крупный алмаз, так как состоит из мелких фракций алмаза, соединенных при спекании с порошковой шихтой твердосплавной основы.

Породоразрушающие вставки изготавливают формованием с последующим спеканием. На рис. 1.19, *а* показана отформованная композиция перед спеканием. Наружная оболочка вставки *1*, окружающая алмазосодержащую композицию *2*, не содержит алмазов. Спекание производится при температуре 1 400–1 460 °С.

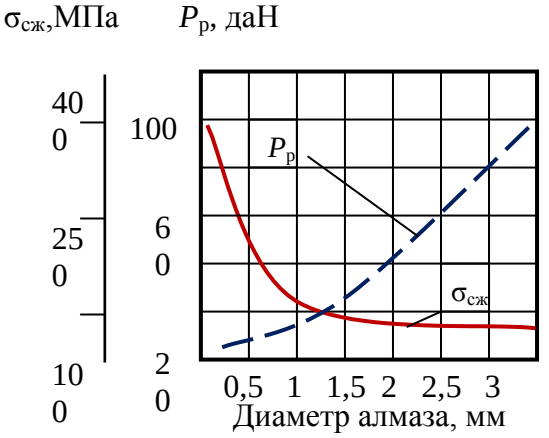


Рис. 1.18. Зависимости предела прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ и разрушающей нагрузки $P_р$ от размера алмазов

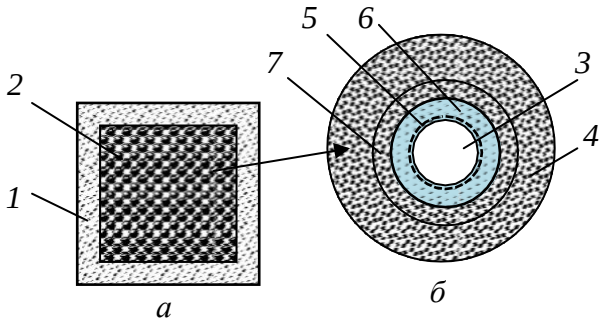


Рис. 1.19. Отформованная вставка славутича (*а*) и структура материала (*б*): *1* – твердо- сплавная оболочка; 2 – алмазосодержащая твердосплавная композиция; *3* – алмаз; *4* – твердый сплав; *5* – зона пластичного материала; *6* – зона контактного взаимодействия алмаза и твердого сплава; *7* – зона твердого сплава повышенной прочности

Выполненные исследования показали, что с увеличением температуры нагрева алмазы активно взаимодействуют с окружающими их металлами, образуя твердые растворы или карбиды. Поэтому при температуре спекания порошка твердого сплава *1*, в котором равномерно распределены алмазы *3*, образуется новая композиционная структура *2*. Алмаз при спекании частично растворяется по контакту с порошком твердого сплава, что приводит к образованию зон контактного взаимодействия 6, пластичного материала *5* и твердого сплава повышенной прочности *7* (рис. 1.19, *б*). Благодаря этому достигается прочное соединение алмаза с твердым сплавом и, таким образом, образуется новый сверхтвердый материал. Данные микроанализа позволили установить, что толщина зоны контактного взаимодействия составляет 4–5 мкм.

Внедрению славутича в промышленность способствовали его высокие эксплуатационные качества, в сравнении с крупными природными алмазами. Не уступая крупным природным алмазам в износостойкости, славутич значительно превосходит их по прочности. Стоимость славутича значительно ниже, чем стоимость крупных природных алмазов. При этом, если применение крупных алмазов для создания бурового инструмента имеет свои ограничения, ввиду их прочности (рис.1.18) и стоимости, то изделия из славутича могут быть изготовлены любых форм и размеров.

Для оснащения бурового инструмента изготавливаются вставки цилиндрической формы с плоским, сферическим и клиновидным рабочими торцами (рис. 1.20). С целью более рационального использования славутича породоразрушающие вставки выполняются с подложкой из твердого сплава. К корпусу бурового инструмента вставки славутича крепятся припаиванием специально подобранным припоем, включающим цинк, фосфор, железо и медь. Пайка осуществляется путем высокочастотного нагрева аппаратом СВЧ.

Для бурения скважин на нефть и газ выпускается различный буровой инструмент типа ИСМ. Это долота режущего (для мягких пород) и микрорежущего типа (для твердых пород), колонковые долота, калибраторы-стабилизаторы, долота для направленного бурения.

На рис. 1.21 показано долото ИСМ для бурения скважин большого диаметра, предназначенное для зарезания нового направления ствола скважины с искусственного (цементного) забоя при многоствольном бурении. На рис. 1.21 обозначено: *1* – корпус долота; *2* – вставки типа «славутич»; *3, 4, 5* – промывочные отверстия и каналы.

Для бурения геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые вставки из славутича могут использоваться в коронках для бурения твердых пород и средней твердости.

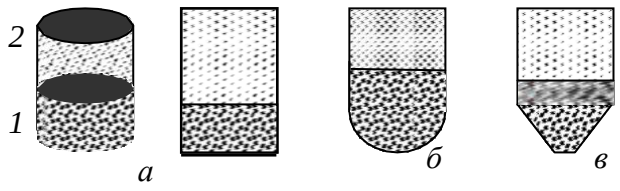


Рис. 1.20. Вставки из славутича:
а – цилиндрическая плоская,
б – сферическая и *в* – клиновидная;
1 – слой славутича;
2 – слой твердого сплава ВК.

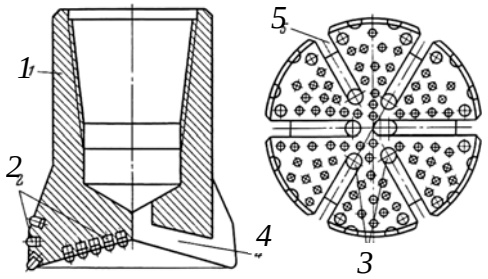


Рис. 1.21. Долото ИСМ с резцами из твердосплавноалмазного композита типа «Славутич».

Коронки типа БСС и БСИ оснащены вставками славутича в подрезном слое на торце коронки, а коронки БС как в торцевом, так и подрезном слое.

Коронки БС различных типов применяются для бурения горных пород средней твердости и твердых.

Кроме коронок с использованием славутича изготавливают также долота и расширители.

При бурении горных пород средней твердости и мягких резцы внедряются в горную породу на глубину, существенно превышающую величину выпуска алмазов из вставки, и единичным резцом следует считать вставку из материала славутич в целом.

Параметры режима бурения буровыми инструментами с резцами славутич выбирают аналогично методикам выбора параметров режима бурения резцовым инструментом при бурении мягких и средней твердости горных пород и определения параметров бурения твердых горных пород алмазным инструментом. Основными данными при выборе параметров режима бурения в данном случае будут физико-механические свойства горных пород и их состояние, а именно: твердость, трещиноватость, слоистость, абразивность и другие признаки, несколько ограничивающие значения частот вращения и осевых нагрузок на инструмент.

1.4.4. Буровые инструменты с резцами из твердых материалов с поликристаллическими алмазами

Другой вариант изготовления алмазосодержащих твердых материалов состоит в создании спеканием либо прессованием поликристаллических алмазов, которые отличаются от композиционных алмазосодержащих материалов типа славутич наличием жесткого каркаса из сросшихся алмазных зерен. К таким материалам, получившим название *PDC (poli- cristalline diamont cutters)*, относится созданный в 1976 г. компанией *Gen- eral Electric* (США) материал *Stratapax*. Компания *De Beers* (ЮАР) выпускает его под названием *Sindet.*

Эти материалы, как показали исследования, не уступают по эксплуатационным качествам крупным природным алмазам и получили широкое распространение. С применением сверхтвердых материалов изготавливаются долота, коронки, расширители, которые успешно заменяют шарошечные долота, твердосплавные коронки, традиционный алмазный инструмент с резцами из природных алмазов, обеспечивая высокий ресурс бурового инструмента. Резцы с пластинами *Stratapax* способны бурить как мягкие породы с высокой механической скоростью, так и твердые с удовлетворительными механической скоростью и стойкостью бурового инструмента. Именно поэтому буровые инструменты, армированные пластинами *Stratapax*, наиболее эффективны при бурении в разрезах, представленных породами перемежающейся твердости и при наличии высокоабразивных горных пород. Таким образом, с появлением резцов с пластинами *Stratapax* удалось получить универсальный буровой инструмент, удовлетворяющий достаточно противоречивым требованиям процесса разрушения мягких пород резанием и твердых пород резанием-скалыванием и раздавливанием. В бурении используются твердосплавные пластины *Stratapax* толщиной 3,5 мм с поликристаллическим покрытием алмазов 0,5 мм. Алмазный слой состоит из спеченных между собой кристаллов размером 60–150 мкм. Твердость пластин, измеренная на приборе ПМТ-3, составляет 50–80 ГПа. Твердосплавная подложка пластины состоит из твердосплавной шихты, содержащей 95 % карбида вольфрама и 5 % кобальта. Формование пластин осуществляется либо спеканием, либо прессованием.

Пластина *Stratapax* получается при совместной обработке отдельных заготовок поликристаллических алмазов и твердого сплава при температуре 1 500°, давлении 5 ГПа и выдержке 5–10 мин. В результате алмазный слой синтезируется в виде однородной поликристаллической массы, образующей целое с твердосплавной подложкой и

обладающей очень высокой твердостью, износостойкостью и ударной прочностью.

Фирма *De Beers* выпускает материал *Sindit* в виде двухслойных пластин, состоящих из алмазного слоя толщиной 1–1,5 мм и твердосплавной подложки. Специалисты ВНИИалмаз (Россия) разработали несколько марок поликристаллических алмазов на подложке. Материал АТП (алмазные твердосплавные пластины) применяется преимущественно для оснащения бурового инструмента.

Сравнение эксплуатационных свойств *PDC*, природных алмазов и твердого сплава с содержанием кобальта 6 % свидетельствует о том, что основные свойства поликристаллических алмазов сопоставимы с природными.

Существенное колебание твердости природных алмазов объясняется анизотропией их структуры, тогда как кристаллы искусственных поликристаллических алмазов изотропны, т. е. физико-механические свойства кристаллов одинаковы во всех направлениях. Это способствует повышению прочности и износостойкости синтетических алмазов. По сравнению с твердым сплавом прочность синтетических поликристаллических алмазов на сжатие выше на 70 %, а твердость на 250 %. Износостойкость пластин *Stratapax* выше, чем природных алмазов, и в 100–150 раз превышает износостойкость твердого сплава. Основные характеристики пластин типа *Stratapax*, природных алмазов и твердого сплава ВК6 приведены в табл.1.2.

Таблица 1.2

Сравнительные данные физико-механических
и эксплуатационных свойств сверхтвердых материалов

Свойства материалов	Поликристал-лический алмаз	Природный алмаз среднего размера	Твердый сплав ВК6
Модуль упругости, ГПа	841	964	630
Модуль жесткости, ГПа	345	400	250
Коэффициент Пуассона	0,32	0,2	0,2
Прочность на растяжение, ГПа	1,29	2,6	1,8
Прочность на сжатие, ГПа	7,61	8,68	4,5
Прочность на изгиб, ГПа	1,1	–	4,9
Твердость HRC, ГПа	50	30–80	20
Коэффициент относительной износостойкости	200–300	100–245	2

Резцы из поликристаллических алмазов состоят из слоя алмазов *1*, твердосплавной подложки *2* и корпуса резца *3* (рис. 1.22). Для повышения прочности соединения алмазного слоя *1* с твердосплавной основой *2* последняя выполняется не плоской, а рифленой, с насечками, а для снижения скалывания края пластин, кромки выполняются скошенными.

При изготовлении резцов пластины *PDC* крепятся диффузионной сваркой при высоких температуре и давлении. Перед соединением поверхность пластинок покрывают тонким слоем никеля.

В буровом инструменте резцы с поликристаллическими пластинами устанавливают с отрицательным передним углом $\gamma_п$ в пределах от –5 до $–25^o$ в зависимости от твердости горных пород. В инструментах, предназначенных для бурения более твердых горных пород, передний отрицательный угол задается бо̀льшим, что позволяет снизить динамическую составляющую разрушения горной породы, возрастающую при резании-скалывании твердых горных пород.

В настоящее время долота со вставками *PDC* очень широко применяются при бурении скважин на нефтяных и газовых месторождениях всего мира, особенно при проходке вертикально-горизонтальных стволов по продуктивным горизонтам, бурении мягких и средней твердости горных пород с прослоями твердых.

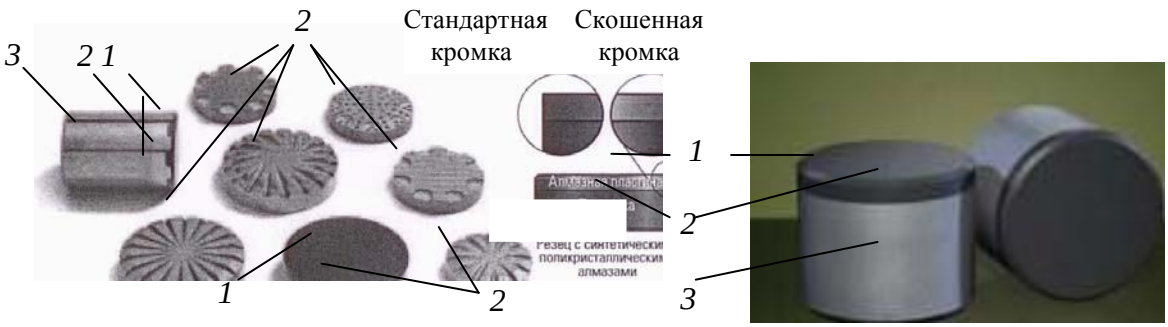


Рис. 1.22. Виды пластинок и резцов PDC и возможные формы:
1 – поликристаллические алмазы; *2* – подложка из твердого сплава; *3* – корпус резца

Примером наиболее современных среди созданных в настоящее время инструментов, являются долота компании *Tough-Drill™ Varel PDC.* Диаметр долот варьирует от 88,9 до 469,9 мм и они изготавливаются как в матричном исполнении, так и со стальным торцом (диаметр от 215,9 до 660,4 мм). Данные долота разработаны для бурения различных по твердости горных пород, в том числе и твердых. Они обеспечивают высокую скорость бурения и высокий ресурс в абразивных и твердых породах из-за высокоэффективных вставок *PDC*, улучшенной гидравлики очистки и охлаждения резцов долота. Улучшенные качества долот обеспечивают так же снижение износа, устраняется повторное перемалывание разрушенной породы, устраняются возможные зоны скопления шлама.

Для проектирования резцов и долот разработчиками используются современные компьютерные технологии инженерного проектирования на основе метода конечных элементов типа *Nastran, Patran, Ansys*.

Подразделение *Smith Bits* компании *SMITH* разработало интегрированную инженерно-аналитическую систему *IDEAS*, в которой рассматривается работа резца в динамической среде бурения с учетом влияния всех компонент буровой компоновки. Основной задачей *IDEAS* является производство оптимальных по эффективности конструкций долот и значительное сокращение времени цикла разработки инструмента.

Моделирование в системе *IDEAS* начинается с анализа показателей работы долота, геологических условий, условий бурения и износа долота. На основании этой информации разрабатываются и выполняются лабораторные испытания взаимодействия резцов с различными породами. По сравнению с другими системами проектирования долот, позволяющими оценить лишь взаимодействие резцов с породой, лабораторные данные из системы *IDEAS* представляют количественные параметры по фактическим усилиям на резцах и скоростям бурения. Информация используется для анализа конструкций долота с учетом литологических особенностей, аналогичных тем, для которых проектируется долото.

В результате получается буровое долото, обладающее динамической стабильностью при рабочих параметрах и условиях эксплуатации, для которых оно предназначено, что способствует увеличению срока службы и повышению скорости проходки. Оптимизированные параметры могут поддерживаться для обеспечения более быстрой и продолжительной работы долота при снижении нагрузки на компоновку и оборудование буровой установки.

Программа четырехмерного моделирования *i-Drill* как составная часть системы *IDEAS* при помощи метода конечных элементов и данных, полученных в ходе лабораторных исследований свойств горных пород с использованием сверхмощных вычислительных машин, позволяет прогнозировать поведение долота в скважине с учетом работы буровой компоновки.

Модель, построенная с помощью синхронизированного по времени моделирования с шестью степенями свободы, достаточно точно прогнозирует силы и вибрации, которые часто оказывают решающие воздействие на отклоняющее усилие на долоте, срок службы

забойных датчиков, целостность бурильной колонны и эффективность процесса бурения в целом.

Возможность выявления источника крутильных, осевых и поперечных колебаний позволяет специалистам по бурению и искривлению ствола скважины определить необходимые изменения в компоновке снаряда и оптимизировать режимы бурения. Программа *i-Drill* обеспечивает пометровую оценку прочности бурильной колонны, получаемую измерением момента на изгиб в двух осях. Направление отклоняющих усилий на долоте определяется силами, возникающими на долоте при взаимодействии с породой с учетом динамики всей бурильной колонны.

Компания *Smith Technologies* разработала программу моделирования гидравлики бурения и очистки ствола *Yield Point* с целью оптимизации выбора типа и свойств бурового раствора в соответствии с условиями бурения. После ввода исходных данных программа *Yield Point* выполняет графическое моделирование свойств бурового раствора, скорости движения промывочной жидкости, механической скорости проходки, а также площади сечения гидромониторных насадок, а затем позволяет оценить влияние соответствующих параметров на гидравлические характеристики долота и очистку ствола скважины.

База данных *Smith Bits* (*DRS*) содержит информацию о трех миллионах отработанных буровых долот практически со всех нефтяных и газовых месторождений мира. Помимо того что база данных используется для проектирования, она также позволяет системе оптимизации выбора буровых долот *DBOS* обеспечить правильный выбор долот для эффективного бурения конкретной породы.

Компанией *Varel* разработан собственный программный продукт под названием *SPOT™* для проектирования инструмента. Компьютерное моделирование позволяет оценивать качества долот, их ресурс и производительность в процессе компьютерного тестирования. Улучшенная система очистки забоя обеспечивается установкой направляющих насадок долота, ориентирующих поток жидкости в радиальном направлении горизонтально забою вдоль линии расположения резцов (рис. 1.23). Горизонтальную струю жидкости создают насадки, установленные у центра долота, остальные насадки размещены ближе к периферии торца, направляя поток в направлении забоя. Такая комбинированная система размещения насадок на торце долота обеспечивает качественную очистку забоя и охлаждение резцов.



Рис. 1.23 . Долото компании *Varel* со вставками *PDC*

В компании *Smith bits* используют вычислительную гидродинамику (*CFD*) для моделирования взаимодействия бурового раствора с долотом и стволом скважины (рис. 1.24). Сложные алгоритмы дают возможность воспроизводить широкий диапазон забойных условий, а также позволяют осуществлять оценку влияния конфигурации лопастей и положения насадок на структуру потока с целью оптимизации работы долота и повышения эффективности бурения за счет максимально эффективного использования

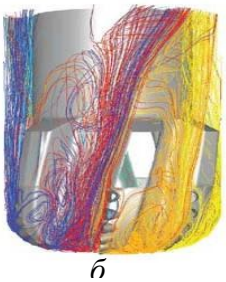
имеющейся гидравлической энергии.

Одна из самых больших проблем применения долот *PDC* – это их недостаточно эффективное использование при бурении твердых пород. При бурении твердых пород возникают повреждения от ударного характера разрушения породы, перегрев и повышенный абразивный износ резцов, поэтому для проходки в твердых породах в основном используются шарошечные и алмазные долота.

Долота *Security DBS* серии *FM*3000 ™ компании *Varel* включают новый вариант износостойкого *PDC*. Эти долота успешно расширяют использование *PDC*-вооружения для бурения кристаллических пород, позволяют получить высокие результаты, как по скорости бурения, так и по ресурсу инструмента (рис. 1.25). Вооружение долота отличается тем, что часть резцов *PDC* выполнены эллипсовидными, а часть – круглыми. Эллипсовидные вставки располагаются на лопастях, занимая значительную часть размера лопасти, но на периферии лопасти резцы имеют круглую форму. Вставка в форме эллипса имеет более высокие значения контактных напряжений в породе по сравнению с круглым резцом и более значительное заглубление в породу. Удлиненная форма резца увеличивает ресурс вставки. В результате долота с эллипсовидными вставками *PDC* обеспечивают эффективное бурение более твердых горных пород при сравнительно более низких значениях осевого усилия.



а



б

Рис. 1.24. Визуализация образа в системе анализа гидродинамики долот при компьютерном проектировании: *а* – вид с торца долота; *б* – вид сбоку

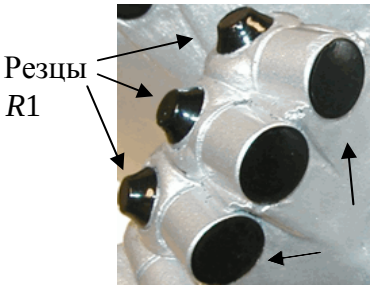


Рис.1.25. Вооружение долота *Security DBS* серии *FM*3000 ™

Долота *PDC* для бурения твердых пород разработаны с учетом динамики долота. Долота *FM*3000 оснащены в качестве основного резца резцом типа *Z*3™. Резцы Z3 опираются на вторичные *PDC* резцы *R*1, которые оптимизируют глубину резания основными резцами, ограничивая их чрезмерное заглубление в породу при переходе долота из более твердых пород к мягким породам, когда действующие осевые нагрузки оказываются чрезмерными.

Компания *Smiht Bits*, учитывая особенности износа пластин *PDC*, разработала долота с резцами *ONYX 360 и ONYX II*, которые установлены в наиболее нагруженных частях торца долота с возможностью вращения в процессе бурения на 360° (рис. 1. 26). Бурение абразивного песчаника долотами *ONYX 360* показало рост ресурса долота на 57 %, а скорости бурения на 26 %.



Рис. 1.26. Резцы ONYX 360

Компанией Волгабурмаш (ВБМ) разработано и освоено производство долот *PDC* диаметром от 83 до 444,5 мм для бурения мягких, мягких с пропластками средних по твердости; средних и средних по твердости с пропластками твердых горных пород.

По области применения долота *PDC* компании ВБМ подразделяются на две линии:

FD – долота для бурения сплошным забоем вертикальных и наклонно-направленных скважин (рис. 1.27, *а*, *б*, *в*); *BD* – бицентричные долота для бурения с одновременным расширением ствола скважины (рис. 1.28).

Долота *PDC* обладают высокой износостойкостью, что по сравнению с трехшарошечными долотами обеспечивает кратное увеличение проходки при более высокой механической скорости бурения. Долота *PDC* компании ВБМ оснащены твердосплавными или комбинированными насадками, ориентированными так, чтобы максимально обеспечить баланс потоков бурового раствора для очистки долота и забоя.



а *б*

Рис. 1.27. Долота *PDC* («Волгабурмаш») марки *FD* – конструктивные особенности – спиральная форма лопастей и установка зубков *PDC* на калибрующей части долота:
а – долота диаметром 214,3 мм – оснащены резцами обратной проработки; *б* –долото диаметром 215,9 мм – оснащены антивибрационной защитой долота



Рис. 1.28. Долото компании ВБМ марки *BD* для бурения с одновременным расширением ствола нефтяных и газовых вертикальных и наклонно- направленных скважин

Конструктивные особенности долот типа *FD* компании «Волгабурмаш» заключаются в следующих решениях (рис. 1.29):

- спиральная лопасть долота, что обеспечивает более высокую их прочность, большее число вставок на лопасти и позволяет обеспечивать более плавный режим работы долота и высокую управляемость при на правленном бурении (рис. 1.29, *а*);

- установка зубков *PDC* на калибрующей части лопастей, что обеспечивает более высокую износостойкость долот, сохранение диаметра скважины (рис. 1.29, *б*);

- антивибрационная защита долота обеспечивает плавный режим работы, повышение его ресурса (рис. 1.29, *в*);

- оснащение долот резцами обратной проработки обеспечивает при подъеме долота активную проработку и ствола скважины (рис. 1.29, *г*);

- устранение затяжек при сужении

- долото оснащается опорными вставками внутреннего конуса профиля долота, что снижает эффект «врезания» его в породу, дискретный рост крутящего момента и, как следствие, возникновение крутильных колебаний, повышается плавность хода при разрушении породы и управляемость при направленном бурении (рис. 1.29, *д*);

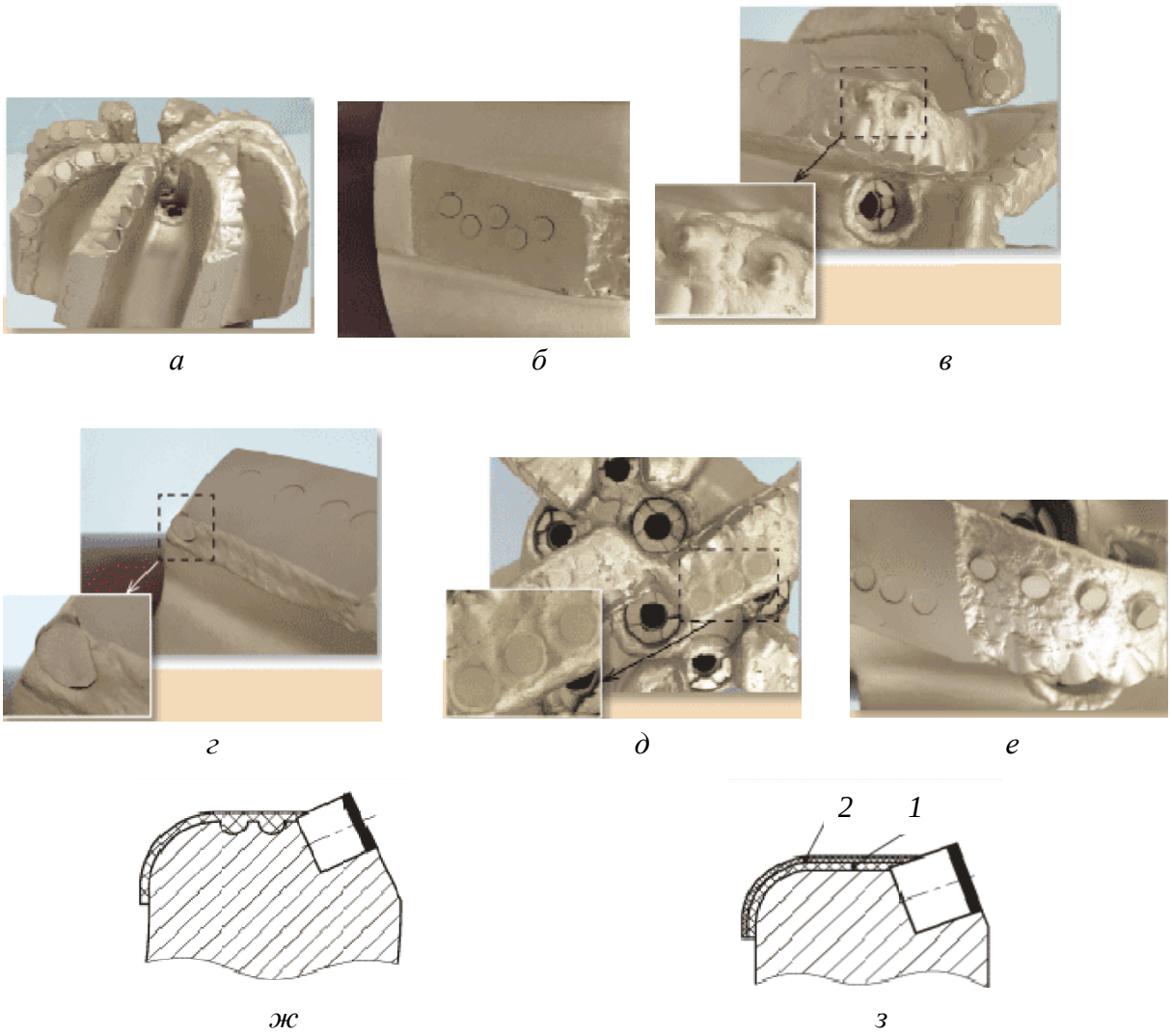


Рис. 1.29. Конструктивные оосбенности долот *PDC* конструкции компании «Волгабурмаш» (ВБМ)

- долото оснащается зубками предварительной деформации породы, которые устанавливаются позади основных резцов и ограничивают врезание этих резцов в породу, одновременно обеспечивают активное деформирование породы, ослабляют ее, что повышает плавность работы долота, его ресурс и управляемость при направленном бурении (рис. 1.98, *е*);

- усиленная наплавка на лопастях долота обеспечивает его высокий ресурс при бурении абразивных пород (рис. 1.29, *ж*);

- двухслойное покрытие корпуса долота дано на рис. 1.29, *з*, где *1* – защитное покрытие из плотной массы ультратвердых вольфрамовых карбидов; *2* – порошковое покрытие, имеющее гетерогенную смесь металлических порошков из пылеобразных матричных компонентов (карбидов вольфрама), выполненное методом газопламенного напыления с одновременным проплавлением, выполняет роль антивибрационного покрытия, обеспечивает сопротивление ударным нагрузкам (покрытие *1*) и защищает долота от изнашивания и эрозии, в том числе и при высокой температуре (покрытие *2*);

- упрочненный корпус долота за счет покрытия сплавом ВК;

- антисальниковое покрытие корпуса долота специальным сплавом снижает налипание породы на корпус и лопасти долота, что положительно сказывается на производительности бурения.

Для бурения мягких пород с целью снижения крутящего момента и улучшения их очистки на торцевой поверхности между основными резцами выполняются концентрические проточки. Такие долота с резцами *PDC* получили название *канавчатые.*

Долота с резцами *PDC* применяют для бурения и с отбором керна (рис. 1.30).



Рис. 1.30. Колонковое
долото с резцами *PDC*

Показатели работы инструмента с пластинами PDC могут составлять в различных горногеологических условиях по механической скорости от 2,3 до 30 м/ч, а по стойкости от 200 до 1 000 м.

Таким образом, при бурении осадочных пород в сравнении с твердосплавным инструментом использование *PDC* позволяет повысить скорость бурения в 1,5–5 раз и стойкость в 5–15 раз. При использовании коронок, оснащенных пластинами *PDC*, при бурении песчаников получена скорость бурения 16 м/ч при стойкости 120–260 м против 3,6 м/ч и 30–60 м у твердосплавных коронок.

При бурении с отбором керна механическая скорость бурения увеличивается по сравнению с однослойными алмазными коронками в 4–5 раз, твердосплавными – до 10 раз.

Коронки с резцами *PDC* способствуют повышению выхода керна. При бурении геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые коронки, армированные пластинами с поликристаллическими алмазами, особенно перспективны в сочетании со снарядами со съемным керноприемником.

Компания *Atlas Copco* выпускает резцовые коронки, вооруженные поликристаллическими алмазными вставками *Diapax* и *Tripax*.

Элемент *Diapax* выполнен в виде пластины с нанесенным слоем алмазов толщиной 0,5 мм, а *Tripax* в виде треугольных или квадратных блоков-резцов.

Коронки с пластинами *Diapax* (рис. 1.31) предназначены для бурения мягких, вязких глинистых, мерзлых грунтов, горных пород средней твердости. В подобных горных породах коронки с пластинами *Diapax* имеют очень высокий ресурс (до 1 000 м) и производительность. Недостатком таких коронок является низкая стойкость к ударным нагрузкам, что делает их непригодными для бурения массива с прослоями твердых горных пород.

При бурении пластины *PDC* изнашиваются по внешней режущей кромке, контактирующей с породой. Получившие односторонний износ пластины *Diapax* могут извлекаться из коронки и вновь устанавливаться с поворотом на некоторый угол, что позволяет восстанавливать инструмент 3–4 раза до полного изнашивания режущих кромок пластин. Суммарный объем бурения пластинами *Diapax* с учетом восстановления инструмента может, таким образом, составлять более 1 000 м.

Режим бурения коронками с пластинами *Diapax* предусматривает частоту вращения 50–80 мин$^{-1}$ и осевую нагрузку 10–20 кН.

Пластины *PDC* для бурения нефтяных и газовых скважин обеспечивают ресурс долот более 1000 м до первой реставрации.

Коронки с режущими вставками *Tripax* компании *Atlas Copco* состоят из поликристаллических алмазных компонентов, имеющих треугольную или квадратную форму (рис. 1.32, *а, б*). Масса вставки *Tripax* составляет 0,3–1,0 карат. Треугольная или квадратная форма создают хорошую режущую кромку и достаточно высокую прочность резца. Коронки со вставками *Tripax* применяются для бурения горных пород средней твердости и твердых. Их ресурс составляет от 50 до 250 м. В породах невысокой прочности ресурс коронок может составить около 1 000 м.

Коронками *Tripax* рекомендуется буритьс частотой вращения 200–300 мин$^{-1}$ и осевым усилием 10–20 кН.

Механизм работы коронок с пластинами *Diapax* и вставками *Tripax* при бурении мягких и пластичных горных пород аналогичен механизму работы твердосплавных резцов с отрицательными передними углами. Отличие может определяться формой резцов, которые чаще всего изготавливаются в виде круглых пластин.

Коронки со вставками *Tripax*, в случае бурения твердых горных пород, разрушают их отдельными алмазами. При этом механизм разрушения близок к процессу разрушения горных пород мелкими резцами алмазного бурового инструмента.

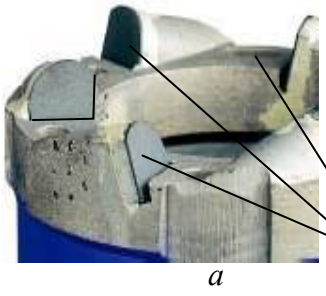


Рис. 1.31. Коронка с поликристаллическими вставками *Diapax* (*а*) и схема вставки (*б* – вид сбоку): *1* – вставка; *2* – отверстия для промывочной жидкости

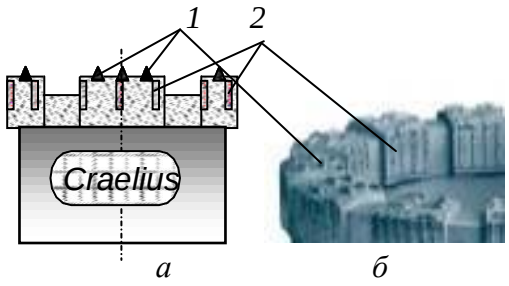


Рис. 1.32. Схема (*а*) и фото (*б*) коронок с элементами *Tripax*: *1* – вставки *Tripax*; *2* – подрезные вставки

Механизм работы резца, оснащенного *PDC* осуществляет разрушение пластичной породы путем резания с большим съемом породы. При этом механизм работы резцов *PDC* при бурении твердых горных пород отличается от механизма работы импрегнированного бурового инструмента, так как существенно зависит от формы и схемы расстановки резцов с пластинами *PDC* в коронке.

Например, исследования по оценке влияния угла поворота резцов *PDC* в фронтальной по отношению к торцу инструмента плоскости показали, что наиболее оптимальным углом поворота $\varphi_р$ будет значение 5–10°. Причем поворот резцов, расположенных по наружной кромке торца, осуществляется в направлении наружного диаметра торца, а резцы, размещаемые по внутреннему периметру торца, поворачиваются внутрь торца коронки (рис. 1.33). При размещении резцов в инструменте с углом $\varphi_р = 0°$ наблюдались заклинка керна и прижог пластин *PDC*. Это свидетельствует о накоплении разрушенной породы перед резцами и недостаточном их охлаждении, поскольку жидкость не попадает в зону контакта пластины *PDC* с горной породой. С целью удаления породы и более интенсивного охлаждения резцов коронки компании *Atlas Copco* (рис. 1.31) имеют фронтальные отверстия для подвода промывочного раствора непосредственно к резцам.

Установка резцов с углами поворота $\varphi_р$ обеспечивает отвод разрушенной породы из забоя в направлении керна и стенки ствола скважины при бурении коронками и стенки скважины при бурении долотами.

С увеличением значений угла $\varphi_р$ наблюдается повышение механиче- ской скорости бурения с одновременным снижением затрат мощности и вибрации инструмента (рис. 1.34).

При использовании бурового инструмента с резцами *PDC* особое значение имеет схема их размещения, которая существенно влияет на эффективность разрушения породы. Для повышения эффективности разрушения породы расстановка резцов должна максимально соответствовать условиям образования свободных поверхностей забоя скважины.

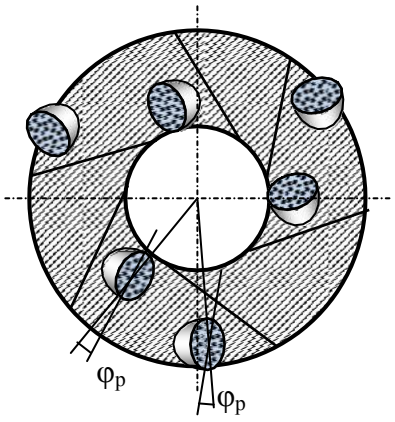


Рис. 1.33. Схема установки резцов с *PDC* на торце инструмента для обеспечения отрицательного угла резания со скважинно- и керно-образующими боковыми поверхностями

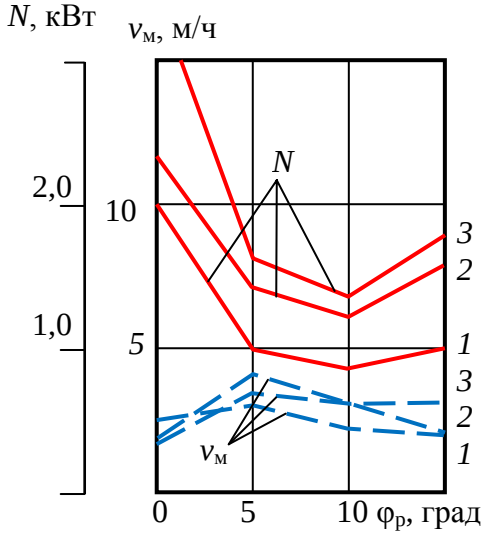


Рис. 1.34. Зависимость механической скорости бурения ($\nu_м$) и мощности на бурение (N) от величины угла $\varphi_р$: *1* – осевая нагрузка 500 даН; *2* – 750 даН; *3* – 1 000 даН

В работе приведены данные о стендовом бурении опытными долотами с тремя алмазными поликристаллическими пластинами *Stratapax*, установленными с передними углами –15 и –25° (угол $\varphi_р$), импрегнированной коронкой, вооруженной искусственными алмазами зернистостью 200–250 шт./карат и твердосплавной трехрезцовой коронкой, с передним отрицательным углом установки резцов –25°. Все коронки имели наружный диаметр 26 мм, внутренний – 14 мм.

В процессе эксперимента разбуривались три разновидности горных пород: гранит, известняк и доломит. Твердость гранита – $p_ш$ = 4,18 ГПа, коэффициент пластичности $К_п$ = 1; твердость известняка – 1,94 ГПа, $К_п$ = 1,8; твердость доломита – 1 ГПа, $К_п$ = 4,3.

Результаты бурения гранита тремя типами буровых инструментов приведены на графиках (рис. 1.35). Из полученных данных следует, что при более высоких и равных параметрах режима бурения механическая скорость бурения выше при бурении коронкой с *PDC* в сравнении с импрегнированной алмазной коронкой. Это объясняется тем, что контактные давления со стороны алмазов *PDC* существенно выше, чем со стороны алмазов импрегнированной коронки, так как последние равномерно распределены по всей поверхности матрицы, а у *PDC* расположены в пределах узких кромок боковых поверхностей пластин *PDC* (рис. 1.36).

В данном случае алмазы *PDC* работают в режиме эффективного объемного разрушения, при котором происходит скалывание, раздавливание и резание породы, тогда как алмазные резцы импрегнированной коронки могут работать при разрушении твердой породы в режиме поверхностного микроскалывания и истирания.

Подтверждением реализуемого механизма разрушения являются размеры борозд разрушения, оставленные на забое *PDC* и импрегнированной коронкой.

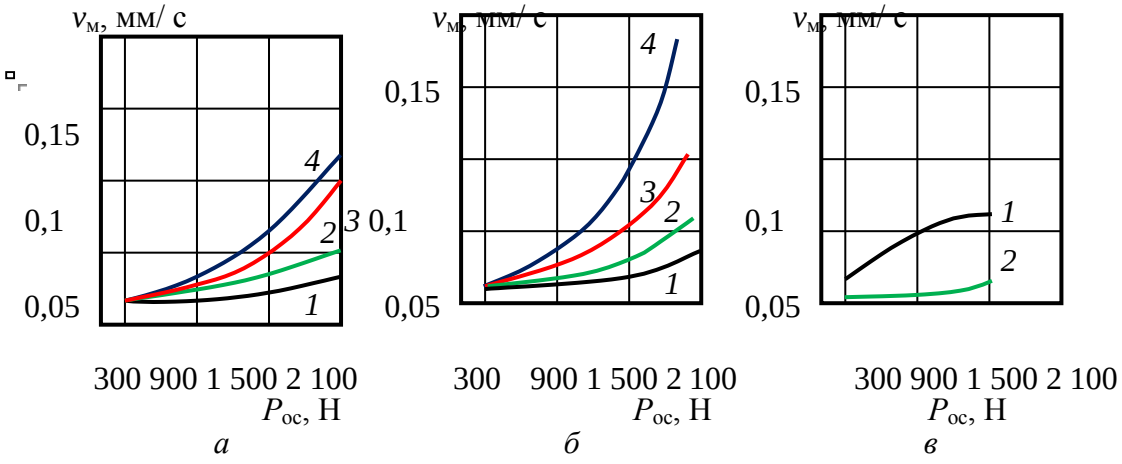


Рис. 1.35. Зависимость механической скорости бурения от параметров режима бурения гранита импрегнированной коронкой (*а*), коронкой с *PDC* (*б*) и твердосплавной коронкой (*в*): *1* – частота вращения ω – 170 мин$^{-1}$; *2* – 425 мин$^{-1}$; *3* – 685 мин$^{-1}$; *4* – 960 мин$^{-1}$

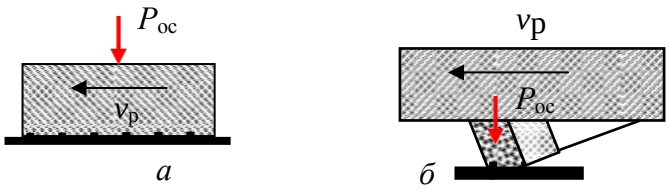


Рис. 1.36. Схема работы алмазных резцов импрегнированной коронки (*а*) и резца *PDC* (*б*)

При бурении импрегнированной коронкой ширина борозд разрушения 0,08 мм, глубина 0,02 мм, шлам существенно более мелкий 5 мкм в сравнении со шламом, который образуется при бурении коронкой с пластинами *PDC*.

При бурении гранита твердосплавными коронками видимых борозд на забое не образовывалось, шлам получен очень мелкий (не более 2 мкм). Эти признаки указывают на режим усталостно-поверхностного разрушения, при котором активно изнашиваются резцы коронки.

Данные, полученные при бурении гранита, известняка и доломита коронками с *PDC*, приведены в виде графиков на рис. 1.37.

Результаты эксперимента показали, что механическая скорость бурения доломитов в 6–8, а известняков в 7–14 раз превышает механическую скорость бурения гранита. При бурении доломита и известняков получены очень крупные частицы шлама.

Представленные данные позволяют установить [31], что при бурении известняков и доломитов резцы с *PDC* глубоко внедряются в породу, снимая слой разрушенной породы много больше размера алмазных зерен. Следует отметить, что буримость доломита оказалась ниже, чем у известняков, несмотря на то, что твердость известняка несколько выше. Очевидно, более значительные затраты энергии на разрушение доломита определены их повышенной пластичностью. Так, например, оказалось, что глубина борозд разрушения в доломите (0,04 мм) меньше в 3 раза глубины борозд разрушения в известняке (0,12 мм) при равной их ширине.

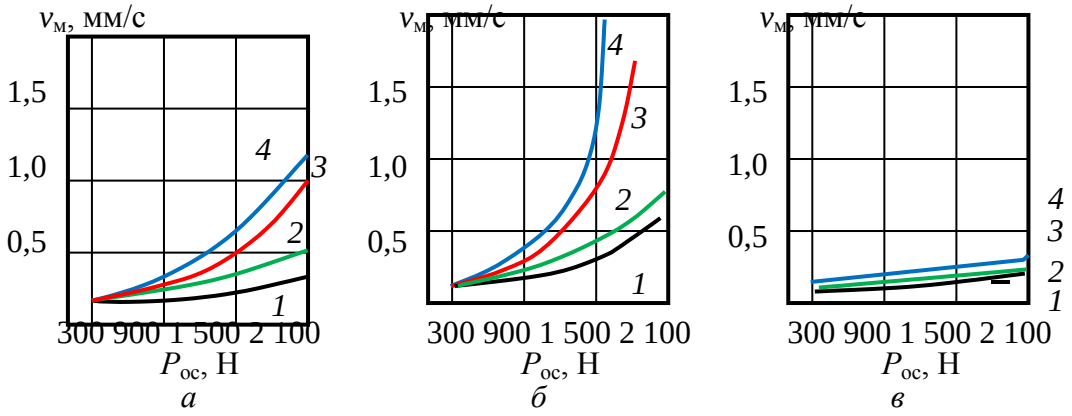


Рис. 1.37. Зависимость механической скорости бурения от параметров режима бурения коронкой с PDC доломита (*а*), известняка (*б*) и гранита (*в*): *1* – частота вращения ω – 170 мин$^{-1}$; *2* – 425 мин$^{-1}$; *3* – 685 мин$^{-1}$; *4* – 960 мин$^{-1}$

Таким образом, при бурении упругохрупких и хрупких твердых горных пород разрушение обнаженными алмазами резцов с *PDC* идет, главным образом, путем раздавливания и скалывания.

При бурении пластичных и пластично-хрупких пород разрушение происходит всем объемом алмазосодержащей пластины вдавливанием, пластическим резанием и скалыванием породы.

1.5. Разрушение горных пород алмазным буровым инструментом

1.5.1. Общие сведения об алмазном буровом инструменте

Производительность и работоспособность алмазного бурового инструмента во многом зависят от крупности, схемы размещения алмазов в матрице инструмента, ориентации их в направлениях к плоскости забоя и резания-скалывания по твердому вектору.

В 1939 г. в США ученые Краус и Лоусон установили для кристаллов алмаза грани и направления максимальной твердости, что позволило впоследствии изготавливать алмазный инструмент для бурения с ориентиро- ванной установкой алмазов. Производство алмазных коронок с ориентированной установкой алмазов в направлении разрушения горной породы впервые осуществлено в США в 1949 г. Опытное бурение показало, что достигается значительное снижение стоимости алмазного бурения (в 1,6 раза) и повышение проходки на коронку (в 1,37 раза).

Алмаз по шкале твердости минералов Мооса занимает максимальную 10 позицию (по шкале твердости М. М. Хрущова, микротвердость алмаза около 100000 МПа), а его твердость в 1000 раз превышает микротвердость кварца (7 позиция) и в 150 раз микротвердость корунда (9 позиция). Разница в твердости между алмазом и корундом значительно больше, чем между корундом и тальком, имеющим наименьшую твердость.

Величина алмаза с 1914 г. измеряется в каратах (0,2 грамма). Кристаллы алмаза крупнее 1 карата встречаются редко. Обычно вес их 0,2–0,4 карата.

Карат – мера веса драгоценных камней. Принята на Ближнем Востоке в средние века как вес зерна рожкового дерева.

Цвет алмазов определяется составом примесей и может быть от прозрачного до черного. Примеси в алмазах, например, металлы, являются причиной разрушения алмазного резца при бурении, поскольку примеси, имеют более значительный коэффициент теплового расширения по сравнению с алмазом, что может приводить при нагревании алмаза в процессе работы к его растрескиванию.

Для изготовления алмазного бурового инструмента применяют природные и искусственные алмазы.

Природные алмазы отличаются прочностью и износостойкостью, цветом и формой кристаллов (рис. 1.38).



а *б* *в* *г*

Рис. 1.38. Природные алмазы для изготовления алмазных долот: *а* – Конго кубической формы обладают средней износостойкостью и ударной прочностью; *б* – Конго сферические – стандартные монокристаллические алмазы сферической формы с шероховатой поверхностью обладают средней изно- состойкостью и хорошей ударной прочностью; *в* – Премиум двенадцатигранной формы обладают хорошей ударной прочностью и высокой износо- стойкостью; *г* – поликристаллические различной формы обладают высокой ударной прочностью и хорошей износостойкостью.

Широкое применение алмазный инструмент в практике бурения получил после открытия крупных месторождений в коренных горных породах – кимберлитах (от названия места – г. Кимберли, получила название алмазоносная площадь в ЮАР (Африка), которая открыта в 1871 г.).

В СССР первая кимберлитовая трубка «Зарница» открыта в 1954 г. в Якутии. С этих пор, после получения отечественного алмазного сырья, в стране начато производство алмазного инструмента и широкое развитие алмазного бурения взамен дробового.

Искусственные алмазы были получены в 1954 г. в США в лаборатории компании *General Electric* Г. Холлом и несколько позже одновременно в научно-исследовательских центрах Швеции, Японии, Бельгии и др. стран.

В СССР решением проблемы синтеза алмазов и организации их выпуска занимались Институт физики высоких давлений АН и Институт сверхтвердых материалов АН Украины, которыми промышленный выпуск алмазов осуществлен в 1960–1985 гг.

Буровой инструмент оснащается алмазами различной *зернистости*, измеряемой в количестве алмазов в карате (шт./кар.).

Основные размеры алмазов, применяемых в буровых инструментах, равны: 2–5 шт./кар. – диаметр зерна 3–4 мм; 10 шт./кар. – 2,5 мм; 15 шт./кар. – 2,0 мм; 20 шт./кар. – 1,8 мм; 50 шт./ кар. – 1,3 мм; 90 шт./кар. –1,1 мм; 150 шт./кар. – 0,9 мм.; 200–400 шт./кар. – 0,7–0,5 мм; менее 400 шт./кар. – менее 0,5 мм.



Рис. 1.39. Алмазные долота компании *Smith bits*.

В породах средней твердости наилучшие результаты показывают коронки, армированные алмазами зернистостью от 20 до 2 шт./кар., в твердых породах целесообразно использовать коронки с алмазами зернистостью от 200 – 20 шт./кар.) и в очень твердых породах – 600–150 шт./кар.

Для изготовления алмазных долот применяют алмазы зернистостью от 1 до 20 шт./кар. Конструкции алмазных долот показаны на рис. 1.39.

Долота, армированные природными алмазами, предлагаемые компанией *Smith Bits* (рис. 1.39), предназначены для бурения в различных породах – от средне-мягких до твердых. Долота отличаются профилями режущей структуры, системами промывки с зонами высокого и низкого давления жидкости или с радиальным потоком, а также имеют широкий выбор конфигурации алмазных вставок, что позволяет подобрать оптимальный тип долота для конкретных условий бурения.

При оснащении буровых инструментов, как правило, боковые – подрезные резцы изготавливают из более крупных алмазов, чем торцевые. Места перехода от торцевой к боковой части матрицы армируются также более крупными алмазами.

В связи с появлением таких сверхтвердых материалов, как *Stratapax*, крупные природные алмазы зернистостью 2–10 шт./кар. в буровом инструменте заменяются резцами *PDC*, потому что они отличаются большей прочностью и износостойкостью.

Величина выпуска алмазов из матрицы зависит от твердости буримых пород и размера алмазов. При бурении пород средней твердости она может быть до 30 % размера алмазов, твердых пород – до 20 %, а максимально твердых – до 10 %.

Различают коронки и долота без заданного выпуска алмазов, в которых он составляет 5–10 % размера алмаза, и с заданным выпуском алмазов, в котором выпуск резцов составляет 20–30 % их линейного размера.

Матрицы современного алмазного бурового инструмента изготавливают методом порошковой металлургии путём пропитки или горячего прессования. В первом случае матрица состоит из частиц тугоплавких металлов: карбида вольфрама, кобальта и пластичного связующего металла или сплава, например меди. Связующее вещество образует при спекании жидкую фазу, объединяющую при остывании все компоненты матрицы, в том числе и алмазы. Порошковые матрицы более износостойки, чем литые, и позволяют использовать очень мелкие алмазные зерна.

В каркас матриц, изготовляемых методом пропитки, могут входить в различных соотношениях вольфрам, карбид вольфрама, кобальт, железо, никель. Пропитывающий состав делают обычно из меди, никеля, алюминия. Кроме того, в составе матрицы могут быть наполнители (до 30 %): зерна релита, гранулы твердого сплава типа ВК и др.

В матрицы, изготавливаемые способом горячего прессования, могут входить: бор, гидрид титана, медь, карбид вольфрама, кобальт, никель, олово, титан, железо, цезий, фосфор, цинк.

Матрицы отличаются твердостью – важнейшей характеристикой, определяющей во многом эффективность алмазного бурового инструмента. Твердость матрицы вычисляют по методу Роквелла. Она может быть: HRc 10–20 – очень мягкая; HRc 15–20 – мягкая; HRc 25–30 – средней твердости; HRc 30–35 – твердая; HRc 50–55 – очень твердая.

Твердые матрицы предназначены для бурения абразивных и менее твердых горных пород, мягкие для бурения более твердых и менее абразивных горных пород. Правильный выбор твердости матрицы задает темп её изнашивания и, соответственно, обнажение алмазных резцов при бурении, что в результате определяет эффективность бурового процесса. Чрезмерный темп изнашивания матрицы приводит к потере алмазных резцов, а замедленный износ – к изнашиванию самих алмазов – их заполированию (рис. 1.40, *а*, *б*).

Заполирование алмазов – образование на их поверхности площадок износа, ориентированных параллельно забою скважины и имеющих гладкую полированную поверхность.

В идеальном случае при бурении импрегнированным буровым инструментом износ матрицы и алмазов происходит с одинаковой скоростью.

Вооружение алмазного бурового инструмента во многом определяется насыщенностью матрицы алмазами – отношением объема алмазов к объему матрицы инструмента в процентах. Опыт бурения показывает, что этот показатель должен составлять в среднем 5–10 %. В ряде случаев ведущие фирмы выпускают инструмент с насыщенностью алмазами 15–25%.

Насыщенность алмазами, ровно как и качество алмазов, определяют ресурс бурового инструмента, его стойкость.

Расход алмазов без рекуперации для организаций Министерства Геологии СССР обычно составлял 0,6–0,9 карат/м в зависимости от твердости горных пород и совершенства применяемой технологии бурения.

Рекуперация (лат. *recupertion – возвращение, получение обратно*) – *извлечение сохранившихся алмазов из отработанного алмазного инструмента с целью их повторного использования.*

По расположению алмазных резцов в матрице буровые инструменты подразделяются на однослойные и импрегнированные (рис. 1.41, *а*, *б*).

Для бурения применяют однослойные алмазные буровые инструменты с зернистостью резцов в основном от 10 до 150 шт./кар., в которых алмазы располагаются

на торце в один наружный слой, и импрегнированные алмазные коронки с более мелкими алмазами, которые располагаются в несколько слоев (5–9). Число слоев алмазов в импрегнированных буровых инструментах определяется зернистостью алмазов: чем более мелкие алмазы, тем больше число алмазных слоев имеет коронка.

В однослойных буровых инструментах алмазы могут располагаться по следующим основным схемам (рис. 1.42): *а* – в шахматном порядке; *б* – по радиальным направлениям; *в* – по косым радиусам; *г* – по концентрически окружностям.

Возможны, естественно, и иные схемы размещения алмазов, в том числе ориентированная их установка с учетом направлений максимальной твердости алмазного зерна. Критериями эффективного расположения алмазов в матрице являются равномерное распределение на торце и перекрытие движущимися резцами всего забоя буримой скважины тем количеством алмазов, которое необходимо разместить в коронке.

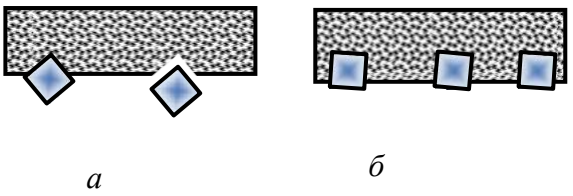


Рис. 1.40. Варианты аномального изнашив- ния матриц алмазных буровых инструмен- тов: *а* – интенсивный износ матрицы – потеря алмазных резцов; *б* – недостаточный износ матрицы – заполирование алмазных резцов

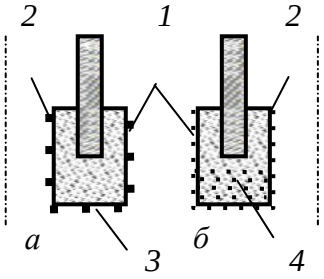


Рис. 1.41. Вооружение алмазных коронок и долот – однослойных (*а*) и импрегнированных (*б*): *1* – наружные подрезные резцы; *2* – внутренние подрезные резцы; *3* – торцевые резцы; *4* – слои алмазов

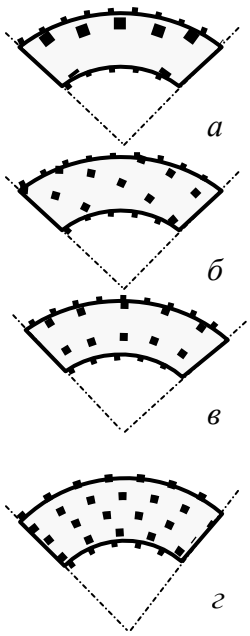


Рис. 1.42. Схема раскладки алмазов в коронках

Для повышения прочности соединения алмазов с матрицей применяют грануляцию алмазных зерен, которая состоит в покрытии алмаза металлом. Наиболее интересен вариант «металлизации» алмаза пористым хромом. В этом случае достигается не просто высокая адгезия зерна с матрицей, но и соединение за счет проникновения материала матрицы в поры оболочки из хрома.

Для бурения в основном применяют алмазы необработанные с острыми режущими гранями, овализованные и полированные.

Овализованные алмазы получают механической обработкой для приданияим им округлой формы.

Полирование овализованных алмазов производят для уменьшения силы их трения о породу при бурении. При овализации и последующем полировании алмазов удаляются их выступающие части, в результате образуется гладкая поверхностей камней и округлая форма. Овализация и особенно полирование убирают с поверхности алмаза трещины и дефекты, что повышает прочность алмазного зерна.

Таким образом, алмазные резцы геометрически могут соответствовать форме многогранника (пирамида, пирамида с площадкой износа) или округлого резца, форма которого близка к шару.

Импрегнированные алмазные долота. Для бурения самых твердых и абразивных пород при реализации высоких значений частот вращения винтовыми забойными двигателями и турбобурами в настоящее время успешно используются импрегнированные алмазные долота с различной формой торцевой породоразрушающей части.

На рис. 1.43 показано долото *Kinetic* компании *Smith Bits* с удлиненной калибрующей поверхностью и развитой комбинированной системой импрегнированного алмазного вооружения.

В буровых долот3х *Kinetic* компании *Smith Bits* используются комбинированные породоразршающие элементы с алмазными резцами в виде импрегнированных лопастей 1, отдельных цилиндрических вставок *GHI* 2 и резцов из поликристаллических алмазов типа *TSP* 3 (рис. 1.44).



Рис. 1.43. Импрегнированные алмазные долота *Kinetic*

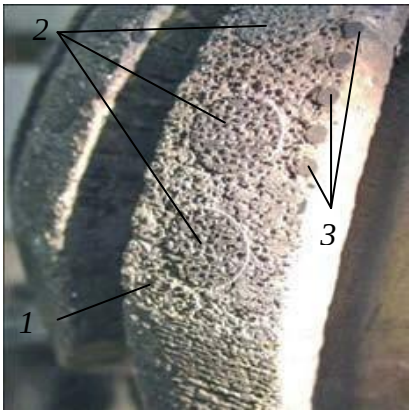


Рис. 1.44. Вооружение долота *Kinetic* с термостабильными по-ликристаллическими алмазны- ми резцами (*TSP*) на режущей кромке лопастей: *1* – импрегни- рорванная лопасть; *2* – вставки *GHI*; *3* – резцы *TSP*

Вставки *TSP* расположены на калибрующей поверхности с целью поддержания номинального диаметра скважины. При использовании в крайне абразивных породах они устанавливаются на периферийную часть профиля долота для увеличения прочности и износоустойчивости на данном участке лопасти, испытывающей при бурении максимальные усилия и изнашивание. Конструкции буровых долот имеют увеличенные по высоте лопасти, что позволяет распределить больший объем алмазного материала и обеспечивает большую проходку, чем при использовании традиционных импрегнированных буровых долот. Буровые долота *Kinetic* также характеризуются индивидуальным подходом при конструировании для конкретного типа забойного двигателя, применяемого в данных условиях. Профиль долота подбирается в зависимости от того, используется ли оно с винтовым забойным двигателем или турбобуром. Долото *Kinetic* демонстрирует высокую производительность бурения в комплексе с турбобурами за счет высокой частоты вращения, реализуемой данными забойными двигателями. Увеличенная калибрующая поверхность в сочетании со стабильностью турбобура обеспечивает высокое качество ствола скважины, исключая его винтообразное искривление, характерное для долот с резцами *PDC*.

В долоте используется комбинация распределения центрального потока жидкости и точечно размещенных промывочных отверстий для улучшения его охлаждения и обеспечения эффективной очистки. Конструкция бурового долота *Kinetic* позволяет производить эффективное бурение переслаивающихся пород при поддержании оптимальной механической скорости проходки, что исключает необходимость замены долота для бурения различных пород.

Долота *Kinetic* конструируют с использованием точно спроектированных горячепрессованных вставок *GHI* (рис. 1.45), алмазных резцов высшего качества, термостабильных поликристаллических алмазов (*TSP*) и матриц с импрегнированными алмазами. Компоненты *GHI* состоят из комбинации алмазных кристал лов и порошка карбидо-вольфрамовой матрицы, подобранной для обеспечения специальных свойств материалов, применяемых в конкретных условиях.

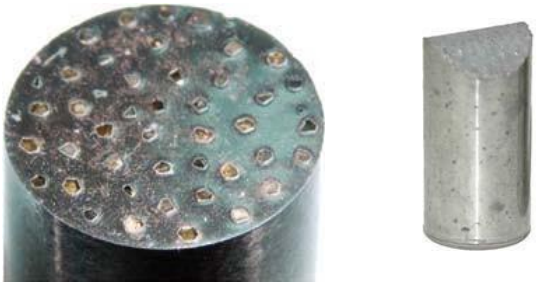


Рис. 1.45. Внешний вид горяче- прессованных вставок (*GHI*).

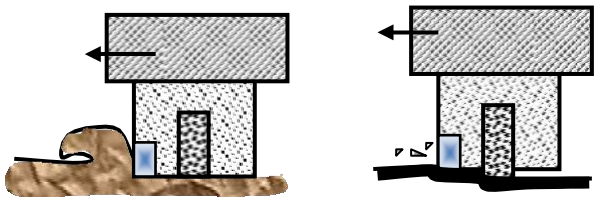
Для вставок *GHI* применяется гранулирование, обеспечивающее более равномерное распределение алмазного материала. Получаемый равномерный состав обладает большей прочностью, сохраняет форму и имеет высокую скорость бурения в течение более длительного периода.

При бурении вставки постоянно самозатачиваются путем стирания связующего материала и открытия новых алмазных резцов. Благодаря тому, что вставки *GHI* выступают над поверхностью лопастей, они обеспечивают высокий уровень контактных давлений на горную породу и режим эффективного разрушения самых твердых горных пород. В то же время импрегнированные долота *Kinetic* используются для бурения пород самой различной твердости за счет комбирированной системы вооружения,

которая позволяет реализовать резание лопастями мягких горных пород и резание-скалывание горных пород средней твердости, а также микрорезание и истирание алмазными резцами горных пород высокой твердости (рис. 1.46, *а, б*). Гибридные долота *Kinetic*, обозначаемые буквой *H,* имеют комбинированное вооружение из *PDC*-резцов, природных алмазов и термостабильных поликристаллических алмазов. Долота *Kinetic* могут модифицироваться за счет использования разных связующих материалов и различных по размеру кристаллов в соответствии со свойствами буримой породы и типом забойного двигателя для идеальной эксплуатации при высоких частотах вращения, возникающих при использовании турбобуров. Выступ вставок *GHI* из корпуса долота повышает объем потока жидкости перед долотом, что позволяет использовать его для разбуривания оснастки обсадной колонны, увеличить механическую скорость и применять их при бурении на регрессии, когда работа шарошечных долот и долот *PDC* приводит к снижению механической скорости и проходки на долото.

На рис. 1.47 представлено импрегнированное алмазное долото компании *UniDrill* (ОАО «Универсальное бурение», Россия). Данные долота имеют матричный корпус, в режущую структуру которых входят сегменты различной формы с импрегнированными в них мелкозернистыми искусственными алмазами.

Состав матрицы подбирается в зависимости от породы с таким расчетом, чтобы её износ происходил немного быстрее, чем износ алмазов. Долота предназначены для бурения с помощью ротора или забойных двигателей в твердых и сильно абразивных породах.



а *б*

Рис. 1.46. Схемы, поясняющие принцип работы импрегнированных долот *Kinetic*: *а* – в мягких горных породах и породах средней твердости; *б* – в твердых горных породах



Рис. 1.47. Импрегнированное алмазного долото компании *UniDrill* типа *UI*

1.5.2. Разработки алмазных инструментов компаний Atlas Copco и Boart Longyear

В настоящее время значительный объем геологоразведочного бурения выполняется на оборудовании и инструментом таких ведущих мировых производителей, как компании *Atlas Copco* и *Boart Longyear*.

В соответствии с рекомендациями компании *Atlas Copco* выбор инструмента и технологии бурения производят на основании оценки абразивности, трещиноватости и твердости горных пород, которые сгруппированы и разбиты на пять категорий.

К первой группе относятся крупнозернистые, сильнотрещиноватые и сверхабразивные породы (сланец, аргиллит и известняк). Для их бурения рекомендуются импрегнированные коронки типа *Craelius* и *Hobic* с максимально твердыми матрицами.

Вторая группа пород характеризуется как трещиноватые и абразивные (песчаник, доломит, туф, кремнистый сланец). Для бурения этих пород рекомендуются коронки с менее твердыми матрицами.

Третья группа пород характеризуется как среднеабразивная (андезит, базальт, пегматит, диабаз, габбро, диорит). Коронки, рекомендуемые компанией, имеют еще менее твердые матрицы.

Четвертая группа пород – это крепкие слабоабразивные породы

(гнейс, диорит, гранит, кварцит, порфир).

Пятая группа пород – очень крепкие и неабразивные породы (кварц, риолит, кремнистый известняк, таконит, лимонит, яшма). Для таких горных пород предлагается инструмент с наиболее мягкой матрицей.

Для изготовления импрегнированных коронок используют искусственные алмазы, однослойных коронок – природные алмазы зернистостью 30/50 или 20/25 шт./карат. Более крупные камни используются в коронках для бурения менее твердых, а более мелкие – более твердых горных пород. Алмазы в однослойных коронках применяются только группы *S*, в которую попадают обработанные и полированные алмазы повышенного качества.

Создаваемый буровой алмазный импрегнированный инструмент отличается не только формой торцевой части и промывочных каналов, но и высотой матриц. Например, коронки типа *Craelius* могут иметь матрицу высотой 6,5; 9,5; 12 и 16 мм. Коронки типа *Hobic* 6,5; 8; 10 мм. У коронок компании *Boart Longyear* типа *Alpha* высота матрицы может быть 9,5; 12 и даже более 25 мм.

Последняя из коронок имеет маркировку *Alpha Stage* 3 (рис. 1.48). Её уникальность в наличии трех рабочих «этажей», располагаемых по вертикали, при этом каждый из них оснащен тремя промывочными каналами.

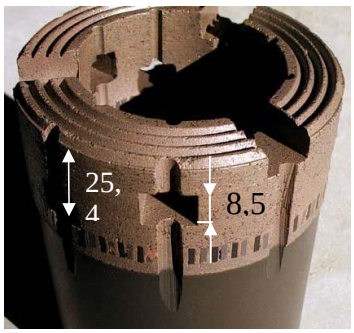


Рис. 1.48. Импрегнированная коронка компании *Boart Longyear* типа *Alpha Stage*3

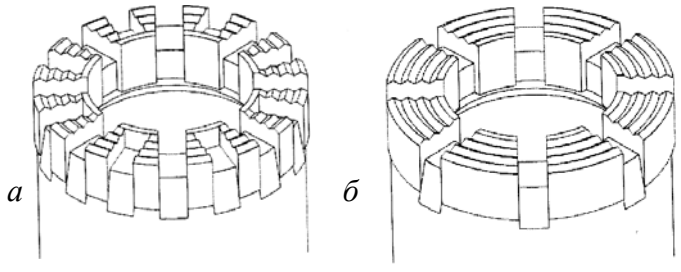


Рис. 1.49. Геометрия торца импрегнированных алмазных коронок *Alpha Bit* компании *Boart Longyear* типа *Express* с дополнительными каналами на торце (*а*) и стандартного типа (*б*)

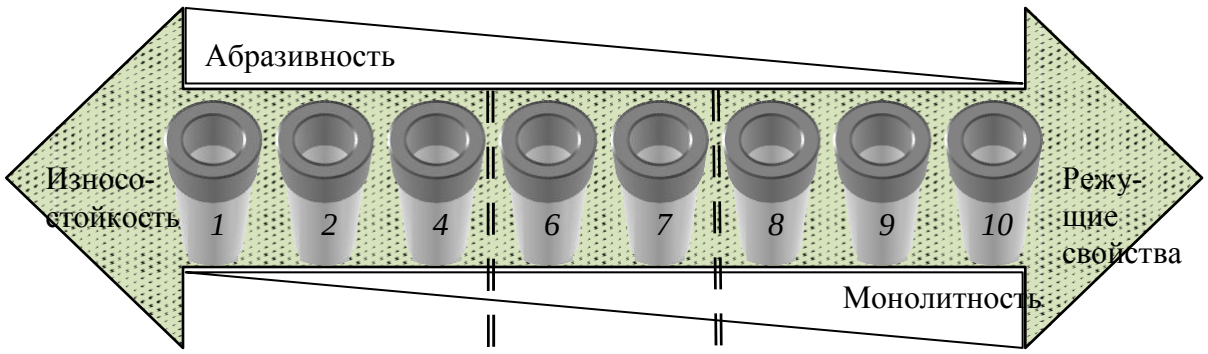
На первом этапе работы коронки действуют все три «этажа» матрицы, пропуская жидкость. При этом нижние окна обеспечивают проход жидкости для удаления шлама с забоя скважины. По мере срабатывания матрицы площадь, а затем и число каналов уменьшаются, а на заключительном этапе, когда в работе находится только последний «этаж» матрицы, работают только три оставшиеся промывочные каналы.

Сравнительные испытания коронок типа *Alpha Stage*3 и *Alpha Extended Crown* с высотой матрицы 12 мм показали, что интервал бурения первыми коронками в очень твердых породах составил 126–130 м, вторых 40–41 м. При бурении пород средней твердости соотношение длины проходки этими коронками составило соответственно 400–500/140–150 м.

Низкая (6,5, 8,0 мм) и стандартная (9,5 мм) высота матрицы используется для коронок, срок службы которых не влияет на количество операций спуска и подъема, а также если ожидается значительный износ коронки по диаметру. Для снарядов со съемным керноприемником обычно рекомендуются коронки с очень высокой матрицей (12 мм) и суперматрицей (16 и 25 мм).

Для импрегнированных коронок основным является W-профиль, эффективный за счет образования свободных поверхностей разрушения горной породы, что способствует ее разрушению.

Методика выбора коронок типа *Alpha* (рис. 1.49) компании *Boart Longyear* рассмотрена на рис. 1.50. Эти коронки выпускаются со значительным числом модификаций и оснащены алмазами в оболочке из хрома, что повышает прочность соединения их с матрицей и эксплуатационные показатели инструмента.



ТИП ГОРНОЙ ПОРОДЫ

Мягкая и средней твердости:	*Твердая:*	*Очень твердая:*
андезит, перидотит, пегматит, сланец, выветрелый гранит и др. выветрелые твердые породы	кварцит, гнейс, гранит, риолит, диорит, габбро	джаспелит, таконит, кварц, роговик

Рис. 1.50. Технологическая схема выбора алмазных импрегнированных коронок *Alpha Bit* компании *Boart Longyear*: 1) коронки с матрицами от 6 до 10 серии могут изготавливаться с дополнительными каналами на торце (*Express*) и увеличенной высотой матрицы (*Extended Crown*); 2) коронки могут изготавливаться с увеличенной шириной промывочных окон (*Super-Flush*) и дополнительными торцевыми промывочными отверстиями (*Face Discharge*); 3) для бурения твердых и одновременно абразивных, а также трещиноватых горных пород коронки стандартной серии 6,7 и 8 изготавливаются с более твердой и прочной матрицей в версии *Abrasive*; 4) для бурения очень твердых горных пород коронки стандартных серий 6, 7, 8, 9 и 10 изготавливаются в версии *Competent.*

Как следует из представленного (рис. 1.50) материала, методика выбора алмазной коронки компании *Boart Longyear* аналогична методике компании *Atlas Copco* и основывается на разделении горных пород по абразивности, монолитности (твердости) и трещиноватости.

При управлении процессом бурения для каждого типа коронки компаниями *Atlas Copco* и *Boart Longyear* рекомендуется рациональная частота вращения, выбор которой определяется по линейной скорости в пределах 2–5 м/с, и усилие подачи, которое должно обеспечить определенную скорость проходки. Критерием оптимального управления алмазным бурением является значение показателя *RPI* (число оборотов на сантиметр подачи).

Таблица 1.3.

Пример выбора параметров режима бурения в соответствии с управлением по методике рациональной *RPI*

Типоразмер коронки	Расход промывочной жидкости, л/мин	Частота вращения, мин$^{-1}$	Скорость бурения см/мин при *RPI*, об/см		Осевая нагрузка, даН
			80	100	
BQ – 59,6 мм	23-30	1 700	22	17	900–2 300
		1 000	13	10	
		700	9	7	
NQ – 75,3 мм	30-38	1 350	17	14	1 400–2 700
		800	10	8	
HQ – 96,1 мм	38-45	1 000	13	10	1 800–3 600
		600	8	6	
PQ – 122,6 мм	68-87	800	10	8	2 300–4 500
		600	6	5	

В табл. 1.3. приведены рекомендуемые параметры режима бурения импрегнированными коронками компании *Boart Longyear*, выбираемые в соответствии с критерием *RPI.*

Например, при частоте вращения 1 200 мин$^{-1}$ и скорости проходки 6 дюймов (15 см) показатель *RPI* составит 1 200/15 = 80. Управление процессом бурения осуществляют, ориентируясь на *RPI* = 80–100, но считаются допустимыми и более высокие скорости проходки, для которых *RPI* = 60–50. В данном случае критерием выбора параметров режима бурения и скорости углубления является износостойкость инструмента.

1.5.3.Динамические нагрузки на алмазы в процессе разрушения горных пород

Повышенная хрупкость алмаза делает его очень чувствительным к вибрации. При сильной вибрации ресурс алмазного бурового инструмента может снижаться в десятки раз по сравнению с инструментом, отработанным без наложения вибрации.

Вибрации бурового инструмента возникают из-за неравномерности разрушения горной породы и несовершенств самого инструмента, например вследствие неперпендикулярности торца, несовпадения осей корпуса, матрицы, резьбы и др.

Как правило, колебания инструмента происходят с частотой, кратной частоте вращения снаряда. Так, при частоте вращения колонны 200–800 мин$^{-1}$ алмазная коронка претерпевает от 3,3 до 13,3 колебаний в секунду [14]. Колебания инструмента приводят к динамическим нагрузкам на алмазы. Исследования динамических усилий, возникающих при разрушении горной породы единичным алмазом, показали [12], что процесс разрушения горной

породы резанием-скалыванием происходит скачкообразно. Амплитуда как осевого, так и тангенциального усилий разрушения непрерывно меняется. Причем каждому импульсу силы на осциллограмме (рис. 1.51) соответствует единичный акт разрушения горной породы. Запись единичных актов разрушения при больших скоростях позволяет утверждать, что по внешнему виду осциллограмма единичного акта разрушения во многом сходна с графиком разрушения упругохрупкой породы индентором.

При этом рассмотрение каждого отдельного импульса на осциллограмме (рис. 1.51) показывает, что нагрузка на алмазе возрастает от минимальных до максимальных значений в сотые и тысячные доли секунды. По существу, каждый импульс на осциллограмме соответствует микроудару алмаза по горной породе.

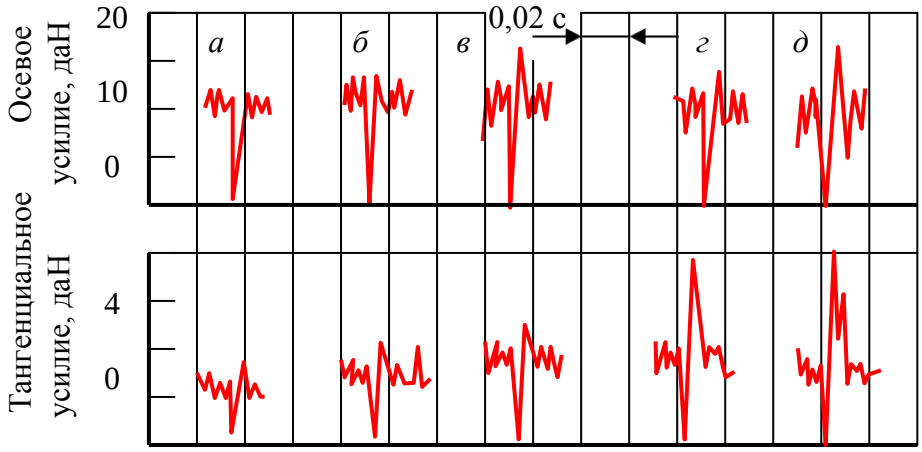


Рис. 1.51. Осциллограммы микроударов алмаза при пересечении трещины на различной глубине резания альбитофира (твердость 2 760 МПа, коэффициент пластичности 1,5), мм: *а* – 0,05; *б* – 0,75; *в* – 0,1; *г* – 0,13; *д* – 0,15.

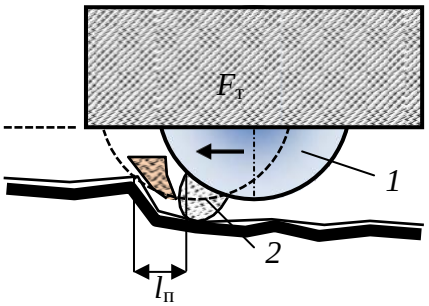


Рис. 1.52. Схема работы алмазного резца

Таким образом, в твердых упругохрупких и хрупких породах разрушение происходит циклически: микроудар – холостой ход – микроудар – холостой ход и т. д.

Динамический характер разрушения связан прежде всего с тем, что, произведя скалывание породы передней гранью и создав относительно свободное пространство перед собой, алмаз определенный участок пути $l_п$ может пройти вхолостую, а затем, достигнув неразрушенной породы на пути своего движения, вновь столкнуться с породой, испытывая при этом динамические нагрузки (рис. 1.52).

В табл. 1.4. приведено соотношение динамических, тангенциальных и осевых усилий разрушения, а также импульс силы при разрушении хрупкого мигматита (твердость 3 000 МПа, коэффициент пластичности 1).

При проведении эксперимента наряду с микроударами при резании-скалывании монолитной породы фиксировался микроудар алмазного резца при пересечении открытой трещины.

Представленные данные показывают, что алмаз воспринимает в зависимости от частоты вращения инструмента от 300 до 700 микроударов в секунду, но с увеличением скорости перемещения резца количество микроударов на единицу пути уменьшается. Сила удара, воспринимаемого алмазом при пересечении трещины, зависит от твердости горных пород и глубины его внедрения в породу (рис. 1.52).

Таблица 1.4.

Зависимость изменения характеристик микроудара алмаза по горной породе от нагрузки и скорости резания.

Частота вращения, мин$^{-1}$	Осевая нагрузка, даН			Тангенциальное усилие, даН			Импульс силы при пересечении трещины, даН		Продолжительность импульса, с
	min	max	Импульс силы, даН	min	max	Импульс силы, даН	Осевая сила, даН	Тангенциальное усилие, даН	
120	4,2	7,1	2,9	1,4	3,2	1,8	7,3	4,0	0,003
	4,9	7,9	3,0	2,0	4,0	2,0	6,25	4,25	0,003
	6,1	8,9	2,7	2,3	3,4	1,1	7,25	4,3	0,002
	6,9	12,2	5,3	2,1	4,5	2,4	9,5	5,4	0,004
	7,25	12,75	5,5	2,9	3,15	1,25	15,0	5,7	0,004
	8,5	11,2	2,7	2,5	3,5	1,0	9,5	5,0	0,004
375	4,5	7,0	2,5	1,5	3,1	1,6	7,25	4,7	0,002
	5,3	8,6	3,25	2,0	3,5	1,5	6,5	4,3	0,002
	5,5	8,0	2,5	2,1	3,1	1,0	5,6	3,25	0,0015
500	3,75	6,05	2,3	1,6	2,8	1,2	5,25	3,4	0,002
	5,5	7,0	1,5	1,6	3,0	1,4	5,75	3,8	0,002
	5,75	7,5	1,75	2,0	3,0	1,0	5,75	3,2	0,001
700	6,5	8,7	2,2	2,0	3,0	1,0	6,5	2,8	0,0016
	6,8	8,3	1,5	2,0	2,9	0,9	7,0	3,0	0,0016
	7,0	9,3	2,3	2,1	3,1	1,0	7,6	4,4	0,001

При ширине трещины, равной или несколько превышающей размер внедрившейся части алмаза, в момент пересечения трещины нагрузка на алмаз падает до нуля, а затем резко возрастает. С увеличением глубины внедрения алмаза в породу (повышение осевой нагрузки на резец) меняется амплитуда колебаний усилий до 1,5–2 раз. Отсюда следует, что максимальные динамические нагрузки на алмазный резец возникают при разрушении более твердого габбро, а при разрушении перидотита не наблюдается значительных колебаний осевого и тангенциального усилий.

Наличие трещины приводит к значительным перегрузкам на резец, которые особенно заметны на фоне незначительных динамических колебаний осевого и тангенциального усилий при разрушении перидотита.

Горная порода является диссипативной системой, что приводит к поглощению энергии ударного столкновения алмаза с ней. Влияние *диссипативных* свойств породы можно учесть через коэффициент внутреннего трения горной породы, который равен tg $\varphi_п$.

Диссипация (от лат. *dissipatio* – рассеяние) – *явление рассеивания механической энергии при движении, деформировании с переходом кинетической энергии в тепловую.*

Бурение в трещиноватых горных породах имеет ряд особенностей. Значительное влияние на процесс бурения в трещиноватых горных породах оказывает оптимальное сочетание режимных параметров, в первую очередь осевой нагрузки на буровой инструмент и частоты вращения.

Экспериментальными исследованиями и данными практики установлено, что осевая нагрузка на буровую коронку и частота вращения снаряда должны снижаться по мере увеличения степени трещиноватости пород до 50 % от значений, принятых для монолитных пород. Это связано с тем, что при появлении трещиноватости горных пород изменяется механизм их разрушения.

Трещины способствуют развитию деформаций в породе, возрастает объем разрушенной породы при подходе резца к трещине, увеличивается и размер разрушенных частиц породы (рис. 1.53). При подходе резца к трещине наблюдается расширение и углубление борозды разрушения в 1,5–2 раза.

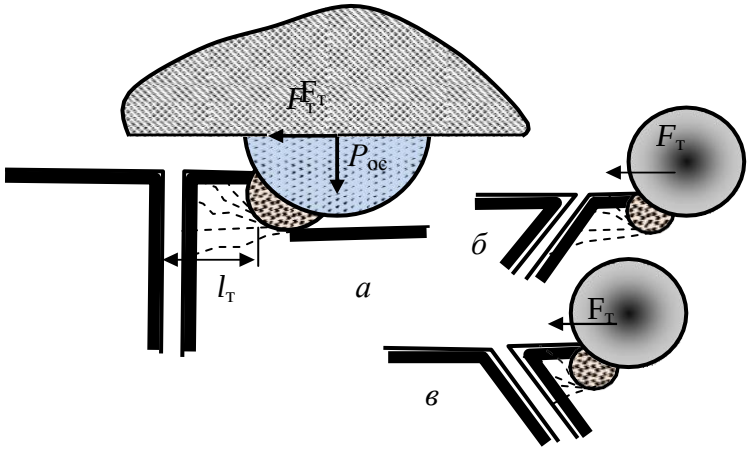


Рис. 1.53. Схемы, поясняющие процесс разрушения породы резцом перед трещиной

Таким образом, наличие трещин способствует разрушению горной породы. Степень понижения прочности забоя скважины определяется размером трещины, их количеством на единице площади забоя и ориентацией по отношению к забою скважины.

В то же время работа резца, пересекающего трещину, как уже отмечено выше, носит чрезвычайно динамический характер, так как скол породы при подходе к трещине обеспечивает резцу «пробег» на интервале $l_т$ без какого-либо сопротивления до противоположного борта трещины (рис. 1.53, *а*), а при встрече резца с бортом трещины происходит удар, в результате которого может произойти слом резца.

Особенно чувствительны к подобным ударным нагрузкам буровые инструменты резцового типа – твердосплавные коронки, лопастные долота и алмазные буровые коронки.

Импульсный характер процесса бурения трещиноватых горных пород приводит к тому, что тангенциальное усилие на резце в момент пересечения им открытой трещины резко изменяется.

Наиболее значительные ударные нагрузки на резцы инструмента будут в случаях, при которых плоскость трещины или перпендикулярна направлению движения резца (рис. 1.53, *а*), или, если плоскость трещины наклонена по направлению движения резца (рис. 1.53, *б*). В случае если плоскость трещины ориентирована в направлении перемещения резца, динамический характер работы резца будет несколько снижен (рис. 1.53, *в*), поскольку он пересекает трещину по касательной.

С увеличением трещиноватости горных пород за счет снижения прочности забоя и увеличения количества ударов и энергии каждого удара начинает расти механическая скорость бурения, но одновременно с этим увеличивается и сила ударов по резцам, что может приводить к интенсивному износу алмазных коронок, сколам и выкрашиванию алмазных резцов. Снижение динамической нагрузки на резцы буровых коронок следует осуществлять прежде всего за счет уменьшения частоты их вращения. Снижение частот вращения, особенно при алмазном бурении, следует определять исходя из допустимой

энергии удара алмазов при пересечении ими трещин с учетом количества или размеров самих трещин.

1.6. Разрушение горных пород шарошечными долотами

1.6.1. Конструкции и вооружение шарошечных долот

Одним из наиболее распространенных буровых инструментов, предназначенных для бурения горных пород различной твердости – от мягких до самых твердых, без отбора керна и с отбором керна, являются шарошечные долота.

Шарошечное долото создано в конце XIX – начале XX в. Долото с коническими шарошками запатентовано Говардом Хьюзом (США) в 1909 г.

Шарошечное долото (рис. 1.54) состоит из корпуса с резьбой *1*, лап *2* и шарошек *3*, размещаемых на осях – цапфах *4*. Шарошки 3 имеют вооружение в виде армированных зубьев *5*. При вращении корпуса долота *1* с лапами *2* шарошки *3* вращаются вокруг цапф 4. Поэтому между шарошками *3* и цапфами *4* размещают шариковые или роликовые подшипники *6*, а в долотах малого размера применяют подшипники скольжения. Очистной агент подается к забою по каналу *7*. Отверстие *8* предназначено для доставки в канал между шарошкой *3* и цапфой *4* шариков подшипника *6*, которые, выполняя функцию подшипника, служат также в качестве фиксаторов шарошки *3* на цапфе *4*. После сборки долота канал *8* закрывают.

Уникальность этого инструмента состоит в сочетании ударного, раздавливающего и скалывающего действией, реализуемых одновременно, что позволяет успешно бурить как мягкие и пластичные, так и твердые и хрупкие горные породы.

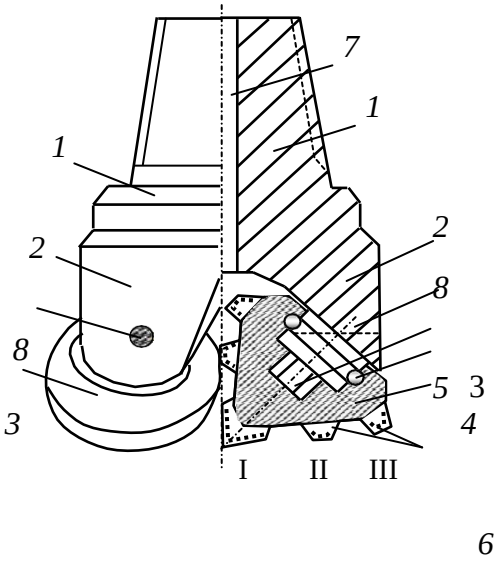


Рис. 1.54. Схема трехшарошечно- го долота с центральным промывочным каналом, зубчатым вооружением и опорой качения на подшипниках

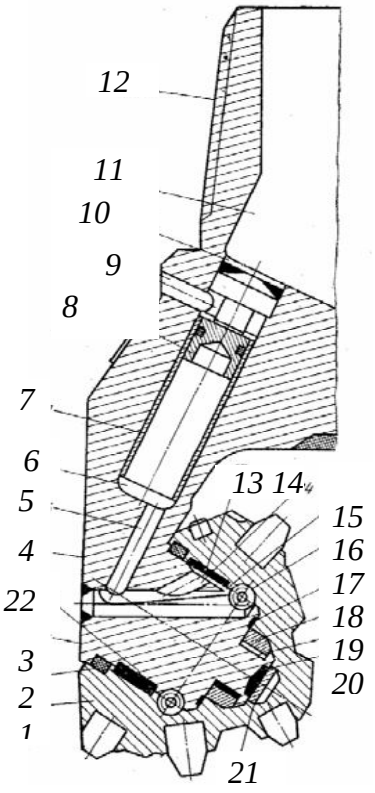


Рис. 1.55. Долото с герметизированной маслонаполненной опорой

При вращении долота шарошки перекатываются по забою, опираясь (каждая из них) на породу то одним, то двумя зубьями. Таким образом, одновременно в контакте с породой находятся несколько зубьев шарошки, а остальные остаются как бы в резерве. Если сопоставить вооружение шарошечного долота с инструментом режущего типа, например лопастным долотом, можно убедиться, что запас вооружения у шарошечного долота увеличивается в десятки раз, хотя удельное давление на забой при равной осевой нагрузке при этом остается прежним.

Зубья шарошечного долота находятся в контакте с горной породой весьма короткое время, а выйдя из контакта, интенсивно охлаждаются промывочной жидкостью. Это позволяет резко увеличить удельную мощность, реализуемую зубьями, по сравнению с резцами режуще-скалывающего инструмента, без опасности развития катастрофического изнашивания вооружения.

Ресурс шарошечных долот определяется довольно часто не стойкостью вооружения, а износостойкостью опор вращения шарошек. Для повышения ресурса шарошечных долот большого размера применяют герметизирующие подшипниковые узлы уплотнения, а также долота с маслонаполненными под давлением опорами.

На рис. 1.55 приведена схема долота с герметизированной маслонаполненной опорой серии *L* французской фирмы *Creusot-Loire*.

Долото имеет герметизированную опору благодаря наличию манжеты *2*, перекрывающей зазор между шарошкой *1* и цапфой *3*. В состав герметизированной системы, заполненной смазкой, входят просверленные в лапе *4* смазочный соединительный канал *5* и лубрикатор *6*. В лубрикаторе *6* установлены гидроцилиндр *7* с поршнем *8*, которые образуют компенсатор, обеспечивающий автономную подачу смазки из лубрикатора *6* и гидроцилиндра *7* через канал *5* к элементам опоры в процессе бурения под действием нисходящего потока промывочной жидкости. Для выравнивания давлений, действующих с одной стороны на манжету *2*, а с другой – на поршень *8*, просверлен отводной канал *9*, сбрасывающий часть жидкости, поступающей в верхнюю часть *10* лубрикатора над поршнем из внутренней полости 11 резьбовой головки *12* долота. К фрикционным поверхностям *13* и *22* большого подшипника смазка подводится от соединенного канала *5* через канал *14*, а к шариковому замковому подшипнику *16* через канал *15*. Под шариковым подшипником *16* предусмотрен дополнительный торцевой подшипник *17* скольжения. Малый фрикционный узел со стороны шарошки выполнен вставной фрикционной втулкой *18*, а со стороны цапфы 3 – поверхностью 19, армированной защитным покрытием таким же образом, как и в зоне большого подшипника, по нижнему нагруженному сегменту. Защитным покрытием армируется и концевой торец *20* цапфы, контактирующий с подпятником *21*, запрессованным в шарошку.

Защита подшипниковых опор шарошечного долота является одной из важнейших задач при его работе в условиях высокой температуры и давления, воздействия корозионных пластовых флюидов и промывочной жидкости.

Примером современного решения по созданию герметизированных опор шарошечных долот является двойное сальниковое уплотнение долот *Gemini R*, производимых компанией *Smith bits* (рис. 1.56).

Система двойного сальникового уплотнения *Gemini R* является наиболее долговечной и надежной среди подобных. Она состоит из первичного уплотнительного кольца для защиты подшипников и вторичного, обеспечивающего защиту первичного сальникового уплотнения. Первичное уплотнение новой конструкции усилено по динамическим поверхностям особым износостойким эластомером и новым энергоемким материалом, обладающим постоянным давлением в зоне соприкосновения. Первичное кольцо пулевидной формы имеет широкий поперечный профиль и обеспечивает максимальную защиту подшипника.

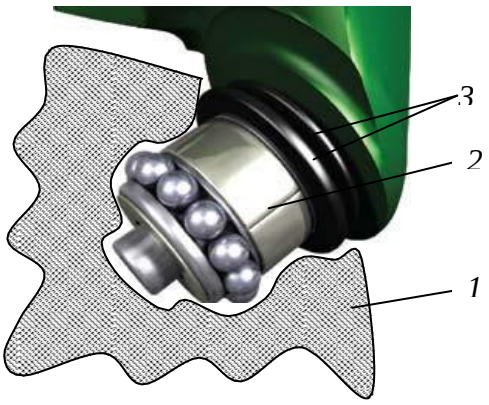


Рис. 1.56. Долото с двойным сальниковым уплотнением опоры качения:
1 – шарошка; *2* – цапфа; *3* – сдвоенные сальники.

Вторичное уплотнительное кольцо также изготавливается из нескольких специально разработанных материалов и предназначено для защиты подшипникового уплотнительного кольца от абразивного воздействия твердых частиц, присутствующих в скважинных флюидах. Специально разработанный термостойкий материал *Kevlar* расположен на торцевой поверхности уплотнения в зоне контакта герметичного кольца и цапфы. Он обеспечивает повышенный уровень износостойкости, а также защиту от абразивного воздействия скважинных жидкостей.

Эластомерная матрица обеспечивает упругость и превосходные уплотняющие свойства. Хотя уплотнительные кольца функционируют независимо друг от друга, в паре они создают превосходную герметизацию подшипникового узла и надежную работу в условиях высокой частоты вращения инструмента, больших нагрузок на долото, при проходе участков со значительным искривлением ствола, повышенном содержании твердой фазы в буровом растворе и высоком забойном давлении. Долота могут иметь 1, 2, 3, 4 и более шарошек. Основными являются трехшарошечные долота (рис. 1.57).

По назначению шарошечные долота разделяются на следующие основные виды:

- для бескернового вращательного бурения;
- бурения с отбором керна (колонковые долота);
- бурения с продувкой;
- специального назначения.

Для производства буровых работ выпускаются бескерновые шарошечные долота следующих типов: М (для мягких пород), МЗ (для мягких абразивных), МС (для мягких пород с пропластками пород средней твердости), МСЗ (для мягких абразивных пород с пропластками пород средней твердости), С (для горных пород средней твердости), СЗ (для абразивных пород средней твердости), СТ (для горных пород средней твердости с пропластками твердых пород), Т (для твердых пород), ТЗ (для твердых абра- зивных пород), ТК (для твердых горных пород с пропластками крепких пород), ТКЗ (для абразивных твердых пород с пропластками крепких пород), К (для крепких пород), ОК (для очень крепких горных пород).

Все перечисленные долота подразделяются на две группы, которые отличаются как по характеру взаимодействия и разрушения горной породы на забое, так и конструктивному исполнению рабочих породоразрушающих органов – шарошек долота.



Рис. 1.57. Трехшарошечные долота: *а* – для бурения мягких горных пород с фрезерованными на шарошках зубьями; *б*, *в* – для бурения средних по твердости и твердых горных пород с твердосплавными по- родоразрушающими вставками; *1* – траектории движения венцов шарошек долота; *2* – сопло для выхода промывочной жидкости с боковым расположением; *3* – шарошки; *4* – лапы долота; *5* – резьба.

Первая группа – долота с зубчатыми шарошками, производящие раздавливающее-дробящее-скалывающее воздействие (долота типа М, МЗ, МС, МЗС, СЗ). Раздавливание, дробление и скалывание породы реализуется при качении шарошки по забою, а вследствие проскальзывания (поступательного движения шарошки без вращения на оси) осуществляется дополнительное резание-скалывание породы.

Как следует из характеристики процесса разрушения горной породы шарошечным долотом, статические формы разрушения (раздавливание) сочетаются с динамическими (скалывание), в том числе с ударными (дробление), что и делает шарошечные долота универсальными инструментами для бурения самых различных по твердости горных пород.

Разрушение горных пород шарошечными долотами может производиться при различных соотношениях режуще-скалывающего и дробящего воздействия. Чтобы создать долота, производящие на горную породу только ударные – дробящие нагрузки, необходимо придать шарошкам такую геометрическую форму, при которой последние осуществляли бы чистое качение. Этим условиям соответствует одноконусная шарошка с образующими, пересекающимися на оси долота. Любое отклонение от указанной геометрии приводит к проскальзыванию шарошек при вращении долота на забое.

Проскальзывание шарошек является важным показателем конструкции долота, который оценивается коэффициентом проскальзывания ($К_{пр}$) – отношением длины траектории проскальзывания зубца за один оборот долота на забое к длине концентрической окружности на забое скважины, по которой перемещается зубец при вращении долота. Проскальзывание достигается за счет формы шарошек и углового или продольного смещения осей вращения шарошек от оси долота. Например, для долот с

конусными шарошками $К_{пр}$ = 0, для двух-, трех- конусных шарошек $К_{пр}$ = 0,05–0,1, для бочкообразных $К_{пр}$ = 0,1–0,15, для долот со смещением осей шарошек от оси долота коэффициент проскальзывания может достигать 0,3 . Значит, в последнем случае почти треть пути по забою зубцы шарошек осуществляют поступательное перемещение как зубцы твердосплавных коронок и долот и только две трети пути по забою перекатываются, совершая дробяще-скалывающее и раздавливающее воздействие на горную породу.

Вооружение шарошек долот первой группы выполняется зубчатым. Зубцы фрезеруются непосредственно на шарошке и армируются наплавляемым твердым сплавом.

Долота, предназначенные для бурения абразивных пород, имеют вооружение в виде запрессованных в шарошки твердосплавных вставок с клиновидной формой рабочей поверхности.

Вторая группа – долота с увеличенным дробящим воздействием на породу и минимальным проскальзывание шарошек (СТ, Т, ТЗ, ТКЗ, К, ОК). Именно поэтому у долот этого типа в основном одноконусные шарошки, установленные в долоте без смещения осей вращения. При этом шарошки долот типа СТ и Т выполняются зубчатыми, ТК, К, ОК армируются твердосплавными вставками со сферическими торцами, а шарошки долот типа ТЗ и ТКЗ имеют комбинированное вооружение – зубья чередуются с твердосплавными вставками.

Шарошечные долота могут оснащаться гидромониторными насадками, повышающими скорость истечения струй промывочной жидкости из центрального канала долота, для улучшения очистки забоя и шарошек от продуктов разрушения.

Как уже отмечено, породоразрушающими элементами шарошек могут быть зубья или твердосплавные вставки с клиновидной, шарообразной и др. формами рабочих поверхностей.

Зубья и вставки на шарошках долота располагают венцами. Венцы и зубья со вставками в них располагают таким образом, чтобы за один полный оборот долота вся поверхность забоя была покрыта зонами разрушения.

Зубья шарошек могут иметь различную геометрическую форму. Наиболее типичной является клиновая с площадкой притупления на вершине зуба (рис. 1.58). Зубья шарошек характеризуются определенными параметрами: α – углом приострения зуба; *a* – шириной площадки притупления; *b* – длиной зуба; *H* – высотой зуба; *S* – шагом расстановки зубьев.

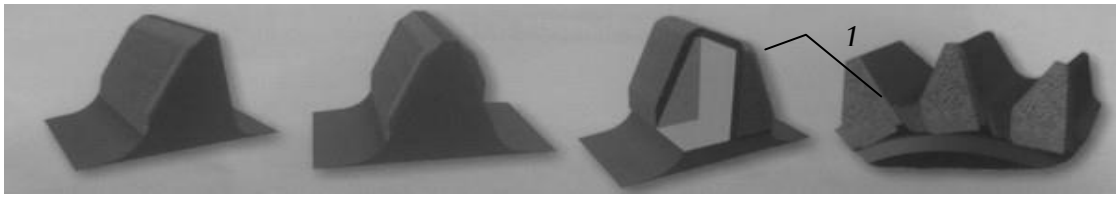


Рис. 1.58. Формы фрезерованных зубьев шарошечных долот:
1 – наплавляемый твердый сплав

Элементы вооружения (зубья или вставные зубки-вставки) располагаются на шарошках таким образом, чтобы предотвратить образование
«рейки» на забое и обеспечить полное перекрытие. Имеется вариант исполнения вооружения по самоочищающейся схеме, когда зубья соседних шарошек входят в бесконтактное зацепление, подобно двум шестерням в механической передаче, но без взаимодействия (рис. 1.59). Подобная схема выполняется с целью очистки шарошек и особенно пространства между зубьями от налипающей горной породы.

Долота оснащаются твердосплавными вставками, например разработанными компанией *Hughes Tool Company* (рис. 1.60). Каждая вставка имеет цилиндрическое основание со скошенной у нижнего торца фаской. Рабочая головка вставки может иметь

различную форму в зависимости от назначения вставки. Так, вставка с круглой (овоидальной) головкой (рис. 1.60, *а*) предназначена для скалывания и дробления породы, поэтому она применяется для оснащения долот при бурении очень твердых горных пород (ОК).

Зубок со сводчатой формой (рис. 1.60, *б*) используется в долотах, предназначенных для бурения твердых (Т) и крепких (К) горных пород. Высота головки несколько больше, чем у предыдущей вставки, поэтому при перекатывании шарошки зубок внедряется в породу на бóльшую глубину, а это возможно в породах менее твердых, чем разбуриваемые вставкой с круглой головкой. Воздействие на породу со стороны шарошки в этом случае так же дробяще-скалывающее.

Вставка со сводчато-черпаковидной головкой (рис. 1.60, *в*) характеризуется еще большей высотой. Кроме дробления-скалывания она благодаря черпаковидной выемке производит и механическое извлечение разрушенной породы из лунок забоя. Предназначена такая вставка для бурения горных пород средней (С) твердости.

Коническая рабочая головка вставки (рис. 1.60, *г*) способствует дробящему воздействию на породу, но она производит также и небольшое скребуще-режущее воздействие, а поэтому применяется для оснащения долот, предназначенных для бурения горных пород средней (С) твердости. Зубиловидная головка вставки (рис. 1.60, *д*) характеризуется пересечением граней под углом 90º. Она предназначена для разрушения горных пород средней (С) твердости дроблением и скалыванием.

Долотовидная вставка (рис. 1.60, *е*) с затуплением вершины предназначен для разрушения горных пород средней (С) твердости и мягких (М) и характеризуется наряду с дроблением-скалыванием также и скребущим действием.

Клиновидно-коническая вставка (рис. 1.60, *ж*) характеризуется весьма значительным закруглением вершины и может применяться для бурения горных пород средней твердости (С) и мягких (М).

Вставка с черпаковидной головкой и со смещением вершины (рис. 1.60, *з*) предназначена для разрушения преимущественно мягких (М) и рыхлых горных пород. Зубок обеспечивает фрезерующе-сребущее воздействие на породу и извлечение из лунок забоя разрушенных осколков породы, предотвращая их многократное перемалывание. Высота этого зубка максимальна.

Черпако-долотчатая вставка (рис. 1.60, *и*) обладает теми же свойствами, что и предыдущий, но характеризуется бóльшим притуплением его вершины и меньшей высотой, что допускает возможность его применения для разрушения более плотных пород, т. е. средней (С) твердости.

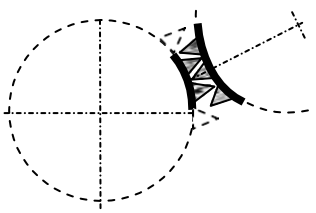


Рис. 1.59. Исполнение вооружения шарошек по самоочищающей схеме

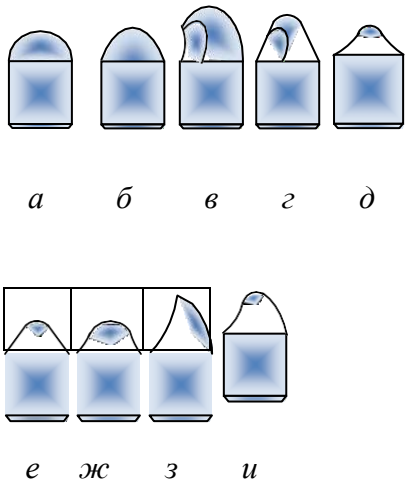


Рис. 1.60. Разновидности вставок, применяющихся в долотах

У долот фирмы *Hughes Tool Company* также выполняется усиление калибрующего вооружения твердосплавными вставками, преимущественно овоидальной формы, устанавливаемыми через один-два фрезерованных зуба. При этом вершина фрезерованного зуба срезается и в образуемой площадке ближе к тыльной стороне высверливается гнездо под вставку. Такое усиление называют «Heel Pac», т. е. упрочнение пяты – тыльной части шарошки (рис. 1.61).

Для повышения эффективности разрушения горных пород применяют долота с венцами, зубья которых имеют различную длину торцевых площадок. Такие долота получили название долот с волнообразными венцами. Ресурс этого долота и скорость бурения увеличены за счет скола зубьями более крупных частиц породы: более острые зубья *1* проникают в породу на бóльшую глубину, а более широкие зубья *2* скалывают боковые поверхности лунок, образовавшихся от ударов острых зубьев *1* (рис. 1.62). Обязательным условием при конструировании шарошечных долот является создание достаточно долговечной опоры шарошек. С этой целью трущиеся детали долот выполняются из высококачественных сталей и подвергаются специальной термообработке. Особенно сложной представляется задача создания долговечных опор качения шарошек у долот диаметром 76, 59 и 46 мм в связи с резким снижением прочностных характеристик всех деталей и трудностью использования шариковых затворов шарошек, вызванными малыми размерами цапф, лап и низкой прочностью шариков приемлемых размеров.

В связи с этим для бурения скважин диаметром 76–46 мм в Среднеазиатском НИИ геологии и минерального сырья предложена оригинальная и эффективная конструктивная схема малогабаритного долота, получившего маркировку ДДА (долото двухшарошечное асимметричное). Долота ДДА-46, 59, 76 и 93 предназначены для бурения твердых и очень твердых горных пород.

Долото ДДА (рис. 1.63) состоит из корпуса с резьбой *1* из двух секций, соединенных сварными швами *2*. На цапфах *3* корпуса смонтированы шарошки *4* полусферической формы, армированные цилиндрическими зубками *5* из твердого сплава ВК8. Опора долот (цапфа *3*, шарошка *4*) представлена подшипником скольжения, что позволяет выполнить её конструктивно более прочной, так как не требуется размещение на опоре шариков и роликов подшипниковых узлов. Шарошки долота *4* закрепляются на лапах распорным *V*-образным пальцем *6* с упорными буртами, который своими концами вставляется в отверстия пустотелых цапф *3*, создавая, таким образом, дополнительную опору.



а *б*

Рис. 1.61. Варианты усиления тыльной части шарошек долот: *а* – калибрующие вставки и один ряд вставок для защиты; *б* – два ряда вставок для защиты

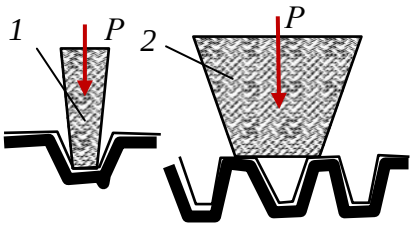


Рис. 1.62. Схема поражения забоя шарошечным долотом с зубьями в венце различной ширины

В этом случае шарошки *4* размещены в долоте не консольно, как это принято по основной схеме, а в пределах замкнутого контура «цапфа *1* – *V*-образный палец-лапа *2*», что существенно повышает прочность долота и практически исключает отделение шарошек от корпуса при бурении. Угол наклона цапф *6* к оси долота 65°. Детали долота изготавливаются из легированной стали и подвергаются термообработке, цементации, закалке и отпуску.

Исследования, выполненные при создании конструкции долота ДДА, показали, что проскальзывание является одним из основных факторов, интенсифицирующих процесс разрушения при бурении не только мягких и пластичных пород, но и твердых горных пород.

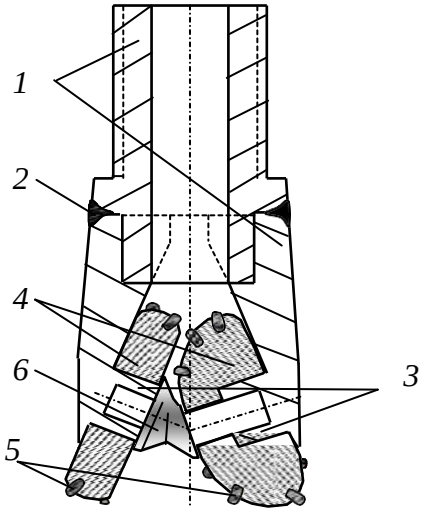


Рис. 1.63. Шарошечное долото ДДА

При бурении долотами типа ДДА достигается более высокая механическая скорость бурения при относительно равном ресурсе в сравнении с другими долотами, например трех- или двухшарошечными долотами типа К, конструкции СКБ Министерства геологии, которые выполнены по классической схеме.

1.6.2.Системы очистки забоя и интенсификация процесса разрушения при бурении шарошечными долотами

Поскольку при шарошечном бурении образуется большое количество продуктов разрушения (шлама), осколков и достаточно крупных обломков, эффективное разрушение горных пород шарошечными долотами возможно только при совершенной системе очистки забоя, под которой подразумевается система, обеспечивающая немедленное и полное удаление продуктов разрушения, образующихся в результате взаимодействия зубьев долота с породой из зоны породоразрушающего действия инструмента. Обломки породы, отделенные от забоя одним зубом, должны быть удалены до взаимодействия с породой следующего зуба таким образом, чтобы все породоразрушающие элементы долота постоянно контактировали только с породой забоя, не производя повторного измельчения разрушенной породы. В таком случае при определенном количестве затраченной на разрушение породы механической энергии скорость проходки будет максимальной. В другом случае часть энергии будет расходоваться бесполезно на разрушение уже образовавшихся, но не удаленных с забоя обломков породы.

Одной из причин уменьшения скорости бурения может быть зашламование долота, особенно при бурении пластичных пород. В шарошечных долотах шламом забивается пространство между зубьями и даже шарошками, а в алмазных инструментах – между

алмазными резцами и в каналах на торце.

Немедленное удаление шлама из призабойной зоны может быть достигнуто при обеспечении эффективной циркуляции промывочного раствора.

К факторам, определяющим эффективность циркуляции, относятся:

- расход жидкости;
- скорость истечения струи из промывочного канала или гидромониторного сопла;
- геометрия системы промывки долота: число и форма насадок (или отверстий), их расположение и расстояние до забоя;
- характеристики промывочной жидкости: плотность, содержание твердой фазы, фильтрационная способность, вязкость, смачивающая способность и др.;
- свойства разбуриваемых горных пород: прочность, проницаемость, пластовое давление.

Процесс промывки забоя можно условно разделить на три этапа:

- удаление обломков породы с поверхности забоя;
- вынос шлама из зоны действия зубьев долота в кольцевое пространство между буровым снарядом и стенкой скважины;
- транспортирование шлама по кольцевому пространству к устью скважины.

Достижение максимальных скоростей бурения возможно лишь при оптимизации всего процесса и параметров промывки, характеристик промывочной жидкости.

Определяющим для эффективной работы долота является этап быстрого удаления обломков после отделения их зубьями долота от массива породы. Эта задача решается применением той или иной системы промывки долот. В наиболее традиционных и часто применяемых для бурения трехшарошечных долотах используются три основные системы промывки: центральная, периферийная, комбинированная.

При центральной промывке буровой раствор поступает в призабойную зону через внутренний канал долота. Поток раствора омывает шарошки, очищая их от шлама, а затем достигает забоя, подхватывает шлам и через зазоры между лапами долота и стенкой скважины поступает в затрубное пространство. Часто вместо одного центрального канала создают три промывочных отверстия – одно для каждой шарошки долота. Скорость струй промывочной жидкости изменяется от 20–40 м/с.

При периферийной схеме промывки буровой раствор поступает в призабойную зону через отверстия между шарошками, причем струи направляются непосредственно на забой скважины. Здесь струи растекаются параллельно плоскости забоя, очищают поверхность забоя и зубья шарошек, после чего жидкость через зазор между долотом и стенкой скважины поступает в затрубное пространство. Обычно в промывочных отверстиях запрессованы сменные гидромониторные насадки (керамические или карбида вольфрама). Скорость струй раствора составляет 70–150 м/с. Комбинированная система промывки применяется в долотах большого диаметра. В данном случае сочетаются две первые схемы.

Примером комбинированной схемы промывки может быть гидродинамическая система долот компании *Smith bits*.

Для оценки потока жидкости в системе промывки *Typhoon* компании *Smith bits* применяется усовершенствованная расчетная модель гидродинамики жидкости (*CFD*), которая обеспечивает оптимизацию потока для более эффективной очистки шарошек, выноса бурового шлама, а также во избежание его повторного перемалывания. В системе промывки *Typhoon* используются как векторные (направленные) удлиненные насадки *VE* для очистки внешней части вооружения, так и насадки для очистки внутренней части вооружения *J*3 (рис. 1.64).

Векторные удлиненные насадки для очистки внешней части вооружения *VE* точно направляют поток жидкости к передней кромке шарошек, в то время как насадки *J*3 для очистки внутренней части вооружения распределяют потоки в пространство между шарошками. Совместное действие этих шести точно направленных насадок формирует режим потока, который улучшает путь прохождения и скорость бурового раствора. Это позволяет оптимизировать очистку резцов и вынос бурового шлама с забоя, что приводит к максимальному увеличению механической скорости бурения. В настоящее время система промывки *Typhoon* предлагается для долот с наружным диаметром 406 мм и более.

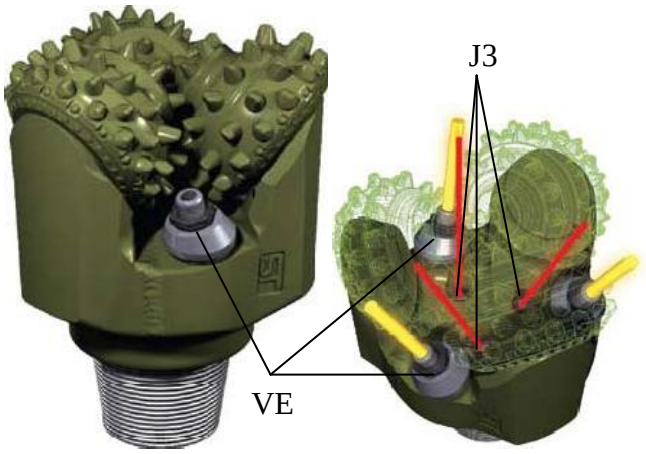


Рис. 1.64. Долота *Shamal Typhoon* компании *Smith bits* с тремя векторными насадками (VE) для очистки внешней части вооружения и тремя насадками для очистки внутренней части вооружения (J3).

Параметры, определяющие качество промывки забоя (средняя скорость струй, мощность, сила удара и динамическое давление струй, скорость параллельных забою потоков), имеют максимальное значение при небольшом расстоянии между насадкой и забоем.

Поэтому один из путей улучшения характеристик долот с периферийной системой промывки состоит в приближении насадок к забою скважины на расстояние, которое меньше длины ядра струи (в котором скорость струи постоянна). Это расстояние будет равно (4–6) d_o, где d_o – диаметр насадки в точке истечения раствора. Чаще всего расстояние размещения насадок составляет (10–20) d_o. Для размещения насадок используют специальные удлинители.

В долотах фирмы *Smit tul* расстояние от насадки до забоя составляет

38 мм – (2,5–4) d_o.

Другой способ повышения эффективности шарошечных долот заключается в применении асимметричной схемы промывки.

Например, известно применение долота (Бухарестский институт нефти и газа), в котором часть жидкости проходит через канал в одной из лап долота, через её цапфу и конус шарошки. Струя жидкости выходит почти параллельно плоскости забоя и при вращении долота смывает шлам из центральной зоны к периферии, откуда его легче удалять в затрубное пространство.

Во Франции разработано и испытано долото с двумя насадками (рис. 1.65), расположенными между шарошками, и одной, направленной вверх. Последняя, создает эжекционный эффект и ускоряет удаление шлама с забоя.

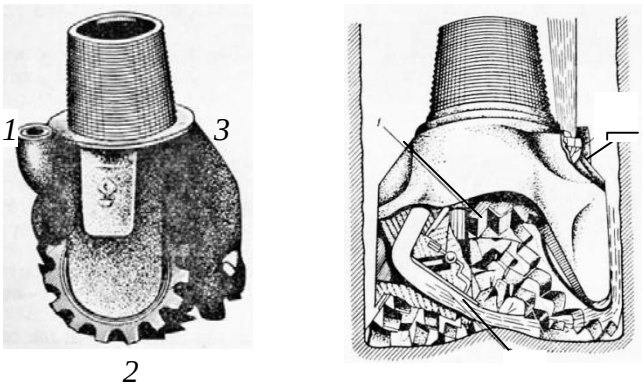


Рис. 1.65. Долота с гидродинамической насадкой, ориентированной вверх.

Эжектор (франц. *egoutteur* – выбрасывать) – *струйный насос, в котором жидкость перемещается (циркулирует), увлекаемая потоком (струей) жидкости или газа.*

Известно также применение долота с комбинированной асимметричной системой промывки: одна обычная периферийная насадка, один канал истечения струи через лапу и еще один промывочный канал, направленный вверх.

Результаты бурения долотами с асимметричной промывкой показали рост скорости проходки и ресурса вооружения и опор долота.

В малогабаритных долотах диаметром 112–46 мм традиционно применяется центральная система промывки забоя.

Гидромониторная струя жидкости, выходящая из сопла долота, распространяется в ограниченном пространстве. Расчет такой струи производится на основе теории затопленных струй.

Анализ показывает, что если струя жидкости к забою будет направлена по касательной, то её породоразрушающее действие может усилиться. В данном случае наибольший эффект может быть достигнут, если струя будет направлена по касательной непосредственно в зону работы зубца шарошечного долота.

Конструкция долот позволяет использовать удлиненные насадки и направлять струю под углом 15–25° к забою в приконтакную зону зубьев шарошки с породой. В приконтактной зоне зуба долота с забоем порода деформирована зубьями, имеет выступы, которые образуются при внедрении в забой, и может быть легко разрушена струей жидкости.

При бурении более прочных пород – твердых и очень твердых, динамическое давление струи должно обеспечить сдвиг и отрыв от поверхности забоя частицы разрушенной породы.

При внедрении зуба шарошечного долота в породу на забое образуются магистральные трещины, направленные от ядра сжатия к поверхности забоя. Скалывание породы по направлениям развития магистральных трещин приводит к образованию лунок выкола. Препятствием этому является угнетающее давление, которое связано с действием гидростатического давления столба жидкости, пластового давления и динамического потока струй жидкости из промывочных каналов долота.

Для эффективного отделения (отслаивания) от забоя отколотых зубьями кусочков породы необходимо направить поток жидкости в зону разрушения по направлению именно в образующуюся трещину отрыва (рис. 1.66).

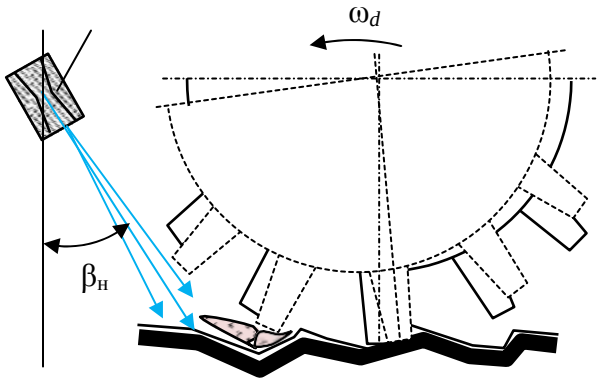


Рис. 1.66. Схема для определения рационального направления струи промывочного раствора из насадки *.1*

Представленная на рис. 1.66 модель интенсификации процесса разрушения твердой горной породы позволила повысить механическую скорость бурения на 30 %, а ресурс долот увеличить на 20 %.

1.7. Разрушение горных пород при вращательно-ударном, ударно-вращательном и ударном способах бурения

1.7.1. Разрушение горных пород при вращательно-ударном способе бурения

Эффективность вращательного бурения твердых горных пород алмазным и шарошечным буровым инструментом может быть существенно повышена за счет наложения высокочастотных ударных импульсов.

Вращательно-ударный способ бурения – это метод разрушения пород вследствие воздействия осевой нагрузки, крутящего момента, характерных для вращательного бурения, и динамической нагрузки, прилагаемой к буровому инструменту в режиме высокочастотных ударных импульсов малой и средней энергии.

Вследствие приложения высокочастотных ударных импульсов в горной породе развиваются дополнительные напряжения и формируются трещины. Особенно значительным становится эффект от ударных импульсов при бурении чрезвычайно твердых, хрупких и малоабразивных горных пород, поскольку применяемые осевые нагрузки на инструмент при вращательном бурении скважин диаметром 46, 59, 76 мм могут быть недостаточны для создания необходимых для объемного разрушения горных пород напряжений. При этом более вероятен недостаток разрушающих напряжений при алмазном бурении твердых и очень твердых горных пород коронками с увеличенной шириной матричного кольца (коронки для бурения снарядами со съемным керноприемником – ССК) и бурении долотами, поскольку в данных случаях особенно проблематично создание достаточных для разрушения контактных напряжений из-за увеличенной площади торца буровых инструментов. Повышение же осевой нагрузки до определенных пределов при вращательном бурении твердых горных пород сдерживается ограниченной прочностью бурильных колонн (особенно колонн ССК), их деформируемостью и, соответственно, вибрацией при бурении, ограничением мощности привода буровых станков при бурении на близких к предельным, по мощности привода, глубинах, наличием кривизны ствола скважины и др. В этих случаях дополнительным силовым фактором, способным интенсифицировать процесс разрушения горной породы, является ударный импульс малой и средней мощности, передаваемый буровой компоновке и буровому инструменту с высокой частотой.

Немаловажным обстоятельством, определяющим повышение эффективности бурения при наложении высокочастотной вибрации на буровую компоновку, является снижение коэффициента трения между колонной и стенкой скважины, что приводит к значительному улучшению условий работы деформированной бурильной колонны.

Так, например, вибрационный, с наложением крутильных колебаний, вид движения бурильной колонны и бурового инструмента преобразуется в более равномерный, максимально соответствующий оптимальным условиям передачи к буровому инструменту осевой нагрузки и крутящего момента.

Рост показателей вращательно-ударного бурения связан со снижением подклинок керна в колонковом снаряде, что также является следствием продольного вибрирования бурового снаряда.

1.7.2. Разрушение горных пород алмазным инструментом в режиме вращательно-ударного бурения

Анализ условий работы алмазных резцов показывает, что стойкость алмазов при вращении обусловлена прежде всего изгибающими напряжениями, а не напряжениями на раздавливание. Таким образом, имеющийся значительный резерв прочностных свойств резцов на сжатие при вращательном бурении не реализуется, поскольку повышение осевого усилия приводит к скалыванию резцов, испытывающих значительные поперечные нагрузки, сопровождающиеся ударами, характерными для процесса скалывания твердых и хрупких горных пород. Реализовать резерв прочности резцов в осевом направлении возможно за счет импульсного приложения нагрузки в направлении перпендикулярном плоскости забоя. В этом случае, в результате кратковременности действия ударного импульса силы трения на границе резец – горная порода не успевают развиваться и тангенциальная составляющая разрушения породы, несмотря на передачу дополнительной энергии, увеличивается незначительно. При этом важным обстоятельством является вибрирование инструмента и ударный характер нагрузок, что приводит к снижению коэффициента трения и способствует скалыванию и отделению кусочков породы от забоя.

Таким образом, прилагая нагрузку в виде кратковременных импульсов, направленных перпендикулярно к плоскости забоя, можно передавать для разрушения горной породы бóльшую энергию и интенсифицировать процесс вращательного бурения. При этом более полно будет использован потенциал прочности породоразрушающих резцов бурового инструмента.

На рис. 1.67, *в* приведена схема работы алмазного резца при вращательном бурении. Из данной схемы следует, что приложение ударного импульса интенсифицирует разрушение породы за счет повышения осевой силовой составляющей, что приводит к росту глубины внедрения резца и дополнительному развитию трещин предразрушения забоя. При этом тангенциальное усилие возрастает в меньшей степени в сравнении с вращательным бурением, что незначительно увеличивает износ и сохраняет работоспособность резцов.

При приложении к алмазной коронке ударных импульсов алмазы внедряются в породу, а избыточный запас энергии удара воспринимает матрица коронки. Повышение контактных напряжений и увеличение глубины внедрения алмазов в породу приводит к увеличению объема слоя породы, разрушаемого за один оборот. В результате отмечается образование крупных частиц шлама, происходит интенсивный абразивный износ матрицы и более активное, в сравнении с вращательным бурением, обнажение алмазов. Таким образом, в меньшей степени проявляются условия, приводящие к заполированию алмазов.

Практика гидроударно-алмазного бурения подтверждает чрезвычайно редкие случаи заполирования алмазов [31], что позволяет рекомендовать вращательно-ударное бурение алмазным инструментом горных пород, склонных вызывать заполирование алмазов.

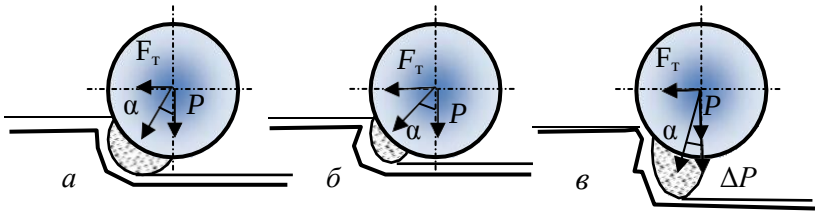


Рис. 1.67. Схемы для анализа процесса разрушения породы алмазным резцом при изменении усилия $F_т$ в процессе вращательного бурения (*а*, *б*) и приложения ударного импульса ΔP (*в*).

На рис. 1.68 представлены результаты исследования влияния ударных импульсов на показатели бурения алмазными коронками диаметром 59 мм.

Как следует из графиков, зависимости изменения механической скорости бурения и проходки на коронку имеют оптимальное значение при 15–20 Дж. С увеличением твердости горных пород оптимальные значения величины энергии удара смещаются в сторону меньших значений энергии.

Осмотр алмазных коронок показал, что с увеличением твердости пород и энергии удара интенсивность износа алмазов увеличивается, что и приводит к снижению проходки на коронку.

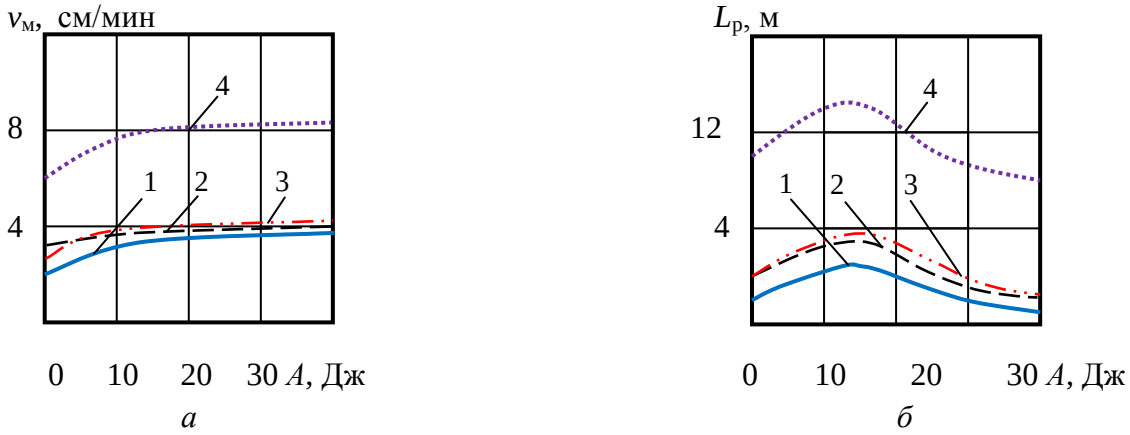


Рис. 1.68. Зависимости показателей бурения алмазной коронкой 01А3 от энергии удара A: *а* – механической скорости; *б* – проходки на коронку по породам:
1 – кварцит; 2 – гранит; 3 – лабрадорит; 4 – песчаник.

Рациональной для алмазных коронок диаметром 59 мм оказалась энергия удара 15 Дж, для коронок диаметром 76 мм – 20 Дж.

Оптимальная частота ударных импульсов $n_{уд}$, передаваемых породе, при вращательно-ударном бурении должна быть равна частоте циклов разрушения породы резцами.

Частота циклов разрушения породы за один оборот инструмента на забое $n_ц$ определится из соотношения длины периметра забоя радиусом R и интервала скола породы передней гранью резца $l_ц$[12]:

$$n_ц = \frac{2\pi R}{l_ц}.$$

Оптимальная частота ударных импульсов при принятом условии равенства частоте циклов разрушения породы резцами будет определяться из зависимости

$$n_{уд} = \frac{\omega n_{ц}}{n_{р}} = \frac{2\pi R \operatorname{tg} \gamma_{ск}}{h_{л} n_{р}} \omega, \qquad (1.2.)$$

где $h_{л}$ – глубина борозды разрушения резцом, м; $n_{р}$ – число активно работающих резцов в линии резания на торце коронки; $\gamma_{ск}$ – угол скалывания породы резцом, град.

Из формулы 1.2. следует, что оптимальная частота ударов по забою пропорциональна частоте вращения инструмента, а значит, при повышении частоты вращения бурового инструмента частота ударных импульсов должна повышаться в равной степени. Действительно, опыт вращательно- ударного бурения свидетельствует, что с увеличением частоты вращения инструмента при постоянной частоте ударов эффективность наложения ударных импульсов снижается: рост механической скорости бурения при частоте вращения 300 мин$^{-1}$ составил 1,5–2,0 раза, а при частоте вращения 1 000 мин$^{-1}$ – только 1,1–1,3 раза.

Рациональная частота вращения бурового инструмента с учетом абсолютного значения механической скорости бурения и ресурса инструмента, возможно, заключена между приведенными значениями частот вращения 300 и 1 000 мин$^{-1}$.

При известной частоте ударов $n_{уд}$, реализуемой гидроударником, которая может варьировать в пределах 2 500–3 500 ударов в минуту, важно определить рациональную частоту вращения бурового инструмента. С учетом зависимости для расчета числа активно работающих резцов $n_{р}$ из зависимости 1.2. получим

$$\omega = \frac{n_{уд} N_0 h}{2\pi R \operatorname{tg} \gamma_{ск}} \qquad (1.3.)$$

где N_0 – число резцов в линии резания на торце коронки (средняя линия торца матрицы на расстоянии от центра торца, равном R); h – глубина внедрения резца в породу.

Из приведенной зависимости следует, что для эффективной реализации вращательно-ударного алмазного бурения на высоких частотах вращения бурового инструмента следует применять забойные ударные машины, реализующие максимально возможные частоты ударов. Резерв повышения эффективности определяется также повышением глубины внедрения резцов в породу. Поэтому лучшие результаты бурения могут быть получены при использовании алмазного инструмента с заданным увеличенным выпуском резцов. Более высокой оптимальная частота вращения будет при бурении импрегнированными коронками, так как существенно возрастает число работающих резцов.

Результаты алмазного вращательно-ударного бурения в ПГО «Севзапгеология» (данные И. С. Афанасьева и др.) свидетельствуют, что лучшие результаты по механической скорости бурения получены при частотах вращения 300–780 мин$^{-1}$, при этом интенсивность роста механической скорости бурения импрегнированными коронками оказалась выше, чем при бурении однослойными. В то же время эффект применения высокочастотных гидроударников ГВ-6 и Г-59В снижается при использовании однослойных коронок с более крупными алмазами.

Осевая нагрузка при вращательно-ударном бурении играет не меньшую роль, чем частота вращения, и должна подбираться наряду с частотой вращения. Для месторождений Северо-Запада по результатам буровых работ определено, что при частоте вращения инструмента 430 мин$^{-1}$ оптимальными для однослойных коронок будут осевые нагрузки 1 200–1 600 даН, а для импрегнированных – 1 100–1 800 даН.

При алмазном вращательно-ударном бурении на забой необходимо подавать пониженное количество промывочной жидкости, соответствующее требованиям бурения алмазным инструментом. В то же время для работы гидроударника требуется значительное количество промывочной жидкости, существенно превышающее нужное количество по условию эффективного разрушения породы алмазным инструментом.

Для уменьшения количества поступающей на забой промывочной жидкости в корпусе кернорвателя сверлят отверстия или применяют специальные делители потока промывочной жидкости.

Максимальный эффект от применения вращательно-ударного бурения в различных производственных организациях получен при бурении твердых, хрупких и малоабразивных горных пород, при разрушении которых алмазными коронками имеет место заполирование алмазов: механическая скорость возрастает на 30–40 %, углубление за рейс увеличивается на 15–25 %, ресурс коронок повышается на 35–50 %, выход керна возрастает с 70 до 80–90 %, снижается интенсивность естественного искривления скважин.

1.7.3. Разрушение горных пород шарошечными долотами в режиме вращательно-ударного бурения

Интенсификация процесса разрушения горных пород наложением ударных импульсов возможна и при бурении шарошечными долотами. Особенно оправдано применение ударных забойных машин при бурении достаточно твердых горных пород, для разрушения которых требуется значительная осевая нагрузка на долота.

Опыт применения (по данным А. Т. Киселева и В. Г. Кардыша) гидроударных забойных машин показал, что вследствие роста удельных контактных напряжений в породе при бурении горных пород VII–XII категорий по буримости при осевой нагрузке 15–20 кН и частоте вращения 280–430 мин$^{-1}$ средний ресурс двухшарошечных долот диаметром 76 мм возрос вследствие применения высокочастотных гидроударников с 11 до 19 м, а скорость бурения увеличилась с 3,4 до 4,8 м/ч.

При этом достигнут более значительный рост показателей при бурении трехшарошечными долотами в сравнении с двухшарошечными, что подтверждает вывод о влиянии на эффективность разрушения породы прежде всего контактного напряжения, которое существенно возрастает при наложении ударного импульса. У трехшарошечных долот, как известно, площадь контакта вставок с породой забоя несколько выше, чем у двухшарошечных, а значит, роль дополнительной ударной нагрузки оказалась более значительной.

Применение гидроударников при бурении шарошечными долотами позволяет бурить на пониженных осевых нагрузках, но с более высокой механической скоростью, что в результате и сказывается на ресурсе долот.

При бурении шарошечными долотами в режиме вращательно- ударного бурения отмечено, что с повышением частоты вращения бурового инструмента эффективность разрушения породы снижается, т. е. остается справедливой закономерность, отмеченная ранее для вращательно- ударного бурения алмазным инструментом.

В зависимости от диаметра долот рекомендуются для использования гидроударники с различной энергией удара: для бурения долотами диаметром 59 мм подходят высокочастные ударные машины с энергией удара 15 Дж, для долот диаметром 76 мм гидроударники со средней частотой удара и энергией удара 60–80 Дж, а при бурении долотами диаметром 93 мм целесообразно использование гидроударников с высокой энергией и малой частотой ударного импульса.

Таким образом, для бурения долотами больших размеров более подходит ударно-вращательный способ бурения, при котором преобладает ударное разрушение горной породы над режимом вращательного бурения.

1.7.4. Разрушение горных пород при ударно-вращательном способе бурения

Ударно-вращательный способ бурения – способ разрушения горных пород ударными нагрузками, под действием которых происходит скалывание и дробление породы, а осевая нагрузка на инструмент и вращение бурового инструмента исполняют вспомогательную роль, обеспечивая процесс ударного разрушения породы.

Он применяется при бурении скважин погружными пневмоударниками и шпуров в твердых горных породах перфораторами.

Ударно-вращательный способ характеризуется высокими значениями энергии удара (не менее 40 Дж), малыми значениями частоты вращения бурового инструмента (10–60 мин$^{-1}$) и осевой нагрузки (300–600 даН на инструмент диаметром 59–105 мм).

Вращение инструмента в сочетании с частотой ударов обеспечивает определенную схему поражения забоя (расстояние между ударами вставок о породу), которая может быть эффективной только при определенном соотношении частот удара и вращения.

Привод вращения бурового инструмента при реализации ударно- вращательного бурения может быть:

- от бурового станка, т. е. за счет вращения всей бурильной колонны;
- поворотного механизма, обеспечивающего поворот долота во взаимодействии с циклом ударных нагрузок;
- возможно вращение колонны забойным гидродвигателем.

Осевая нагрузка при этом способе бурения носит вспомогательный характер и должна обеспечивать не внедрение резцов инструмента в породу, как это происходит при вращательном способе бурения, а постоянный контакт долота или коронки с забоем.

Результаты экспериментов, приведенные в, показывают, что при малых значениях энергии удара статическая осевая нагрузка способствует снижению энергоемкости разрушения, однако дальнейшее повышение энергии удара приводит к преобладающему влиянию на процесс разрушения динамической силы и влияние статической нагрузки становится несущественным (рис. 1.69).

Очевидно, что при ударно-вращательном бурении значительный недостаток осевого усилия приведет к отскакиваниям долота от забоя и эффект передачи ударного импульса будет снижен.

Чрезмерная осевая нагрузка приводит к тому, что породоразрушающие вставки будут находиться в постоянно заглубленном в породу положении, а это не позволит реализовать задаваемую вращением инструмента эффективную схему поражения забоя между ударами. В то же время высокая осевая нагрузка и задавливание резцов в породу при наложении мощного ударного импульса приводят к разрушению породоразрушающих вставок.

При ударно-вращательном бурении крайне важна схема поражения забоя породоразрушающими вставками бурового инструмента.

В представлены результаты оценки влияния схемы нанесения ударов по забою клиновидными (острым и притупленным, рис. 1.70, *а, б*) инденторами. Эти исследования важны при обосновании параметров технологии ударно-вращательного бурения, в частности частоты вращения инструмента.

При рассмотрении трех схем поражения забоя (рис. 1.70, *а, б, в*) установлено, что минимальная энергоемкость разрушения достигается при реализации второй схемы поражения забоя острым индентором.

Результаты исследований приведены в табл. 5. Анализ данных показывает, что энергоемкость разрушения снижается при нанесении ударов по подготовленному и предварительно ослабленному забою. В этих условиях будут достаточно эффективны острые инденторы.

При радиальном равномерном размещении резцов на торце коронки или долота вторая схема поражения забоя (рис. 1.70) может рассматриваться как основная при обосновании параметров режима бурения.

Таблица 1.4.

Энергоемкость разрушения породы при различных схемах поражения забоя

Форма торца индентора	Энергоемкость разрушения, Дж/см^3		
	Схема поражения забоя на рис. 1.70, *а*	Схема поражения забоя на рис. 1.70, *б*	Схема поражения забоя на рис. 1.70, *в*
Притупленный клин	2 000	260	370
Острый клин	400	160	280

Обязательным условием осуществления рациональной схемы нанесения ударов является смещение (отставание) ударов от предыдущих на определенное расстояние. Это, прежде всего, связано с тем, что вследствие вращения инструмента удар по забою наносится не под прямым углом, а с некоторым отклонением (косой удар). Именно поэтому для рационального использования энергии удара следует обеспечивать некоторое смещение центра удара, а расстояние *К* от следа первого удара может составлять 0,6–0,75.

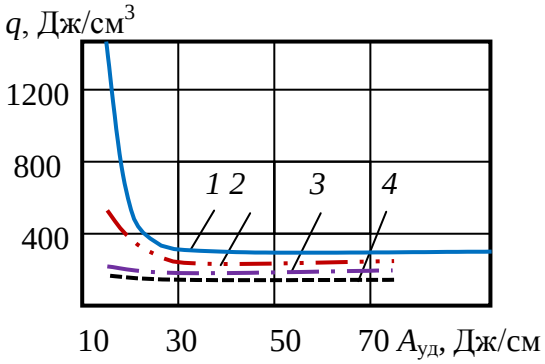


Рис. 1.69. Зависимости энергоемкости разрушения *q* притупленным клином от энергии удара $A_{уд}$ при различных значениях статической нагрузки: *1* – 0,1 кН/см; *2* – 1 кН/см; *3* – 3,3 кН/см; *4* – 6,7 кН/см

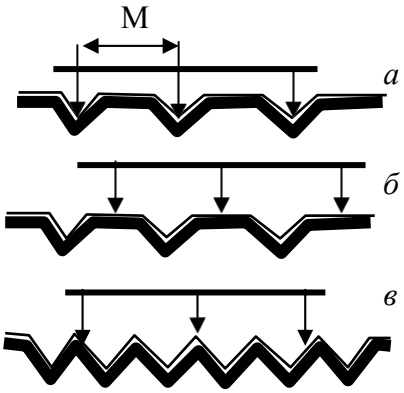


Рис. 1.70. Схемы нанесения ударов в плоскости забоя (М = 16 мм): *а* – лунки не взаимодействуют друг с другом; *б* – повторные удары наносятся между лунками; *в* – удары по нарушенному забою

На рис. 1.71. дана зависимость механической скорости бурения при пневмоударном бурении долотами, вооруженными лезвиями с радиальным расположением от частоты вращения. Из графиков следует, что в диапазоне частот вращения 0–100 мин$^{-1}$ отмечается 2–3 экстремальных значения. Представленные графики подтверждают наличие рациональной схемы поражения забоя, которая определяется частотой вращения инструмента. Минимальная скорость бурения (точки *2*, 2^{I}) получена при совпадении лунок разрушения с повторным нанесением ударов. Максимальная скорость бурения (точки *1*, 1^{I}, *3*, 3^{I}) получена при нанесении ударов по выступам, расположенным между лунками разрушения.

В случае если породоразрушающие вставки располагаются на торце инструмента не по радиальной схеме, зависимость механической скорости бурения от частоты вращения будет иной, отличной от представленной на рис. 1.72. Поперечное расположение лезвий на торце, а также применение сферических породоразрушающих вставок приводит к тому, что зависимость механической скорости бурения от частоты вращения инструмента получила форму параболы с одним максимумом (рис. 1.73).

При этом характерно, что для менее твердых пород максимум частоты вращения, при котором достигнута наиболее высокая механическая скорость бурения, смещен в сторону больших значений (~ 50 мин$^{-1}$), а при бурении твердых и крепких пород максимальная скорость бурения полу- чена при малых значениях частоты вращения (~ 30 мин$^{-1}$). На рис. 1.73 эта закономерность отмечена восходящей стрелкой через вершины максимальных значений графиков скорости бурения.

Зависимость скорости ударно-вращательного бурения от осевой нагрузки определяется тем, что с ее увеличением в начале рейса механическая скорость бурения возрастает, но в течение рейса снижается и тем интенсивнее, чем она выше (рис. 1.74). Эти данные показывают, что чрезмерные осевые нагрузки при ударно-вращательном бурении приводят к более интенсивному разрушению породоразрушающих вставок.

Зависимость скорости бурения от давления сжатого воздуха показывает практически прямопропорциональный рост скорости бурения при повышении давления.

При этом повышение давления сжатого воздуха, например, при бурении бесклапанными пневмоударниками высокого давления фирмы *Atlas Copco* типа *Cop* до значений 2–2,5 МПа приводит к значительному росту механической скорости, предельные значения которой не установлены.

Более высокая скорость бурения достигается в более твердых гранитах в сравнении с существенно менее твердым известняком.

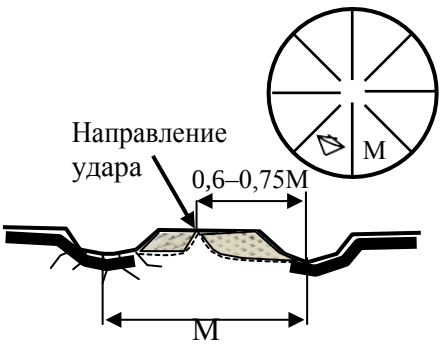


Рис. 1.71. Схема поражения забоя при ударно-вращательном бурении.

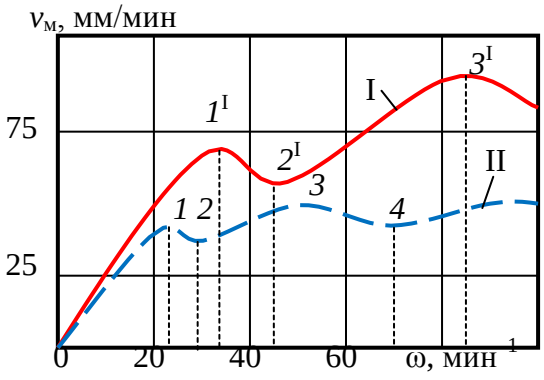


Рис. 1.72. Зависимость механической скорости бурения от частоты вращения: I – известняк VII категории по буримости; II – кварцит X категории по буримости

Пневмоударники типа *Cop* 32, *Cop* 42, *Cop* 52, *Cop* 62 предназначены для бурения скважин диаметром 85–165 мм, в том числе по технологиям *OD*, *ODEX* и *DEPS*.

OD, ODEX, DEPS – системы ударно-вращательного бурения по валунно-галечникам с одновременным креплением ствола скважины обсадной колонной компании *Atlas Copco*:

OD(over drilling) – погружной пневмоударник инициирует удары как по вращаемой обсадной колонне с породоразрушающим башмаком, так и внутренней бурильной колонне;

ODEX (over drilling excentrics) – усовершенствованная система *OD*, в которой происходит бурение расширенного ствола скважины специальным эксцентричным долотом и одновременное его крепление обсадной колонной;

DEPS – удары по обсадной и бурильной колонне наносятся двумя различными пневмоударниками, что удваивает ударную мощь системы и позволяет бурить более глубокие скважины.

Забойные ударные машины *Cop* 32 работают при давлении воздуха 0,6–1,2 МПа с частотой 1 300–1 650 ударов в минуту и предназначены для бурения скважин диаметром 85–100 мм. Пневмоударники *Cop* 42 работают при давлении 0,6–2,5 МПа с частотой ударов 1300–2100 ударов в минуту и предназначены для бурения скважин диаметром 105–125 мм.

В настоящее время ударно-вращательное бурение пневмоударниками высокого давления является наиболее производительным из всех существующих механических способов бурения.

Этот способ бурения становится все более популярным при выполнении геологоразведочных работ, что объясняется его более низкой стоимостью. В то же время шламовая проба не может по качеству быть сопоставима с керном, но в настоящее время техника бурения и техническое оснащение методов оценки пробы достаточно усовершенствованы и соответствуют требованиям геологической службы.

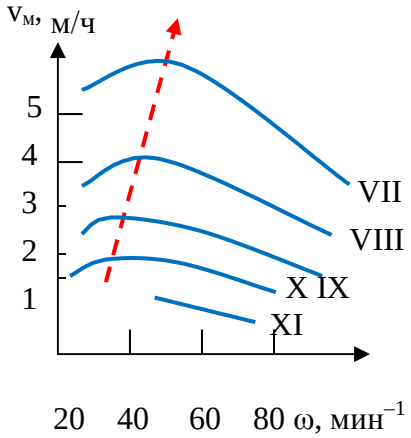


Рис. 1.73. Зависимость скорости бурения от частоты вращения снаряда в породах различной категории по буримости долотами с поперечно-радиальным расположением вставок на торце.

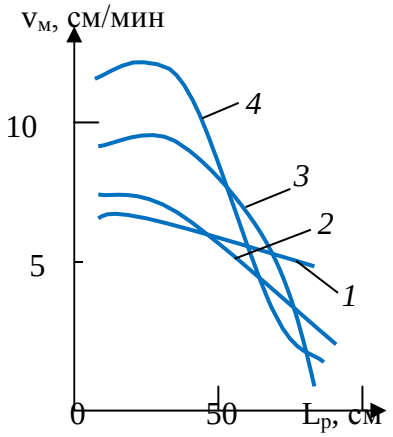


Рис. 1.74. Зависимость скорости бурения от длины рейса при частоте вращения снаряда 40 мин$^{-1}$ и различных осевых нагрузках: *1, 2, 3, 4* – осевая нагрузка 5, 10, 15 и 20 кН соответственно.

На сегодняшний день в таких станах, как США, ЮАР, Австралия, в силу сложившихся тенденций значительная часть скважин бурится с опробованием, которое основывается на комбинированном варианте: до рудной зоны бурение ведется с обратной циркуляцией очистного агента с отбором шламовой пробы, а по рудной зоне производится отбор керна.

Таким образом, ударно-вращательное бурение получает все большее распространение при проведении геологоразведочных работ, появляются новые мощные забойные машины и инструменты, совершенствуется технология бурения и методика опробования по шламу.

С повышением глубины скважины вследствие увеличения сопротивлений и давления воздуха скорость бурения снижается. Например, при повышении глубины скважины от 100 до 200 м скорость бурения снизилась на 35 %. Поэтому с глубиной снижается производительность бурения пневмоударниками, наблюдается намокание шлама и образование сальников, осложнены условия опробования вследствие влияния подземных вод.

При этом важно подчеркнуть, что эффективность пневмоударного бурения в слабообводненных породах снижается, если используется низкое давление воздуха в пределах 0,3–0,5 МПа. При бурении пневмоударниками высокого давления подобные проблемы могут возникнуть только при значительной (более 500 м) глубине скважин в связи со снижением давления подаваемого воздуха вследствие роста аэродинамических сопротивлений с глубиной скважины, что ведет к ухудшению выноса шлама, образованию сальников и осложнениям при подъеме инструмента.

Одним из средств борьбы с осложнениями в этих условиях является применение воздуха с добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ).

В то же время известно, что применение смеси воздуха и ПАВ дает снижение механической скорости бурения вследствие падения ударной мощности забойной машины. Например, при расходе ПАВ в пределах 5–6 л/мин с изменением концентрации в растворе от 0,5 до 4 % скорость бурения понижается незначительно (в пределах 10 %), а при повышении концентрации ПАВ до 5 % и более ведет к снижению механической скорости на 25–35 %.

Других особенностей бурения с ПАВ, которые бы могли повлиять на выбор параметров режима бурения, в практике не отмечено.

1.7.5. Разрушение горных пород при ударном способе бурения

Ударный способ разрушения горных пород относится к наиболее древним. В настоящее время он реализуется при проведении геологоразведочных работ как ударно-канатный и ударно-забивной. Ударно-канатный способ бурения чаще всего применяют при разведочных работах на россыпных месторождениях, а ударно-забивной – при бурении всухую рыхлых и мягких пород с целью получения качественной пробы.

Различают также ударно-штанговое бурение, которое вместе с ударно-канатным относится к ударно-поворотному способу бурения.

Породоразрушающие инструменты, применяемые при ударно-канатном бурении имеют клиновидную форму рабочей торцевой поверхности (рис. 1.75, *а, б, в*). Основными элементами таких долот являются лезвие *1*, щеки *2*, корпус *3* и резьбовая головка *4* для присоединения к буровому снаряду.

Лезвие долота имеет следующие параметры:

- угол приострения α;

- длину, которая определяет диаметр скважины;

- форму, которая может быть плоской (рис. 1.75, *а*), вогнутой (рис. 1.75.*б*) или дугообразной (рис. 1.75, *в*).

У долот может быть различным и количество лезвий: у плоских долот одно лезвие,

крестовых – два пересекающихся лезвия, двутавровых – одно основное и два дополнительных по краям и др.

Усилия, разрушающие породу при ударном бурении, носят динамический характер, а разрушение происходит за счет дробления, смятия и скалывания породы.

При внедрении лезвия долота в твердую хрупкую породу под его торцом она дробится, а разрушенная вытесняется из под торца долота. Разрушение породы определяется влиянием ряда факторов, таких как сила удара $P_д$, количество ударов m, наносимых по забою, величина угла поворота долота после каждого удара.

Внедрение бурового инструмента в породу сопровождается образованием четырех зон разрушения (рис. 1.76) [26]. Величина и соотношение этих зон зависят от свойств породы, определяющих ее способность разрушаться под действием ударного импульса, формы лезвий долота и их числа, величины ударного импульса и др.

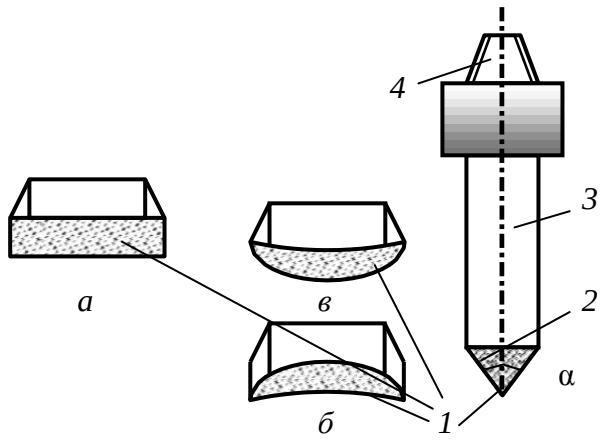


Рис. 1.75. Долото для ударного бурения:
а – плоское; *б* – вогнутое; *в* – дугообразное

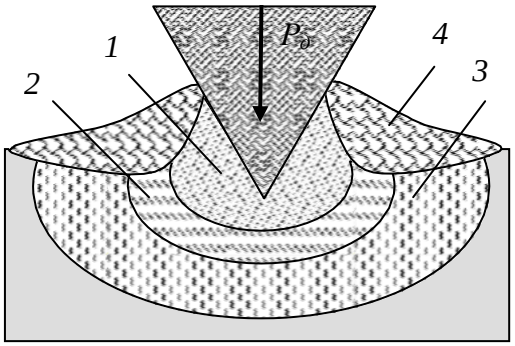


Рис. 1.76. Схема внедрения бурового инструмента в породу:
1 – зона дробления; *2* – зона разрушения; *3* – зона трещинообразования; *4* – зона скола.

1.8. Взрывное разрушение

1.8.1. Понятие о взрыве

Взрывные работы широко применяют в геологоразведочном деле и при добыче полезных ископаемых. Взрывным способом создают котлованы, дамбы, плотины, дороги и другие сооружения, при которых применяют взрывы на сброс или выброс. Особое место занимают взрывные работы при проведении горноразведочных работ.

В геологоразведке взрывные работы применяют при сейсморазведке для возбуждения упругих волн, по скорости распространения которых определяют свойства горных пород, выделяют геологические структуры и наличие залежей углеводородов и других полезных ископаемых.

Взрывным способом ликвидируют аварии при бурении скважин, повышают дебит газа и нефти за счет увеличения трещиноватости пластов. Взрывные работы используют при тушении пожаров.

При проведении горноразведочных горных выработок взрыванием обеспечивается формирование канав и разрушение породы (отбойка) в забое горной выработки.

Технология разрушения горных пород взрывом существенно усовершенствовалась при появлении короткозамедленного взрывания.

Взрывные работы характеризуются высокой производительностью и экономичностью, поэтому они нашли широкое применение при проведении горно-разведочных выработок, особенно для разрушения твердых горных пород.

Впервые задача физической сущности взрыва была исследована М. В. Ломоносовым, в работе «О природе и рождении селитры» в 1748 г. Им дано определение взрыва как очень быстрого выделения значительного количества энергии и большого объема газов.

В современной интерпретации *взрыв – процесс сверхзвукового физического или химического превращения взрывчатого вещества за счет прохождения по нему детонационной волны, сопровождающейся переходом потенциальной энергии этого вещества или продуктов его превращения в кинетическую*.

Взрывчатым веществом называют смеси и химические соединения, способные под влиянием внешнего воздействия (нагрева, удара, трения) взрываться, т. е. чрезвычайно быстро превращаться в другие соединения с образованием большого количества тепла и газов.

Таким образом, взрыв, взрывчатое превращение – это быстро протекающая в веществе химическая реакция, сопровождающаяся образованием большого количества газов и значительным выделением тепла, в результате чего газы нагреваются до высокой температуры, а в месте нахождения взрывчатого вещества развивается высокое давление. Взрывчатое вещество применяют в зарядах, под которыми понимают определенную массу вещества, подготовленную к взрыву.

Скорость взрывчатого разложения внутри заряда взрывчатого вещества может быть разной и в значительной степени определяет разрушительное действие взрыва на окружающую среду.

По характеру воздействия на горную породу взрывчатые вещества делятся на две группы:

- бризантные;
- метательные (пороха).

Среди бризантных взрывчатых веществ в особую группу выделяют обладающие высокой чувствительностью инициирующие вещества, которые применяют в качестве средств инициирования (детонаторы).

Промышленные взрывчатые вещества предназначаются для дробления, разрушения и перемещения горных пород.

Существуют три формы химических превращений взрывчатых веществ:

- медленное химическое превращение;
- горение;
- детонация.

Медленное химическое превращение протекает при низких температурах по всему объему вещества.

При горении передача тепла от слоя к слою происходит в результате теплопроводности. Скорость горения может быть от долей сантиметра до десятков метров в секунду.

Взрыв, распространяющийся с постоянной и высокой скоростью, называют детонацией. При детонации энергия по заряду взрывчатого вещества распространяется со скоростью 2–8 тысяч в секунду.

Быстрое химическое и физическое превращение вещества, сопровождается мгновенным переходом потенциальной энергии в тепловую, резким повышением давления на окружающую среду и звуковым эффектом. По своей природе взрывы делятся на:

- физические, которые приводят только к физическим преобразованиям веществ, например беспламенное взрывание с помощью сжатого воздуха;

- химические, при которых наблюдаются быстрые химические реакции с выделением тепла;
- ядерные, в основе которых реакции деления ядер вещества с образованием новых элементов.

При взрывных работах на горных предприятиях применяют химические взрывы.

Физическая сущность детонации. Ударная волна характеризуется резким скачкообразным изменением параметров вещества – давления, плотности, температуры и скорости. Поэтому детонационная волна от ударной отличается тем, что за фронтом ударной волны идет зона химической реакции, где выделяется энергия взрывчатого превращения, часть которой расходуется на поддержание устойчивого распространения детонации.

Промежуточным между горением и детонацией является взрывное горение, которое от основных форм отличается непостоянством скорости. Формы взрывчатого превращения в зависимости от условий могут переходить одна в другую (горение в детонацию и наоборот). Порохам присуще сравнительно медленное разложение в форме горения, поэтому они оказывают на внешнюю среду преимущественно метательное действие.

Ударная волна, проходящая по взрывчатому веществу, сжимает и разогревает его, вызывая химическую реакцию. Реакция сопровождается выделением большого количества тепла, которое трансформируется в энергию сжатых газов и передается в головную ударную волну, компенсируя потери ее энергии на сжатие вещества (рис. 1.77).

При этом начинается химическая реакция и давление достигает максимального значения p_{max} при объеме V_{min}. Реакция развивается с выделением тепла и расширением продуктов взрыва, давление при этом падает, а объем увеличивается. Заканчивается реакция в точке *N* на ударной диабате продуктов взрыва, называемой точкой Чепмена–Жуге, с параметрами $p_ж$ и $V_ж$. При этом прямая 2 соединяет параметры состояния исходного вещества с параметрами всплеска в состоянии максимального сжатия и завершения реакции.

Вещество в детонационной волне последовательно проходит все состояния по прямой *ANM*. Участок *AN* соответствует зоне сжатия в ударной волне, участок *NM* – зоне химических реакций.

По гидродинамической теории детонации взрывчатое вещество характеризуется ударной адиабатой *1*, а конечные продукты – адиабатой *3*. Продолжительность химической реакции в детонационной волне составляет 10^{-6}–10^{-7} с.

Скорость детонации $\Omega_д$, скорость движения продуктов взрыва $\Omega_п$ и скорость звука в продуктах взрыва *C* связаны соотношением $\Omega_д = \Omega_п + C$.

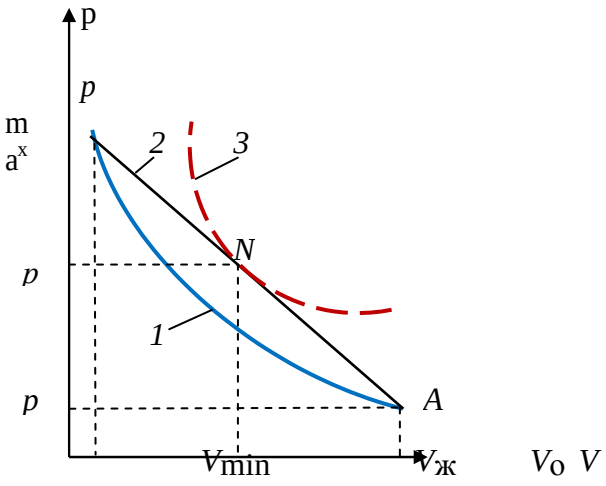


Рис. 1.77. Изменение состояния взрывчатого вещества в детонационной волне

1.8.2.Механизм разрушения пород взрывом

В результате взрывного разрушения за счет высокой скорости приложения нагрузки и деформирования среды образуется множество трещин в отличие от статического разрушения, для которого характерно образование единичных трещин.

В безграничной среде, где влияние свободной поверхности мало, взрывное разрушение протекает двустадийно.

Первичное разрушение происходит на динамическом фронте дробления – поверхности, где достигается предельное упругое состояние среды и образуются макротрещины по двум механизмам: сколом – при достижении предельных сдвиговых напряжений (в ближней к центру взрыва зоне, где напряжения сжимающие), отрывом – при достижении прочности на отрыв (в дальней зоне, где действуют растягивающие напряжения). Преобладающая масса среды на фронте дробления разрушается отрывом, так как прочность на сдвиг в хрупких средах и горных породах значительно превосходит прочность на отрыв. В результате образуется зона радиальныхтрещин.

Вторичное разрушение протекает при последующем сдвиговом деформировании нарушенной среды. Оно преобладает около взрывной полости, где деформации имеют наибольшее значение, являются основной причиной переизмельчения среды и бесполезных тепловых потерь энергии, обусловленных внутренним трением в разрушенной среде. Трещины при вторичном взрывном разрушении ориентированы беспорядочно. Это так называемая зона дробления. Влияние вторичного дробления растет с деформацией, поэтому его наибольший вклад будет в случае сильного взрыва (ядерного), когда степень деформирования существенно возрастает по сравнению с химическим взрывчатым веществом.

Размер зоны дробления R существенно зависит от интенсивности взрывного источника. Если начальное давление продуктов взрыва близко к прочности на сжатие, зона дробления может вообще отсутствовать. В этом случае преобладает разрушение отрывом, а зона радиальных трещин начинается от взрывной полости.

При взрыве вблизи свободной поверхности массива описанный механизм разрушения дополняется отколом – разрушением путем отрыва под действием растягивающих радиальных напряжений, возникающих при отражении взрывной волны от свободной поверхности (рис. 1.78). При откole трещины ориентированы в основном параллельно свободной поверхности. Максимальная глубина зоны откольного разрушения не превышает половины длины фазы сжимающих напряжений взрывной волны.

Качество взрывного разрушения характеризуется распределением кусков по размеру. При взрыве в однородной среде (без начальной трещиноватости) установлена чёткая корреляция между механизмом разрушения и гранулометрическим составом разрушенной среды. Первичное разрушение приводит к образованию в горной массе примерно равного количества кусков различного размера, при вторичном разрушении большая часть кусков имеет приблизительно одинаковый размер.

В реальных горных породах всегда существуют дефекты (неоднородности) различного масштаба – от естественной трещиноватости массива до дислокаций в зернах минералов, которые приводят к зарождению трещин и определяют гранулометрический состав разрушенной взрывом горной породы. Преимущественное влияние тех или иных неоднородностей зависит от величины действующих напряжений и проявляется дифференцированно в зависимости от расстояния от центра взрыва и интенсивности взрывного источника. Около взрывной полости, где действуют максимальные напяжения, разрушению могут подвергаться даже самые прочные минералы, входящие в горную породу. Наибольшее влияние на формирование гранулометрического состава оказывают макро- и микротрещиноватость и слоистость.

Например, при слабом взрыве в породе с чётко выраженной блочной структурой

гранулометрический состав определяется в основном начальной системой трещин. На взрывное разрушение, т. е. на создание новых поверхностей в массиве, расходуется около 1 % от всей энергии взрыва.

Если взрыв производят в слоистых породах в направлении, перпендикулярно слоям, то сдвиг породы происходит вдоль слоев, а отрыв перпендикулярном к слоям. Так как предел прочности на сдвиг будет минимален в направлении вдоль слоев, то минимальная энергоемкость разрушения будет тогда, когда сдвиг происходит вдоль слоистости.

Управление разрушающим действием взрыва состоит в возможном регулировании среднего размера куска и набора фракций. С этой целью применяют короткозамедленное и буферное взрывание.

Для разрушения горных пород взрывом в практике геологоразведочных работ используют шпуровые, скважинные, котловые, камерные и накладные заряды.

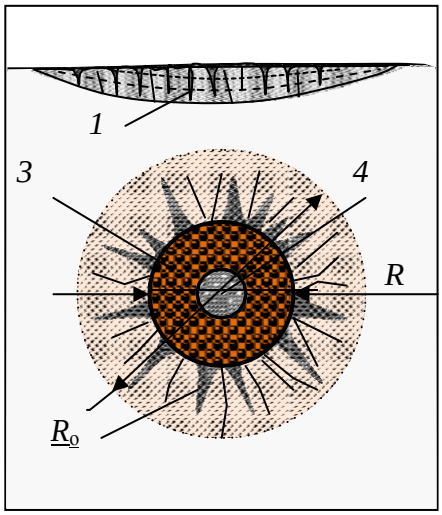


Рис. 1.78. Схема зон взрывного разрушения: *1* – откольного; *2* – радиальных трещин; *3* – дробления; *4* – полость.

Шпуровые заряды выполняют размещением взрывчатого вещества в шпуре (рис. 1.79.). Длина заряда может составлять до 2–3 м при диаметре 32 или 40 мм. Шпур заполняется на ⅔–¾ длины взрывчатым веществом – патронированным или россыпным *1*, а остальная часть забойкой *2* (специальной пробкой или породой). Инициирование взрыва осуществляют при помощи средств взрывания – электродетонаторов *3*, соединяемых в схему электропроводом *4*.

Для взрывания одиночных зарядов или группы из нескольких зарядов могут применяться огнепроводные шнуры, капсюля-детонаторы и детонирующие шнуры.

В большинстве случаев донные части шпуров после взрывания остаются неразрушенными. Эти части носят название «стаканов», а отношение полезно используемой длины шпура к его полной длине называется коэффициентом использования шпура (КИШ). Величина этого коэффициента составляет 0,8–0,9.

Для повышения коэффициента полезного действия взрыва (КИШ) следует использовать наиболее плотную забойку шпура, а также инициировать взрыв в направлении от дна шпура (обратная схема инициирования), рис. 1.79.

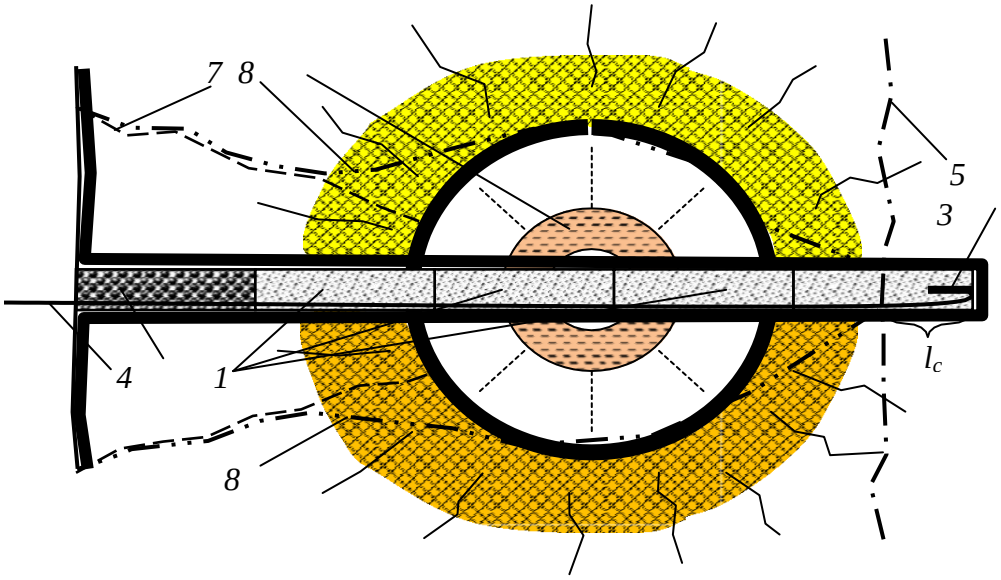


Рис. 1.79. Схема шпурового заряда и его действия при отбойке породы в забое горной выработки: *1* – патроны взрывчатого вещества; *2* – забойка шпура; *3* – электородетонатор; *4* – провод для соединения электродетонаторов; *5* – линия отрыва породы при взрыве группы шпуров в забое выработки; *6* – центр взрыва с расходящимися от центра зонами раздробленной и разбитой трещинами породы; *7* – линия отрыва породы; *8* – линия разрушенной породы в случае взрывания одного заряда; l_c – длина «стакана».

Действие взрыва приводит к дроблению и распространению трещин в породе в направлении от центра взрыва *6*. Направление действия взрыва определяется наличием свободной поверхности, к которой распространяются трещины отрыва *7*. При взрыве одного заряда образуется достаточно узкая полость, контур которой примерно соответствует линии *8*. Взрыв всех шпуров, входящих в систему отбойки породы, приводит к отделению породы по линии *5*.

Шпуровые заряды позволяют производить сравнительно равномерное дробление породы и применяются в самых разнообразных горно- геологических условиях.

Метод скважинных зарядов заключается в том, что во взрываемой породе бурят скважину (глубина более 5 м и диаметр более 75 мм), в которую помещают удлиненные заряды. Этот метод применяют при выполнении взрывных работ на карьерах, когда глубина шпуров недостаточна для размещения нужного количества взрывчатого вещества или если требуется получить большое количество равномерно раздробленной породы. При заряжании скважины для повышения эффективности взрыва более мощные взрывчатые вещества, если применяют взрывчатку различных сортов, рекомендуется помещать в нижней части скважины.

Метод котловых зарядов состоит в том, что шпур или скважину над забоем путем многократного взрывания в них небольших зарядов взрывчатых веществ расширяют до образования камеры, близкой по форме к шару. В эту камеру (котел) после очистки ее от разрушенной породы помещают расчетный заряд взрывчатого вещества для основного взрывания. Операции по получению котлов называют простреливанием шпуров или скважин, а шпур или скважину с котлом в призабойной части – котловым шпуром или котловой скважиной.

Метод котловых зарядов применяется тогда, когда расчетный заряд при заданных глубине шпура или скважины не может поместиться в шпуре или скважине и в тех случаях, если линия сопротивления породы (расстояние от центра заряда до поверхности)

настолько велика, что заряд взрывчатого вещества не в состоянии его преодолеть без концентрации заданного объема взрывчатки.

Метод камерных зарядов заключается в том, что отбойка породы производится путем взрывания сосредоточенных зарядов большой величины (до нескольких десятков и даже сотен тонн), которые помещают в специальные горные выработки, называемые зарядными камерами или просто камерами.

Накладные заряды применяют для разрушения крупных обломков, глыб, больших камней путем наложения взрывчатого вещества непосредственно на объект.

Кроме перечисленных методов взрывания различают еще взрывание на выброс, сброс и др.

Наиболее часто при проведении горноразведочных выработок для разрушения породы применяют шпуровые заряды. Принятые схемы расположения шпуров в забое должны обеспечить отрыв породы в забое выработки в соответствии с ее проектным контуром, а также равномерное дробление породы.

Эффективность буровзрывных работ зависит от количества и схемы расположения шпуров в забое. По назначению шпуры делятся на врубовые, вспомогательные, оконтуривающие.

Врубовые шпуры предназначены для предварительного образования вруба (углубления) с целью создания дополнительных плоскостей обнажения в массиве породы в пределах контура выработки. Врубовые шпуры взрываются первыми, создавая поверхность обнажения, в направлении которой отбивают породу вспомогательные, а затем и оконтуривающие шпуры. Вспомогательные шпуры служат для расширения выемки, образованной при взрывании врубовых шпуров. Применяются вспомогательные шпуры при проходке выработок большого поперечного сечения.

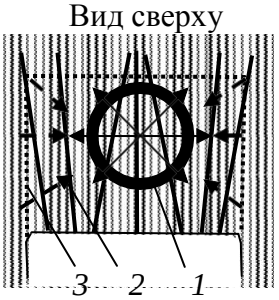


Рис. 1.80. Схема расположения шпуров с центральным клиновым врубом (шпуры *1–6*): *1* – очаг взрыва врубовых шпуров; *2* – направление отбойки породы при взрыве оконтуривающих шпуров; *3* – контур отбитой, в результате взрывания шпуров, породы.

Оконтуривающие шпуры служат клиновым врубом, форма которого и расположение заданы с учетом условий залегания горных пород и отбойки породы до пределов проектного контура сечения выработки. Поэтому располагаются они по периметру выработки и взрываются с задержкой последними.

Схема расположения шпуров с центральным клиновым врубом (рис. 1.80) применяется при вертикальной слоистости горных пород, когдаслои совпадают с направлением продвижения горной выработки или в случае разрушения равномернозернистой породы. Для образования клинового вруба бурят четное количество врубовых шпуров, которые располагают в двух вертикальных плоскостях, направленных под углом к центру выработки.

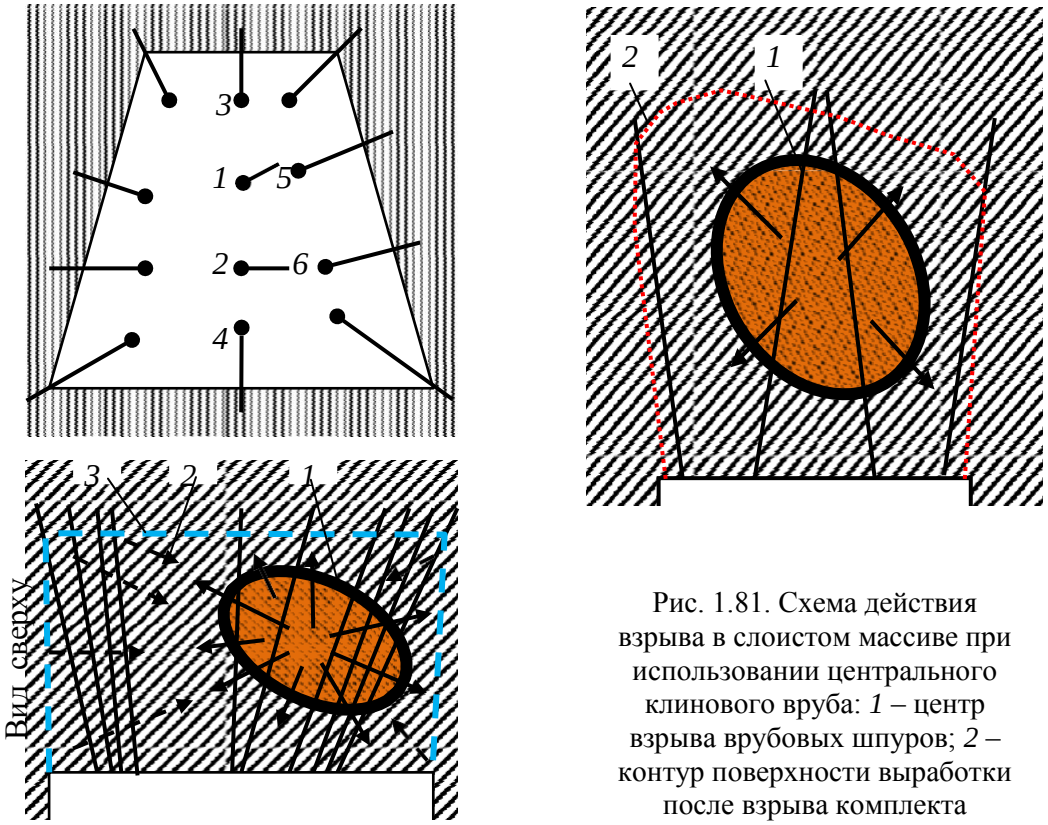


Рис. 1.81. Схема действия взрыва в слоистом массиве при использовании центрального клинового вруба: *1* – центр взрыва врубовых шпуров; *2* – контур поверхности выработки после взрыва комплекта шпуров.

При взрывании шпуров первыми приводят в действие врубовые шпуры, взрыв которых создает полость в центральной части массива породы *1* (рис. 1.81). Вслед за врубовыми шпурами с замедлением 0,1–0,2 сек. производят взрывание вспомогательных и оконтуривающих шпуров. При взрыве оконтуривающих шпуров порода отбивается в направлении центра взрыва врубовых шпуров *2*. В результате взрывания всего комплекта шпуров образуется новая поверхность горной выработки *3*.

В ряде случаев после взрывания врубовых шпуров и замедления взрывают вспомогательные шпуры и только после очередного микрозамедления – оконтуривающие. Последняя схема применяется в случае проходки горных выработок большого сечения.

В случае если при вертикальном расположении слоев горной породы они пересекают выработку под углом со стороны правой стенки, вруб направляется в сторону правой же стенки выработки, т. е. в направлении слоев горных пород. Данная схема расположения вруба позволяет направить энергию взрыва в массив породы с наибольшей прочностью, поскольку порода в этом случае более деформируема, активнее разрушается вкрест слоистости и менее податлива в направлении слоев.

Отмеченная закономерность предопределена анизотропией механических свойств слоистых горных пород, в которых деформации и разрушающие напряжения развиваются неравномерно, а преимущественно в направлении минимальной прочности.

При смещении врубовых шпуров от оси выработки вправо центр взрыва врубовых шпуров *1* смещается от оси выработки также вправо, а взрывание оконтуривающих шпуров с замедлением позволит добиться более равномерного и полного разрушения массива породы перед выработкой и создания новой поверхности выработки в соответствии с проектным контуром *3*.

При симметричном же расположении шпуров горная порода со стороны, совпадающей с направлением слоев, будет разрушаться не в полной мере, а с противоположной стороны более интенсивно. В результате не будет сохранено прямолинейное проектное направление горной выработки и нарушена форма ее поперечного сечения.

2. БУРОВОЙ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

2.1. Буровые коронки твердосплавные

Буровые коронки являются важнейшей частью бурового оборудования. По характеру рабочей поверхности они делятся на 2 типа: твердосплавные и алмазные. Они используются для вращательного бурения скважин сравнительно небольшого диаметра, например:

- геологоразведочных;
- взрывных;
- шпуров и т.д.

Коронки твердосплавные внешне представляют собой короткий цилиндр с твердосплавными пластинами с одной стороны и резьбой – с другой. Сама коронка изготавливается из стали, а пластины и специального высокопрочного сплава. Каждая коронка рассчитана на бурение породы определенной категории. Очистка забоя в большинстве случаев осуществляется с помощью промывочной жидкости.

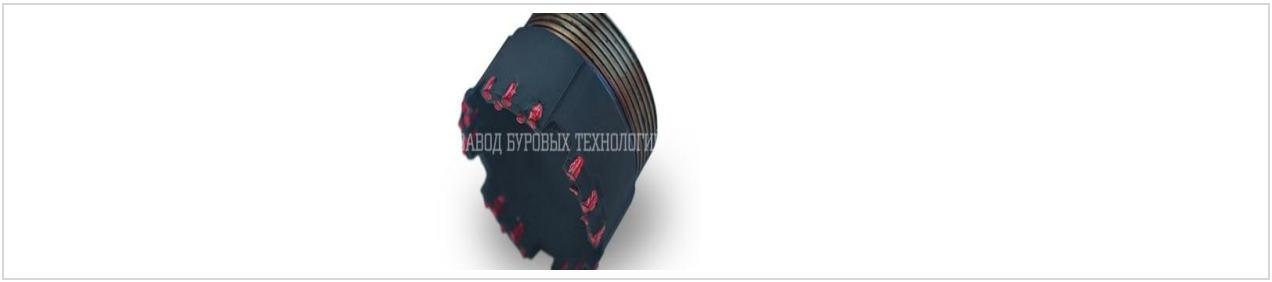


Рис. 2.1. Коронка твердосплавная КТ-2 Ǿ 112.

Применяется при бурении мало абразивных пород V-VI категорий. Слабые песчаники, гипсы, песчаные сланцы, известняки, мягкие сульфиды без кварца, каменные соли, аргиллиты, мягкие сланцы и т.д. Диаметр колонковой трубы 108 мм.



Рис.2.2. Коронка твердосплавная КТ-2 Ǿ 132.

Применяется при бурении мало абразивных пород V-VI категорий. Слабые песчаники, гипсы, песчаные сланцы, известняки, мягкие сульфиды без кварца, каменные соли, аргиллиты, мягкие сланцы и т.д. Диаметр колонковой трубы 127 мм.



Рис.2.3. Коронка твердосплавная КТ-2 Ǿ 151.

Применяется при бурении мало абразивных пород V-VI категорий. Слабые песчаники, гипсы, песчаные сланцы, известняки, мягкие сульфиды без кварца, каменные соли, аргиллиты, мягкие сланцы и т.д. Диаметр колонковой трубы 146 мм.



Рис. 2.4. Коронка твердосплавная КТ-2 Ǿ 172.

Применяется при бурении мало абразивных пород V-VI категорий. Слабые песчаники, гипсы, песчаные сланцы, известняки, мягкие сульфиды без кварца, каменные соли, аргиллиты, мягкие сланцы и т.д. Диаметр колонковой трубы 168 мм.



Рис. 2.5. Коронка твердосплавная КТ-2 Ǿ 76.

Применяется при бурении мало абразивных пород V-VI категорий. Слабые песчаники, гипсы, песчаные сланцы, известняки, мягкие сульфиды без кварца, каменные соли, аргиллиты, мягкие сланцы и т.д. Диаметр колонковой трубы 73 мм.



Рис.2.6. Коронка твердосплавная КТ-2 Ǿ 93.

Применяется при бурении мало абразивных пород V-VI категорий. Слабые песчаники, гипсы, песчаные сланцы, известняки, мягкие сульфиды без кварца, каменные соли, аргиллиты, мягкие сланцы и т.д. Диаметр колонковой трубы 89 мм.



Рис. 2.7. Коронка твердосплавная М-5 Ǿ 112.

Применяется при бурении мягких пород до IV категории. Глины, слабосцементированные песчаники, гипсы, ангидриды, глинистые сланцы с прослоями валунно-галечных отложений. .Диаметр колонковой трубы 89мм.



Рис.2.8. Коронка твердосплавная СА-4 Ǿ 112.

Применяется при бурении абразивных, монолитных, слаботрещиноватых пород VI-VIII категорий. Габбро, пироксениты, порфириты, диориты, дациты, диопсидомагнетитовые и гранатовые скарны. Диаметр колонковой трубы 108мм.



Рис.2.9. Коронка твердосплавная СА-4 Ǿ 132.

Применяется при бурении абразивных, монолитных, слаботрещиноватых пород VI-VIII категорий. Габбро, пироксениты, порфириты, диориты, дациты, диопсидомагнетитовые и гранатовые скарны. Диаметр колонковой трубы 127 мм.



Рис. 2.10. Коронка твердосплавная СА-4 Ǿ 151.

Применяется при бурении абразивных, монолитных, слаботрещиноватых пород VI-VIII категорий. Габбро, пироксениты, порфириты, диориты, дациты, диопсидомагнетитовые и гранатовые скарны. Диаметр колонковой трубы 146 мм.



Рис. 2.11. Коронка твердосплавная СА-4 Ǿ 76.

Применяется при бурении абразивных, монолитных, слаботрещиноватых пород VI-VIII категорий. Габбро, пироксениты, порфириты, диориты, дациты, диопсидомагнетитовые и гранатовые скарны. Диаметр колонковой трубы 73 мм.



Рис. 2.12. Коронка твердосплавная СА-4 Ǿ 93.

Применяется при бурении абразивных, монолитных, слаботрещиноватых пород VI-VIII категорий. Габбро, пироксениты, порфириты, диориты, дациты, диопсидомагнетитовые и гранатовые скарны. Диаметр колонковой трубы 89 мм.



Рис. 2.13. Коронка твердосплавная СА-6 Ǿ 112.

Применяется при бурении абразивных пород VI-VIII категорий. Диаметр колонковой трубы 108 мм.



Рис. 2.14. Коронка твердосплавная СА-6 Ǿ 132.

Применяется при бурении абразивных пород VI-VIII категорий. Песчаники, алевролиты, габбро, диориты, порфириты, окварцованные известняки. Диаметр колонковой трубы 127 мм.



Рис. 2.15. Коронка твердосплавная СА-6 Ǿ 151.

Применяется при бурении абразивных пород VI-VIII категорий. Песчаники, алевролиты, габбро, диориты, порфириты, окварцованные известняки. Диаметр колонковой трубы 146 мм.



Рис.2. 16. Коронка твердосплавная СА-6 Ǿ 59.

Применяется при бурении абразивных пород VI-VIII категорий. Песчаники, алевролиты, габбро, диориты, порфириты, окварцованные известняки. Диаметр колонковой трубы 57 мм.



Рис. 2.17. Коронка твердосплавная СА-6 Ǿ 76.

Применяется при бурении абразивных пород VI-VIII категорий. Песчаники, алевролиты, габбро, диориты, порфириты, окварцованные известняки. Диаметр колонковой трубы 73 мм.



Рис.2. 18. Коронка твердосплавная СА-6 Ǿ 93.

Применяется при бурении абразивных пород VI-VIII категорий. Песчаники, алевролиты, габбро, диориты, порфириты, окварцованные известняки. Диаметр колонковой трубы 89 мм.



Рис.2. 19. Коронка твердосплавная СМ-5 Ǿ 112.

Применяется при бурении абразивных, монолитных, слаботрещиноватых пород V-VI категорий. Доломиты, известняки, глинистые и песчаные сланцы, серпентиниты. Диаметр колонковой трубы 108 мм.



Рис. 2.20. Коронка твердосплавная СМ-5 Ǿ 132.

Применяется при бурении абразивных, монолитных, слаботрещиноватых пород V-VI категорий. Доломиты, известняки, глинистые и песчаные сланцы, серпентиниты. Диаметр колонковой трубы 127 мм.



Рис.2. 21. Коронка твердосплавная СМ-5 Ǿ 59.

Применяется при бурении абразивных, монолитных, слаботрещиноватых пород V-VI категорий. Доломиты, известняки, глинистые и песчаные сланцы, серпентиниты. Диаметр колонковой трубы 57 мм.



Рис. 2.22. Коронка твердосплавная СМ-5 Ǿ 93.

Применяется при бурении абразивных, монолитных, слаботрещиноватых пород V-VI категорий. Доломиты, известняки, глинистые и песчаные сланцы, серпентиниты. Диаметр колонковой трубы 89 мм.



Рис. 2.23. Коронка твердосплавная СМ-5 Ǿ 76.

Применяется при бурении абразивных, монолитных, слаботрещиноватых пород V-VI категорий. Доломиты, известняки, глинистые и песчаные сланцы, серпентиниты. Диаметр колонковой трубы 73 мм.



Рис. 2.24. Коронка твердосплавная СМ-6 Ǿ 151.

Применяется при бурении абразивных, монолитных, слаботрещиноватых пород V-VI категорий. Доломиты, известняки, серпентиниты, перидотиты. Диаметр колонковой трубы 146 мм.



Рис.2. 25. Резец РП-3 У 33.00.00.000.

Зуб бара предназначен для усиления твердосплавного вооружения при обсаживании скважины.

2.2. Коронки алмазные импрегнированные

Импригнированные алмазные коронки предназначены для бурения пород V111-X11 категорий и характеризуются равномерным распределением по всему объему матриц относительно мелких природных или синтетических алмазов. Подобное строение импрегнированной коронки обеспечивает ее эффективность при бурении по твердым продам.



Рис.2.26. Алмазная коронка 02ИЗ, 02И4.

Категория буримости порд V111- X11, малообразивные, очень крепкие, плотные монолитные, тонкозернистые, скрытокристаллические, абразивные, мелко- и скрыто-зернистые. Диаметр бурения 36, 46, 59, 76, 93 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис.2.27. Импригнированная буровая коронка 08ИЗ.

Категория буримости порд 1Х-Х1, мало- и среднеобразивные, очень крепкие, плотные монолитные, тонкозернистые, скрытокристаллические, абразивные, мелко- и скрыто-зернистые. Диаметр бурения 46 мм. Бурение бескерновое многозабойное.



Рис. 2. 28. Импригнированная буровая коронка БИТ.

Категория буримости порд V11-X, монолитные и среднетрещиноватые. Диаметр бурения 59, 76, 93, 112, 132 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.29. Импригнированная буровая коронка К-01-3.

Категория буримости порд Х-Х1, монолитные, слабо-трещиноватые, мало-абразивные и абразивные. Диаметр бурения 59 мм. Бурение с отбором керна с комплексом ССК-59.



Рис. 2.30. Импригнированная буровая коронка К- 08.

Категория буримости порд V111-X, плотные, средне-трещиноватые. Диаметр бурения 59 мм. Бурение с отбором керна с комплексом ССК-59.



Рис. 2.31. Импригнированная буровая коронка К-09И2Г.

Категория буримости порд 1X-X1, плотные, средне-трещиноватые. Диаметр бурения 59 мм. Бурение с отбором керна с комплексом ССК-59.



Рис. 2.32. Импригнированная буровая коронка 17ИЗ.

Категория буримости порд V11-X1, монолитные, плотные, среднетрещиноватые, мало- и среднеабразивные. Диаметр бурения 76 мм. Бурение с отбором керна с комплексом КССК-76.



Рис. 2.33. Импригнированная буровая коронка БИТ ССК 59.

Категория буримости порд V11-X, монолитные и среднетрещиноватые. Диаметр бурения 59 мм. Бурение с отбором керна с комплексом ССК-59.



Рис. 2.34. Импригнированная буровая коронка 21М3.

Категория буримости порд 1Х-Х1, твердые. Диаметр бурения 46, 59,76, 93, 112, 136, 172, 222 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.

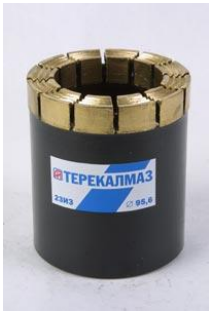


Рис. 2.35. Импригнированная буровая коронка 23И3.

Категория буримости порд V111-1Х, средне-твердые, твердые, слабо-абразивные и частично трещиноватые. Диаметр бурения 59,6; 75,3; 95,6; 122 мм. Бурение с отбором керна с комплексом ССК.



Рис. 2.36. Импригнированная буровая коронка 27И3.

Категория буримости порд V111-1Х, средне-твердые, твердые, слабо-абразивные и частично трещиноватые. Диаметр бурения 59,6; 76 мм. Бурение с отбором керна с комплексом ССК.



Рис. 2.37. Импригнированная буровая коронка 28И3.

Категория буримости порд V111-1Х, средне-твердые, слабо-абразивные и частично трещиноватые. Диаметр бурения 46, 59, 76, 93, 112 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.38. Импригнированная буровая коронка 28И4.

Категория буримости порд 1Х-Х11, различной твердости и абразивности. Диаметр бурения 46, 59, 76, 93, 112 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.39. Импригнированная буровая коронка 26И.

Категория буримости порд V11-Х11, абразивные и трещиноватые. Диаметр бурения 75,3/60,2; 91,8/76; 95,6/76; 117,5/100; 143,5/123,8 мм. Для забуривания или при установке обсадных труб.



Рис. 2. 40. Импригнированная буровая коронка 28И.

Категория буримости порд 1Х-Х11, различной твердости и абразивности . Диаметр бурения 46/31; 59/42; 76/58; 93/73; 112/92;151/132 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.41. Импригнированная буровая коронка 29И.

Категория буримости порд 1Х-Х11, различной твердости и абразивности . Диаметр бурения 75,3/47,6; 95,6/63,5; 122/85 мм. Бурение с отбором керна с комплексом ССК.



Рис. 2.42. Импригнированная буровая коронка 30И.

Категория буримости порд 1Х-Х1, различной твердости и абразивности . Диаметр бурения 75,3 мм. Бурение сплошным забоем с комплексом ССК.



Рис. 2.43. Импригнированная буровая коронка 32И.

Категория буримости порд 1Х-Х11, различной твердости и абразивности . Диаметр бурения 75,3/47; 95.,6/63,5 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.44. Импригнированная буровая коронка 33И.

Категория буримости порд 1Х-Х11, различной твердости и абразивности . Диаметр бурения 46/31,7 66,8/50,4; 76/57; 76/57,5; 76/61,7; 56/45,2 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.45. Импригнированная буровая коронка 36И.

Категория буримости порд 1X-X11, средней твердости до твердых, слабо абразивные, частично трещиноватые. Диаметр бурения 46/31,7 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.46. Импригнированная буровая коронка 37И.

Категория буримости порд 1X-X11, для крепких и очень крепких пород незначительно разрушенных. Диаметр бурения 59,6/36,4; 75,3/47,6; 95,6/63,5 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.47. Импригнированная буровая коронка 38И.

Категория буримости порд X-X1, для сложных горно-геологических условий, сильно раздробленные или трещиноватые породы. Диаметр бурения 59,6/36,4; 75,3/47,6; 95,6/63,5; 122 / 85 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.48. Импригнированная буровая коронка 34И КЛМ.

Категория буримости порд V11-X1, для монолитных, слаботрещиноватых и трещиноватых пород. Диаметр бурения 75,3/40 мм. Бурение с обратной промывкой, гидротранспортом керна с комплексом ССК-NK.



Рис. 2.49. Импрегнированная буровая коронка 23И.

Категория буримости порд 1Х-Х11, различной твердости и абразивности. Диаметр бурения 59,6/36,4; 75,3/47,6; 95.6/63.5; 122/85 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.50. Импрегнированная буровая коронка 27И.

Категория буримости порд V11-Х11, различной твердости и абразивности. Диаметр бурения 46,5/30,3; 56,5/39; 59.6/42; 75.3/56 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.51. Импрегнированная буровая коронка К04 КП.

Категория буримости порд 1Х-Х11, различной твердости и абразивности. Диаметр бурения 76/48 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.52. Импрегнированная буровая коронка К04.

Категория буримости порд 1Х-Х11, различной твердости и абразивности. Диаметр бурения 59/35,4;76 /48 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.53. Импрегнированная буровая коронка К-01-3.

Категория буримости порд V111-X1, монолитные, слабо трещиноватые и трещиноватые. Диаметр бурения 46, 59 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.

2.3. Коронки алмазные однослойные

Алмазы в однослойных коронках располагаются в верхнем слое матрицы. Используются крупные природные и синтетические алмазы, которые обеспечивают высокую скорость проходки и высокую эффективность буровых работ. Алмазы в однослойных коронках располагают по определенной схеме, которая меняется в зависимости от размеров используемых алмазов, что в значительной мере определяет ресурс коронки и скорость бурения.



Рис. 2.54. Однослойная буровая коронка 01А3, 01А4.

Категория буримости порд V11-1X, малообразивные, монолитные, трещиноватые. Диаметр бурения 36, 46, 59, 76, 93, 112 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.55. Однослойная буровая коронка 08А3.

Категория буримости порд V11-1X, мало и средне абразивные. Диаметр бурения 46 мм. Бурение бескерновое многозабойное.



Рис. 2.56. Однослойная буровая коронка 09А3.

Категория буримости порд V11-1X, мало и средне абразивные. Диаметр бурения 59 мм. Бурение бескерновое многозабойное.



Рис. 2.57. Однослойная буровая коронка К16.

Категория буримости порд V1- V111, перемежающиеся. Диаметр бурения 76 мм. Бурение с отбором керна комплексом КССК-76.



Рис. 2.58 Однослойная буровая коронка К01.

Категория буримости порд V11- 1X, плотные слабо и средне трещиноватые. Диаметр бурения 59 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК-59.



Рис. 2.59. Однослойная буровая коронка К01-1.

Категория буримости порд V11- 1X, плотные. Диаметр бурения 59 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК-59.



Рис. 2.60. Однослойная буровая коронка К01-2.

Категория буримости порд V11- 1X, средне трещиноватые. Диаметр бурения 59 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК-59.



Рис. 2.61. Однослойная буровая коронка 01КС.

Категория буримости порд V-1X, абразивные, переслаивающиеся по твердости и абразивности. Диаметр бурения 59,76, 93, 112, 132, 151, 245/225 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.62. Однослойная буровая коронка 02КС.

Категория буримости порд V-1X, абразивные, переслаивающиеся по твердости и абразивности. Диаметр бурения 59,76, 93, 112, 132, 151 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.63. Однослойная буровая коронка 01А3СВ.

Категория буримости порд V111, монолитные и слабо трещиноватые. Диаметр бурения 46, 59,76, 93, 112 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.64. Однослойная буровая коронка 01А4СВ.

Категория буримости порд V111, монолитные и слабо трещиноватые. Диаметр бурения 46, 59,76, 93, 112 мм. Бурение с отбором керна одинарными колонковыми трубами.



Рис. 2.65. Однослойная буровая коронка 07КС.

Категория буримости порд V-1X, абразивные, переслаивающиеся по твердости и абразивности. Диаметр бурения 59,6/36,4; 75,3/47,6; 95,6/63,5; 122/83 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.66. Однослойная буровая коронка 07КС2.

Категория буримости порд V-V111, абразивные, переслаивающиеся по твердости и абразивности. Диаметр бурения 59,6/36,4; 75,3/47,6; 95,6/63,5; 122/83 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.67. Однослойная буровая коронка 07КС-0.

Категория буримости порд V-V111, абразивные, переслаивающиеся по твердости и абразивности. Диаметр бурения 59,6/36,4; 75,3/47,6; 95,6/63,5; 122/83 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.68. Однослойная буровая коронка К-06.

Категория буримости порд V11-1X, плотные, слабо и средне трещиноватые. Диаметр бурения 75,3; 95,6 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.69. Однослойная буровая коронка 07КС-2-0.

Категория буримости порд V11-1X, различной твердости и абразивности. Диаметр бурения 75,3/47,6; 95,6/63,5 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.70. Однослойная буровая коронка 23А.

Категория буримости порд V111-X, малоабразивные, абразивные, плотные, монолитные, мелко и среднезернистые, трещиноватые. Диаметр бурения 59,6/36,4; 75,3/47,6; 95,6/63,5 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.71. Однослойная буровая коронка 29А.

Категория буримости порд V111-1X, различной твердости и абразивности. Диаметр бурения 75,3/47,6; 95,6/63,5 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.



Рис. 2.72. Однослойная буровая коронка 31А.

Категория буримости порд V111-X, различной твердости и абразивности. Диаметр бурения 93, 112 мм. Бурение сплошным зобоем.



Рис. 2.73 Однослойная буровая коронка ГБА.

Категория буримости порд V1-V111, абразивные горные породы. Диаметр бурения 215,9/100 мм. Бурение с отбором керна.



Рис. 2.74. Однослойная буровая коронка Б-1.

Категория буримости порд V1-1X, резко перемежающиеся горные породы. Диаметр бурения 117,5/63,5 мм. Бурение с отбором керна комплексом ССК.

2.4. Алмазные расширители

Алмазные расширители предназначены для поддержания заданного диаметра скважины. В буровом снаряде расширитель устанавливается между коронкой и колонковой трубой. Расширители заменяются, когда их диаметр становится меньше диаметра новой коронки. Поэтому только самая последняя часть калибруется при установке новой коронки. Алмазный расширитель помогает стабилизировать колонковую трубу. Выпускаются расширители для всех типов колонковых труб и коронок. В расширителях для армирования секторов применяются специально отобранные природные или синтетические алмазы.



Рис. 2.75. Алмазный расширитель РСА.

Категория буримости порд 1X- X, мало и средне абразивные. Диаметр бурения 46,4; 59,4; 76,4; 93,4 мм.



Рис. 2.76. Алмазный расширитель РСА-1.

Категория буримости порд V11 - X, плотные, слабо и средне трещиноватые. Диаметр бурения 59,4 мм.



Рис. 2.77. Алмазный расширитель РЦК.

Категория буримости порд V1 - X, плотные, малообразивные и средне трещиноватые. Диаметр бурения 76,4 мм.



Рис. 2.78. Алмазный расширитель РСА 23П.

Категория буримости порд V11–X11, твердые, очень твердые, средне абразивные и трещиноватые. Диаметр бурения 60; 75,7; 96 мм.



Рис. 2.79. Алмазный расширитель РСА 27П.

Категория буримости порд V11–X1, плотные и слабо трещиноватые. Диаметр бурения 60 мм.



Рис. 2.80. Алмазный расширитель РСН.

Категория буримости порд V11–X11, твердые, очень твердые, среднеабразивные и трещиноватые, плотные. Диаметр бурения 46,4; 59,4; 76,4; 93,4 мм.



Рис. 2.81. Алмазный расширитель РАС.

Категория буримости порд V11–X, плотные, малоабразивные и средне трещиноватые. Диаметр бурения 112,4; 136,7; 172,7 мм.



Рис. 2.82. Алмазный расширитель РСА 33.

Категория буримости порд V111–X1, монолитные, слаботрещиноватые и трещиноватые. Диаметр бурения 76,4 мм.



Рис. 2.83. Переходник центратор ПЦ.

Переходник центратор ПЦ служит для центрирования верхнего конца колонковой трубы в скважине с целью снижения искривления скважины и вибрации снаряда, а так же для снижения износа колонковой трубы. Служит для соединения бурильных труб с колонковой трубой или шламовой трубой. Диаметр бурения 59,6; 75,3; 96; 122,6 мм.



Рис. 2.84. Башмаки обсадных труб.

Башмаки обсадных труб применяются для забуривания или при установке обсадных труб в скважены. Изготавливаются стандартных и иных размеров.

2.5. Лопастные породоразрушающие инструменты

Лопастные породоразрушающие инструменты состоят из корпуса и лопастей (рис. 2.85.). В верхней части корпуса нарезается присоединительная резьба, а в нижней части просверливаются сквозные промывочные отверстия для подачи промывочной жидкости на забой. Боковые калибрующие и другие рабочие поверхности лопастей обычно покрывают релитом, чугуном или армируют порошкообразным карбидом вольфрама.

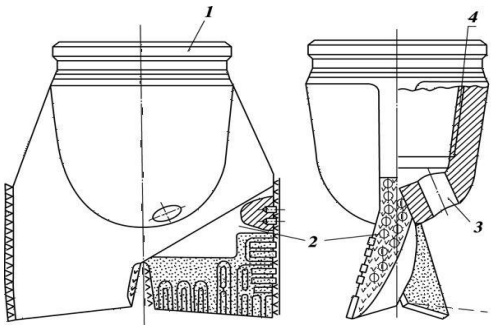


Рис. 2.85. Двухлопастное долото:
1 − корпус; 2 − лопасти; 3 − промывочные отверстия;
4− присоединительная резьба.

Лопастные долота выпускаются следующих пяти разновидностей:
2Л − двухлопастные;
3Л − трехлопастные (рис. 2.86.);
3ИР − трехлопастные истирающе-режущие;
6ИР − шестилопастные истирающе-режущие;
П − пикообразные (однолопастные).

Лопастные породоразрушающие инструменты в соответствии с их назначением производятся четырех типов: М, МС, МСЗ и С.
Породоразрушающие инструменты разновидностей 2Л и 3Л выпускаются двух типов: М и МС.

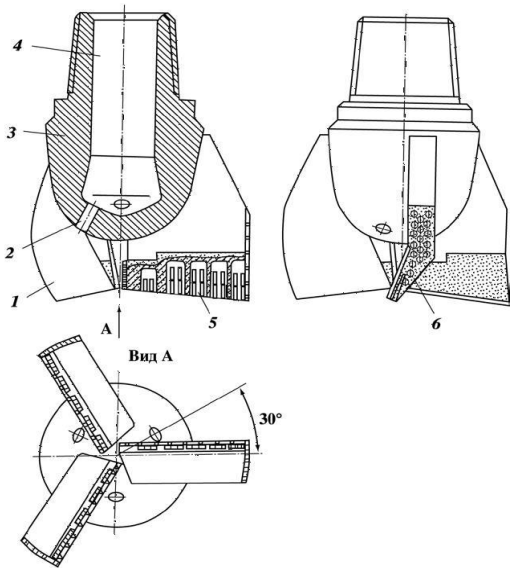


Рис. 2.86. Трехлопастное долото:
1 − лопасть; 2 − промывочное отверстие; 3 − корпус; 4 − присоединительная резьба;
5 − твердосплавные пластины; 6 − армирование торца лопасти.

Конструктивно породоразрушающие инструменты типа М отличаются от долот типа МС армированием передней поверхности зерновым релитом в пазах, прорезанных по определенной схеме с учетом характера износа лопастей и усилением с наружи чугуном. В породоразрушающих инструментах типа МС вместо релита в тех же пазах устанавливаются и припаиваются твердосплавные победитовые пластины прямоугольной формы. Породоразрушающие инструменты разновидности 3ИР относятся к типу МСЗ, а разновидности 6ИР − к типу С. Пикообразные породоразрушающие инструменты изготовляют двух типов: ПЦ − для разбуривания цементных пробок и металлических деталей низа обсадных колонн (рис. 3); ПР − для расширения ствола скважины.

Согласно ОСТ 26-02-1282−75 все лопастные породоразрушающие инструменты должны изготавливаться только с ниппельной присоединительной резьбой, выполненной соответствии с ГОСТ 20692−75, диаметром от 94,4 до 469,9 мм. По способу соединения корпуса с лопастями выделяются цельнокованые породоразрушающие инструменты и инструменты сварные, т.е. с приварными к корпусу лопастями. По конструкции промывочного устройства выделяются породоразрушающие инструменты с обычной и гидромониторной промывкой.

Примеры условной записи лопастных породоразрушающих инструментов (долот):
2Л-76М: 2Л − двухлопастное; 76 − номинальный диаметр, мм; М − для мягких пород;
3Л-161М: 3Л − трехлопастное; 161 − номинальный диаметр, мм; М − для мягких пород.

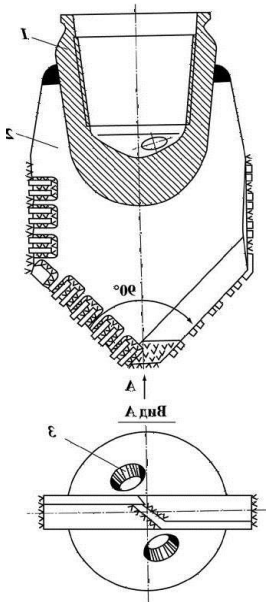


Рис.2.87. Пикообразное долото для разбуривания цементных стаканов в обсадной колоне:
1 − корпус; 2 − лопасть; 3 − промывочные отверстия.

2.6. Шарошечные породоразрушающие инструменты

Впервые породоразрушающий шарошечный инструмент был изобретен и изготовлен в США предпринимателем Юзом в 1909 г.

Шарошечные породоразрушающие инструменты относятся к группе инструментов дробяще-скалывающего действия, за исключением одношарошечных. В настоящее время шарошечные породоразрушающие инструменты производят в двух-, трех - и многошарошечном исполнении. Свое название они получили по конструктивному элементу − зубчатому катку − шарошке, на которой кольцевыми рядами (венцами) располагаются элементы вооружения (зубцы), разрушающие горную породу.

Породоразрушающие инструменты в двух- и трехшарошечном исполнении

составляют группу инструментов, разрушающих породу сплошным забоем. Их называют буровыми шарошечными долотами.

Шарошечное долото (рис.2.88.) состоит из секций, сваренных между собой. Верхняя часть сваренных между собой секций образует корпус. На верхнем конце корпуса нарезается присоединительная резьба. Число секций равно числу шарошек. В шарошечных долотах выделяют:

− вооружение долота − совокупность всех зубцов на всех шарошках;
− опору долота − совокупность подшипников всех шарошек;
− систему промывки долота
− совокупность всех промывочных узлов долота.

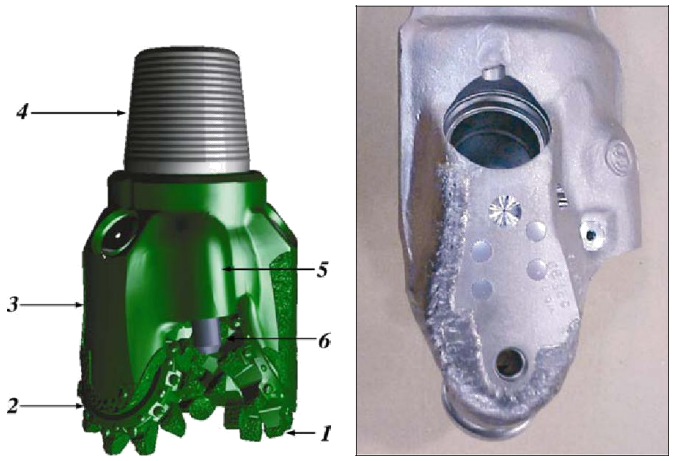


Рис.2.88. Общий вид трехшарошечного долота:
1 − шарошка; 2 − козырек лапы; 3 − лапа; 4 − присоединительная резьба;
5 − насадочный прилив; 6 – насадка.

Рис.2.89. Общий вид лапы.



Рис.2.90. Основные элементы лапы

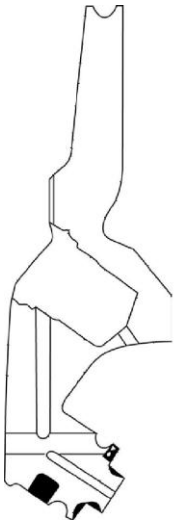


Рис. 2.91. Схема лапы с внутренними каналами.



Рис. 2.92. Общий вид цапфы.



Рис. 2.93. Общий вид шарошки с фрезерованным вооружением.

Собранная секция состоит из лапы (рис.2.89, 2.90, 2.91) заканчивающейся цапфой (рис.2.92.). На цапфе на подшипниках смонтирована свободно вращающаяся шарошка (рис.2.93.). Взаимная ориентация секций в долоте осуществляется с помощью двухгранного угла, фрезеруемого на каждой лапе, и сборочных штифтов.

Вооружение шарошечных породоразрушающих инструментов

Вооружение предназначено для разрушения горной породы. Шарошки, как правило, имеют коническую форму и могут быть одно- (рис.2.94, 2.95) и многоконусными. Тело одноконусной шарошки (рис 2.94) ограничено двумя коническими поверхностями. Конус 1 называется основным, а конус 2 − обратным.

Тело двухконусной шарошки (рис.2.96) ограничено тремя коническими поверхностями, а трехконусной − четырьмя. Конусы, расположенные между основным и обратным конусами, называются дополнительными. Вершины дополнительных конусов направлены к оси долота и их боковые поверхности взаимодействуют с забоем. Дополнительные конусы принято нумеровать, начиная от основного конуса в сторону обратного.

Шарошка характеризуется следующими геометрическими параметрами: диаметр $d_{ш}$, углы основного 2α и дополнительного $2\alpha i$ конусов, высота $H_{ш}$.

Угол при вершине основного конуса определяет объем шарошки.

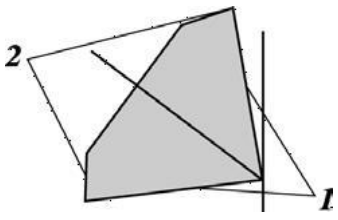


Рис.2.94. Тело одноконусной шарошки.

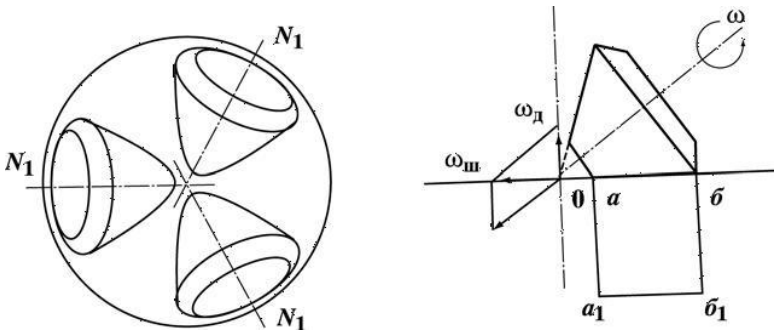


Рис. 2.95. Кинематика одноконусной шарошки:
ωд - угловая скорость вращения долота; ωш - угловая скорость шарошки;
а, а1, б, б 1 - проекция образующей корпуса шарошки на забой.

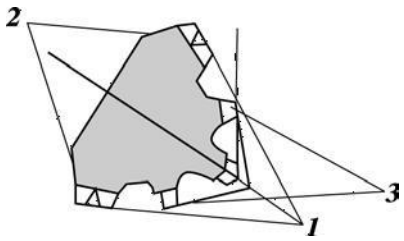


Рис. 2.96. Тело двухконусной шарошки:
1 – основной конус; 2 − обратный конус;
3 − дополнительный конус.

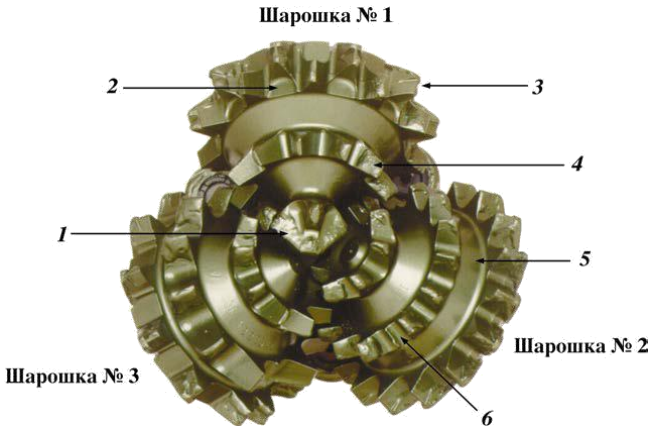


Рис.2.97. Основные элементы шарошек долота с твердосплавным вооружением:
1 − внутренние венцы; 2 − пирамидальный резец внутреннего венца; 3 − зазор между резцами; 4 − резцы калибрующего венца; 5 − межвенцовая канавка

Шарошки принято нумеровать в зависимости от того, какое место занимает первый венец по отношению к оси долота (рис.2.98, 2.99). Шарошке, у которой первый венец расположен в зоне оси долота и разрушает центральную часть забоя, присваивается

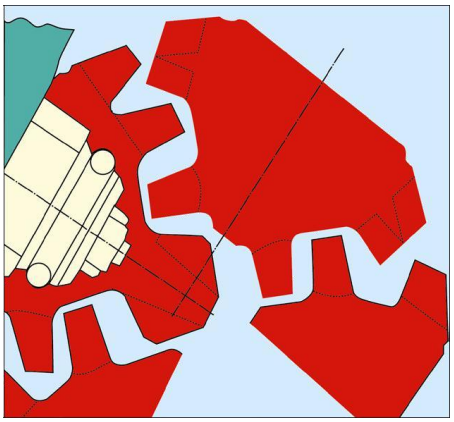


Рис.2.98. Смещение осей шарошек.

первый номер. Шарошка, первый венец которой разрушает кольцо, прилегающее к центральной части забоя, является второй.

Расположение шарошек относительно оси долота определяется следующими параметрами:

− углом наклона оси шарошки к оси долота β;

− выносом вершины шарошки за ось долота, f;

− величиной смещения осей шарошек в плане k.

Угол наклона оси шарошки к оси долота для современных серийных шарошечных долот лежит в пределах $51^0\ 57^0 30'$ и определяется типом долота.

Величина выноса вершины шарошки за ось долота определяется типоразмером долота и лежит в пределах 0−12 мм.

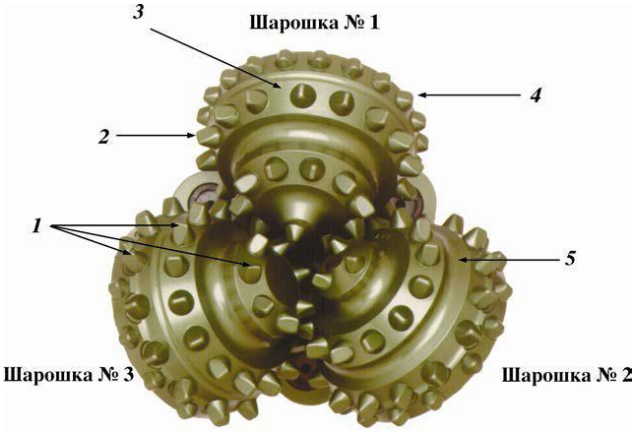


Рис. 2.99. Основные элементы шарошек долота с фрезерованным вооружением:
1 − центральная точка; 2 − уменьшенный зубец; 3 − зубцы калибрующего венца;
4 − защитное покрытие; 5 − межвенцовая канавка; 6 − зазор между зубцами.

В плане оси шарошек расположены относительно друг друга под углом 120^0, а по отношению к оси долота возможны два варианта расположения:

− долота с несмещенными осями шарошек, оси которых пересекаются в одной точке на оси долота;

− долота со смещенными осями шарошек (рис.2.100).

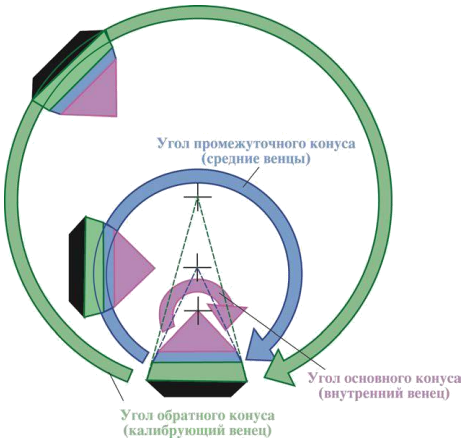


Рис.2.100. Схема смещения осей шарошки.

Оси смещаются в сторону вращения долота, и при этом смещение считается положительным. Величина смещения лежит в пределах 4−10 мм и определяется типоразмером долота. Долота считаются с несмещенными осями шарошек, если они имеют смещение, не превышающее 1,5 мм. Такое смещение называют технологическим. Оно гарантирует отсутствие отрицательного смещения шарошек, которое могло появиться в результате неблагоприятного сочетания допусков на размеры лап и неточностей сборки и сварки секций в корпус.

По расположению шарошек относительно друг друга следует различать два вида долот:

− долота с самоочищающимися шарошками, у которых центральные венцы каждой из шарошек входят в межвенцовое пространство соседних шарошек;

− долота с не самоочищающимися шарошками, у которых контуры соседних шарошек не пересекаются.

На венцах шарошек фрезеруются или крепятся элементы вооружения (зубцы), предназначенные для разрушения горной породы.

Совокупность всех зубцов на всех шарошках называют вооружением долота. Вооружение долот бывает трех видов:

− фрезерованное, армированное твердым сплавом;

− твердосплавное зубковое (штыревое);

− комбинированное (по спецзаказу) (рис.2.101).



Рис.2.101. Комбинированное вооружение.

В современных шарошечных долотах используются фрезерованные зубки разных форм для обеспечения лучшей породоразрушающей способности и долговечности (рис. 2.102).

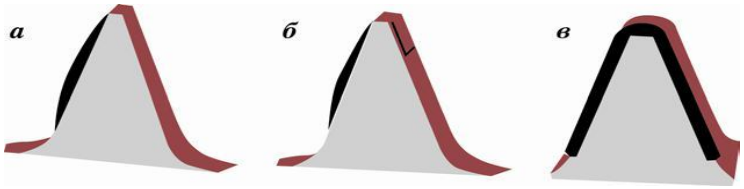


Рис.2.102. Типовые формы фрезерованных зубцов шарошечных долот производства ОАО «Волгабурмаш»:
а − тип 1, наплавляется только набегающая грань; б − тип 2, наплавляются набегающая грань и начало сбегающей грани; в − тип 3, наплавляются полностью все четыре грани и площадка притупления

Для обеспечения долговечности фрезерованного вооружения шарошки изготавливаются из малоуглеродистых легированных сталей (например, марок 17Н3МА, 18ХН3МА, 20ХН3А) с последующей их химико-термической обработкой. Химико-термическая обработка позволяет получить высокую твердость поверхностного цементированного слоя глубиной 0,6−2,4 мм в зависимости от диаметра долота (с увеличением диаметра глубина цементации возрастает), необходимую прочность и ударную выносливость сердцевины.

Боковые и торцовые грани зубцов, а также калибрующие поверхности обратных конусов шарошек направляются (армируются) твердым зерновым сплавом − релитом, представляющим измельченный литой карбид вольфрама.

Кроме того, в некоторых конструкциях долот в обратные конуса шарошек запрессовываются цилиндрические твердосплавные (сплав типа ВК11ВК) вставки с последующей наплавкой. Для улучшения охлаждения наплавленных поверхностей обратных конусов на них выполняются канавки.

В долотах некоторых типов в качестве элементов вооружения на центральных и периферийных венцах используются твердосплавные зубки, изготовленные из вольфрамокобальтового сплава типа ВК11ВК. Зубок имеет форму цилиндра, один торец которого плоский, а другой является рабочей головкой зубка, непосредственно воздействующий на горную породу (рис.2.103).

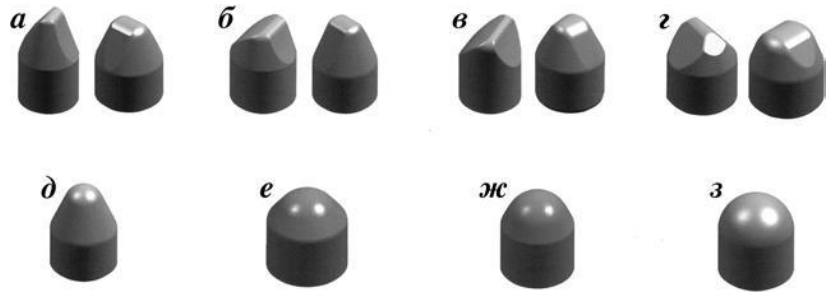


Рис. 2.103. Формы твердосплавных зубков шарошечных долот производства ОАО «Волгабурмаш»:
а − для очень мягких пород; б − для мягких пород; в − для мягких пород, перемежающихся со средними; г − для средних пород; д − для средних пород, перемежающихся с твердыми; е − для твердых пород; ж − для твердых пород, перемежающихся с крепкими; з − для крепких пород

Важным геометрическим параметром вооружения шарошечного долота является коэффициент перекрытия забоя, который рассчитывается по формулам:
(для долот с фрезерованными зубцами)

$$\eta = {}^{\Sigma}\sum l_{ij}/R_{д}, \tag{2.1}$$

где η − коэффициент перекрытия забоя; l_{ij} − сумма длин зубцов по одному с каждого венца всех шарошек (i − номер шарошки, j
− номер венца); $R_{д}$ − радиус долота;
(для долот с твердосплавными зубками)

$$\eta = {}^{\Sigma}\sum d_{ij}/R_{д}, \tag{2.2}$$

где d_{ij} − сумма диаметров зубков по одному с каждого венца всех шарошек (i -номер шарошки, j − номер венца).

Системы очистки забоя и элементов вооружения шарошечных породоразрушающих инструментов

Система очистки забоя предназначена для формирования потоков промывочной жидкости или продувочного агента и направления его в нужную часть забоя. Она включает в себя внутреннюю полость долота 1, подводящий канал 2 (один или несколько), выходное отверстие 3 (одно или несколько) (рис.2.104).

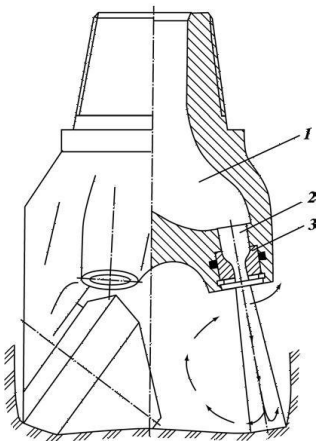


Рис. 2.104. Схема системы промывки шарошечных долот

В зависимости от направления струи промывочного агента долота подразделяются на долота:

− с центральной промывкой или продувкой (рис.2.105);

− с боковой гидромониторной промывкой или продувкой.

У первых долот струя направлена в центральную часть забоя на шарошки. Выходное отверстие выполнено в центре долота и имеет в большинстве случаев круглое сечение.

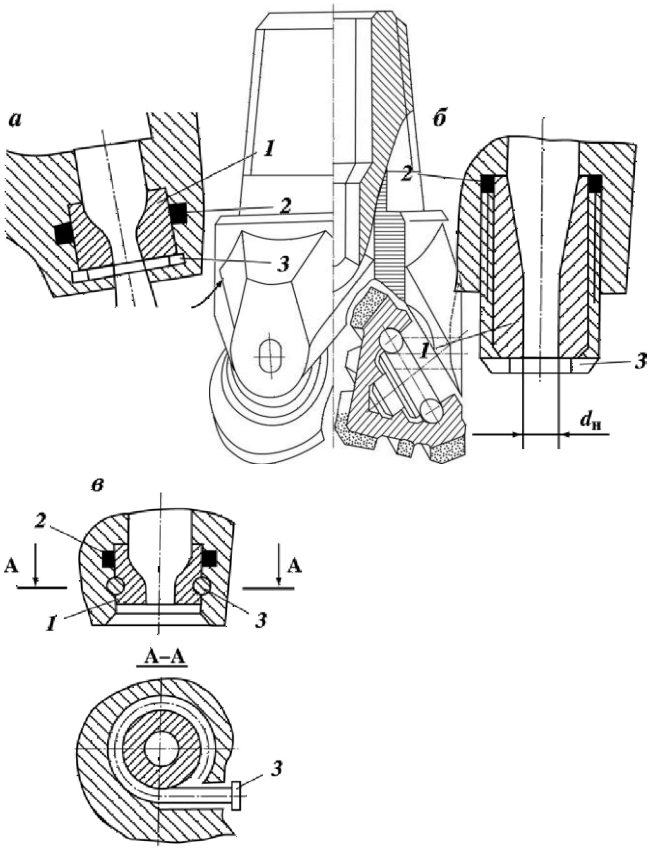


Рис.2.105. Схема долота с центральной системой промывки

У вторых долот выходные отверстия направляют струи жидкости между шарошками на периферийную часть забоя под некоторым углом к оси долота. Это обеспечивает направление струи одновременно к стенке скважины и в сторону, противоположную направлению вращения долота.

Струи непосредственно воздействуют на породу, интенсифицируя очистку забоя от шлама. Долота с такой системой промывки принято называть гидромониторными.

Для предотвращения размыва выходных отверстий в гидро-мониторных долотах устанавливаются гидромониторные насадки. Эти системы образуют гидромониторные узлы (ГМУ).

Рис. 2.106. Схемы ГМУ шарошечных долот:
а − крепление пружинным кольцом; б − крепление резьбовой втулкой; в − крепление гвоздем

Каждый ГМУ (рис.2.106.) включает три обязательных элемента: насадку 1, уплотнение 2, удерживающий замок 3. Насадка является сменной и изготавливается из твердого материала, способного противостоять эрозионному изнашиванию. Уплотнение 2 предназначено для герметизации зазора между насадкой 1 и корпусом. Переток промывочной жидкости по этому зазору приводит к интенсивному размыву отверстия в корпусе и выпадению из него насадки. Замок 3 предназначен для удержания насадки 1 в корпусе долота.

Герметизация зазора между насадкой 1 и корпусом во всех трех рассмотренных конструкциях осуществляется тороидальным резиновым кольцом 2.

Основной эксплуатационный параметр ГМУ − выходной диаметр dn насадки.

Гидравлическая система современных долот позволяет выбирать схему промывки забоя и вооружения долота, обеспечивающую наилучший эффект их очистки в зависимости от свойств породы и условий бурения. Это достигается применением различных схем промывки центральной, периферийной или асимметричной.

Под асимметричной схемой промывки понимают работу двух или даже одной периферийной насадки вместо трех. В большом числе случаев весьма эффективны комбинированные схемы, когда одновременно работают центральная и периферийные насадки.

Для бурения скважин с продувкой забоя сжатым газом выпускаются долота с продувкой. Отличительной особенностью этих долот является наличие центрального продувочного канала уменьшенного сечения в корпусе долота и каналов в каждой лапе, которые подводят часть нагнетаемого газа в полости опор шарошек для их охлаждения и очистки от возможного попадания в них мелких выбуренных частиц породы и пыли (рис.2.107).

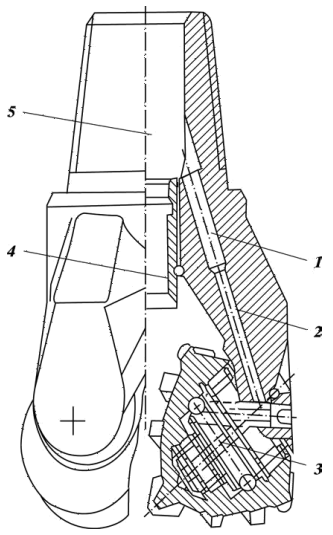


Рис.2.107. Схема ГМУ для продувки сжатым газом:
1, 2 − продувочные каналы в лапе долота; 3 − замковый подшипник;
4 − центральный промывочный узел; 5 − внутренняя полость в корпусе долота

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

2.7. Типы и основные размеры шарошечных долот по гост 20692−2003

ДОЛОТА ШАРОШЕЧНЫЕ

Технические условия

Roller bits. Specifications

Дата введения 2004—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на шарошечные долота для сплошного бурения скважин.

Требования, изложенные в разделах 3—5 (кроме 5.2), разделах 6—8, являются обязательными.

Обязательные требования, обеспечивающие безопасность работы с шарошечными долотами, изложены в 4.4—4.6.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 9.032—74 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения

ГОСТ 15.309—98 Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения

ГОСТ 164—90 Штангенрейсмасы. Технические условия

ГОСТ 577—68 Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия

ГОСТ 3242—79 Соединения сварные. Методы контроля качества

ГОСТ 7918—75 Замки для геолого-разведочных бурильных труб диаметром 50 мм. Технические условия

ГОСТ 14192—96 Маркировка грузов

ГОСТ 15150—69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 28487—90 Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн. Профиль. Размеры. Допуски*

3 Классификация и основные размеры

3.1 Долота следует изготовлять следующих видов:

I — одношарошечные;

II — двухшарошечные;

III — трехшарошечные.

* На территории Российской Федерации действует ГОСТ Р 50864—96 Резьба коническая замковая для элементов бурильных колонн. Профиль, размеры, технические требования.

Издание официальное

3.2 Долота следует изготовлять следующих типов:

М — со стальными зубьями для бурения мягких пород;

МЗ — с твердосплавными зубками для бурения мягких абразивных пород;

МС — со стальными зубьями для бурения мягких пород с пропластками средней твердости;

МСЗ — с твердосплавными зубками для бурения мягких абразивных пород с пропластками средней твердости;

С — со стальными зубьями для бурения пород средней твердости;

СЗ — с твердосплавными зубками для бурения абразивных пород средней твердости;

СТ — со стальными зубьями для бурения пород средней твердости с пропластками твердых;

Т — со стальными зубьями для бурения твердых пород;

ТЗ — с твердосплавными зубками для бурения твердых абразивных пород;

ТК — со стальными зубьями и твердосплавными зубками для бурения твердых пород с пропластками крепких;

ТКЗ — с твердосплавными зубками для бурения твердых абразивных пород с пропластками крепких;

К — с твердосплавными зубками для бурения крепких пород;

ОК — с твердосплавными зубками для бурения очень крепких пород.

3.3 По расположению и конструкции промывочных и продувных узлов (каналов) долота следует изготовлять с:

центральной промывкой — Ц;

боковой гидромониторной промывкой — Г;

комбинированной промывкой — ЦГ;

центральной продувкой — П;

боковой продувкой — ПГ.

3.4 Опоры шарошек следует изготовлять на:

подшипниках с телами качения и одном или более упорных подшипниках скольжения, или без упорных подшипников скольжения — В;

подшипниках с телами качения и одном или более упорных подшипниках скольжения и герметизацией опоры — ВУ;

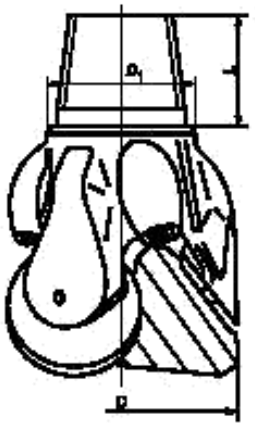
одном радиальном и одном или более упорных подшипниках скольжения (остальные подшипники с телами качения) — Н;

одном радиальном и одном или более упорных подшипниках скольжения (остальные подшипники с телами качения) и герметизацией опоры — НУ;

двух или более радиальных подшипниках скольжения с одним или более упорным подшипником скольжения — А;

двух или более радиальных подшипниках скольжения с одним или более упорным подшипником скольжения и герметизацией опоры — АУ.

3.5 Основные размеры долот и обозначения присоединительной резьбы должны соответствовать указанным на рисунке 1 и в таблице 1.



Примечание — Рисунок не определяет конструкцию долота

Рисунок 1

Таблица 1

Размеры в миллиметрах

Диаметр долота D		Диаметр упорного уступа D_1 ± 0,4	Длина ниппеля L − 4,8	Обозначение присоединительной резьбы
Номин.	Пред. откл.			
76,0	+ 0,6	57,0	50	3-42
93,0	+ 0,8	65,0; 77,4; 78,18	76; (60)	3-50
95,3		77,4; 78,18; 83,0		3-63,5; 3-66
98,4				
114,3				
117,5		92,47	88,9; (70)	3-76
120,6				
127,0				
130,2		92,47; 105,17	88,9; 95,25; (70)	3-76; 3-88
132,0				
139,7		83,0; 105,17	70,0; 95,25; (60)	3-63,5; 3-88
146,0				
151,0				
161,0				
165,1				
171,4				
187,3				
190,5		136,13	107,95; (80)	3-117
200,0				
212,7				
215,9				
222,3				
238,1				
241,3		142,1; 187,72	102; 127; (80)	3-121; 3-152
244,5				
250,8				
269,9				
295,3				
304,8				
311,1				
320,0				
349,2				
365,1	+ 1,6	187,72; 196,0; 203*; 215,9	127,0; (80); 133,35	3-152; 3-171; 3-177
368,3				
371,5				
374,6				
393,7				
444,5				
469,9	+ 2,4	196,0; 215,9; 243,28; 243,8	127,0; 133,35; 136,53; 137,0	3-171; 3-177; 3-201
473,1				
490,0				
508,0				

* Для корпусных долот с муфтовой присоединительной резьбой.

Примечания

1 Размеры в скобках указаны для долот с укороченной резьбой.

2 По заказу потребителя допускается изготовление долот с размерами, отличными от указанных.

3 Долота с опорами А и В следует изготовлять: с $D = 76\,^{+0,6}_{-0,3}$ мм, с D от $93\,^{+1,0}_{-0,3}$ мм до $320,0\,^{+1,0}_{-0,3}$ мм, с D от (349,2 ± 1,5) мм до (393,7 ± 1,5) мм; с $D \geq 444,5$ мм ± 2,0 мм.

Пример условного обозначения трехшарошечного долота диаметром 215,9 мм для бурения абразивных пород средней твердости (СЗ), с боковой гидромониторной промывкой (Г), на двух или более радиальных подшипниках скольжения с одним или более упорным подшипником скольжения и герметизацией опоры (АУ):

Долото шарошечное III 215,9 СЗ-ГАУ ГОСТ 20692—2003

4 Технические требования

4.1 Долота следует изготовлять в соответствии с требованиями настоящего стандарта, по рабочим чертежам, утвержденным в установленном порядке.

4.2 Точность изготовления долот должна соответствовать значениям, указанным в таблице 2.

Таблица 2

Размеры в миллиметрах

Наименование параметра	Тип долота	Норма точности для долот диаметрами, не более							
		от 76,0 до 98,4 включ.	св. 98,4 до 171,4 включ.	св. 171,4 до 250,8 включ.	св. 250,8 до 311,1 включ.	св. 311,1 до 349,2 включ.	св. 349,2 до 393,7 включ.	св. 393,7 до 490,0 включ.	св. 490,0
Разновысотность шарошек относительно упорного уступа	М, МС, С, М3, МС3, С3	1,1	1,5	1,6		2,2	2,4	2,6	3,3
	СТ, Т, Т3, ТК3	0,9	1,3	1,6		2,0	2,4	2,6	3,3
	ОК, К	0,7	1,0	1,2		1,5	1,7	2,6	—
Радиальное биение шарошек относительно оси резьбы	М	1,0	1,1	1,4	2,0	2,3	2,8	3,0	3,8
	МС, С, М3, МС3, С3	1,0	1,1	1,4	1,6	2,0	2,5	3,0	3,8
	СТ, Т, Т3, ТК3	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,3	3,0	3,0
	ОК, К	0,6	0,8	1,2	1,4	1,5	1,8	3,0	—

4.3 Долота следует изготовлять с правой конической замковой резьбой.

Резьбы З-42 и З-63,5 — по техническому документу, утвержденному в установленном порядке.

Резьба З-50 — по ГОСТ 7918.

Остальные резьбы (кроме величины натяга) — по ГОСТ 28487.

Соответствие обозначений присоединительной резьбы по настоящему стандарту и спецификации 7 Американского нефтяного института (API Spec 7) приведено в приложении А.

4.4 Натяг конической замковой резьбы должен быть:

$10{,}35^{+0{,}4}$ мм — для ниппельной резьбы З-42;

$10{,}00^{+0{,}4}$ мм — для ниппельной резьбы З-50;

$16{,}00^{+0{,}4}$ мм — для ниппельной резьбы З-63,5;

$15{,}875\ ^{+0{,}25}_{-0{,}80}$ мм — для ниппельных резьб З-88, З-117, З-121, З-152, З-171, З-177, З-201;

$0\ ^{+0{,}35}_{-0{,}25}$ мм — для муфтовых резьб З-88, З-117, З-121, З-152, З-171, З-177, З-201.

4.5 Система промывки гидромониторных долот диаметрами 190,5 мм и более должна быть герметична при давлении жидкости 7,85 МПа; диаметрами менее 190,5 мм — при давлении жидкости 5 МПа.

4.6 Насадки в гидромониторных долотах с боковой промывкой диаметрами 190,5 мм и более должны удерживаться при давлении жидкости 7,85 МПа; диаметрами менее 190,5 мм — при давлении жидкости 5 МПа. Насадки должны быть сменными.

4.7 В сварных швах на поверхностях упорного уступа ниппеля и на расстоянии 25 мм над упорным уступом ниппеля не допускаются дефекты сварки, на остальной резьбовой части ниппеля

допускаются единичные поры и раковины диаметром не более 1 мм в количестве не более 3 шт. на каждом шве. На резьбовой части корпусных долот допускаются единичные поры и раковины диаметром не более 2 мм в количестве до 5 шт.

4.8 Требования к материалам, химико-термической обработке, комплектующим, краскам, смазкам должны соответствовать нормативной и технической документации, утвержденной в установленном порядке.

4.9 Поверхность долот, кроме присоединительной резьбы, упорного уступа ниппеля (упорного торца муфты), торца ниппеля и заходной фаски должна быть покрыта ровным слоем краски. После высыхания краска должна прочно удерживаться на долоте. Класс покрытия VII — по ГОСТ 9.032.

4.10 Поры, вздутия, мелкие пузыри и выступания коррозии через краску, а также попадание краски на присоединительную резьбу, упорный уступ, клапаны, в отверстия крышек смазочных резервуаров, промывочные каналы гидромониторных долот не допускаются.

4.11 Присоединительная резьба должна быть покрыта антикоррозионной смазкой.

4.12 Опоры шарошек должны быть заполнены смазкой. Заполнение смазкой долот с опорой НУ следует проводить до появления смазки из-под манжеты. Долота с опорами АУ и ВУ перед заполнением смазкой вакуумируют.

4.13 Шарошки долот с опорами АУ, НУ, ВУ должны проворачиваться на опорах от руки со значительным усилием. Шарошки долот с опорами Н, В, А должны свободно и плавно проворачиваться на опорах от усилий руки.

Зацепление зубьев или зубков одной шарошки за зубья или зубки, а также за корпус другой шарошки не допускается.

4.14 Пружинное кольцо компенсационного узла долота должно заходить по всему периметру в канавку и не иметь повреждений, а крышка не должна проворачиваться от руки.

4.15 Требования надежности

4.15.1 Срок сохраняемости долот — не менее 18 мес со дня изготовления.

4.16 Комплектность

4.16.1 В комплект поставки входят: долото с установленными насадками и (или) клапанами, а также паспорт долота.

По согласованию с потребителем допускается поставка долот без насадок.

4.17 Маркировка

4.17.1 Маркировка долот должна быть четкой и сохраняться на протяжении срока службы долота.

4.17.2 На торце ниппеля (пояске муфты) маркируются:

- товарный знак предприятия-изготовителя;
- условное обозначение долота (допускается обозначение стандарта не маркировать);
- обозначение присоединительной резьбы (по требованию потребителя);
- порядковый номер долота по системе нумерации предприятия-изготовителя;
- дата изготовления (месяц, год);
- клеймо технического контроля.

Примечание — Допускается маркирование товарного знака предприятия-изготовителя на других поверхностях долота.

4.18 Упаковка

4.18.1 Поверхность присоединительной резьбы, включая упорный уступ ниппеля (упорный торец муфты), торец ниппеля и заходную фаску, должна быть полностью покрыта ровным слоем консервационной смазки по технической документации, утвержденной в установленном порядке.

4.18.2 Долота упаковывают в соответствии с технической документацией, утвержденной в установленном порядке.

По согласованию с потребителем допускается не упаковывать долота, при этом должна быть обеспечена защита присоединительной резьбы.

Каждое долото должно сопровождаться паспортом, содержащим:

- наименование продукции;
- наименование страны-изготовителя;
- наименование предприятия-изготовителя;
- область применения продукции;
- основные технические характеристики;
- изображение знака соответствия для сертифицированной продукции;
- юридический адрес предприятия-изготовителя (продавца);
- массу нетто;

2.8. Лицензионные шарошечные долота производства ОАО «Волгабурмаш»

В 1997 г. ОАО «Волгабурмаш». сертифицировало свою продукцию, выпускаемую по лицензии американской фирмы «Dresser», в Международной организации по стандартам (International Standards Organization − ISO) и Американском нефтяном институте (American Petroleum Institute − API) с получением сертификатов соответствия ISO 96-371 и API 7-0268. После этого выпускаемые ОАО «Волгабурмаш» долота классифицированы по международной системе IADC (I − International, A − Association, (of), D − Drilling, C − Contractors).

Система IADC базируется на четырехсимвольном коде, отражающем конструкцию долота и тип горной породы, для бурения которой оно предназначено.

Первые три символа кода − цифровые, а четвертый − буквенный.

Последовательность цифровых символов определяет: серию вооружения (породы) − тип вооружения (породы) − конструкцию опоры/калибрующих поверхностей.

Четвертый буквенный символ − дополнительные характеристики.

Первая цифра кода (1−8) − восемь серий вооружения, соответствующих восьми категориям разбуриваемых пород.

Серии 1−3 соответствуют долотам с фрезерованным вооружением.

Серии 4−8 соответствуют долотам с твердосплавным зубковым (штыревым) вооружением.

Вторая цифра кода характеризует тип вооружения (породу) внутри серии.

Каждая серия разделена на четыре типа пород по твердости. Чем больше цифра − тем выше твердость породы, для бурения которой предназначено долото.

Третья цифра характеризует конструкцию опоры и наличие (или отсутствие) дополнительной защиты калибрующих поверхностей (венцов шарошек) от износа по диаметру:

1 − открытая опора качения;

2 − открытая опора качения для бурения с продувкой воздухом;

3 − открытая опора качения + твердосплавные вставки на калибрующих поверхностях шарошек (обратных конусах шарошек);

4 − герметизированная опора качения;

5 − герметизированная опора качения + твердосплавные вставки на калибрующих поверхностях шарошек (обратных конусах шарошек);

6 − герметизированная опора на подшипниках скольжения;

7 − герметизированная опора на подшипниках скольжения + твердосплавные вставки на калибрующих поверхностях шарошек (обратных конусах шарошек);

8, 9 − резервные, для использования в будущем.

Некоторые зарубежные фирмы уже используют эти резервные обозначения. Так, например на фирме «Smith International, Inc.»:

8 − долота для бурения горизонтальных и наклонных скважин (L, XP);

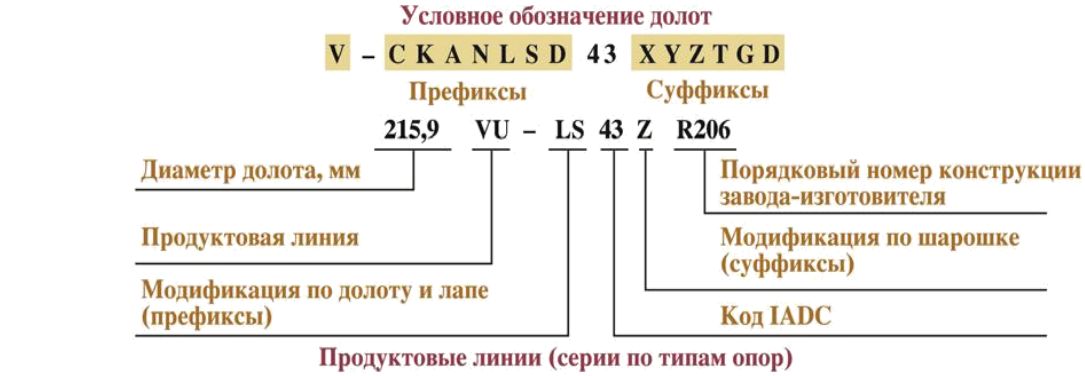
9 – долота для геотермального бурения (G) и бурения забойными двигателями (M).

Четвертый буквенный символ кода − дополнительные характеристики − содержит 16 английских букв и используется для обозначения специальных конструкций вооружения, опор, систем промывки и защиты корпусов долот от износа, но он является необязательным для производителей долот:

A − для бурения с продувкой воздухом;

B − для высокооборотного бурения (> 450 об/мин); C − центральная насадка;

D − специальная конструкция вооружения, уменьшающая самопроизвольное искривление ствола скважины;



Продуктовые линии (серии по типам опор)

A	V	N	VU	NU	AU	AUP	AUL
два радиальных подшипника скольжения	только подшипники качения	один подшипник скольжения (остальные подшипники качения)	только подшипники качения с уплотнением	один подшипник скольжения с уплотнением	два радиальных подшипника скольжения с уплотнением	долота малого диаметра до 172 мм	два радиальных подшипника скольжения с уплотнением (разрезная плавающая втулка и упорная шайба)

	Префиксы
C	центральныая насадка
K	комбинированная промывка
A	продувка воздухом
N	удлиненные насадки
L	наплавка козырька и набегающей грани лапы
S	армирование спинки лапы твердосплавными зубками
D	армирование спинки лапы зубками с алмазным покрытием

	Суффиксы
X	клиновидный зубок
Y	конический зубок
Z	зубок прочей формы, отличный от клиновидного и конического
T	усиленная объемная наплавка зубьев
G	дополнительное армирование твердосплавными зубками обратного конуса шарошки
D	армирование обратного конуса шарошки зубками с алмазным покрытием

Рис. 2.108. Условные обозначения лицензионных долот производства ОАО “Волгабурмаш”.

E − удлиненные насадки;
G − усиленная защита козырьков лап от износа;
H − долота для наклонного и горизонтального бурения;
J − гидромониторное долото для набора зенитного угла (кривизны);
L − калибрующие накладки на спинках лап, усиленные твердосплавными штырями;
M − долота для бурения винтовыми забойными двигателями;
S − стандартные долота с фрезерованным вооружением;
T − двухшарошечные долота;
W − усовершенствованное вооружение, запатентованное производителем;
X − твердосплавные зубки клиновидной формы;
Y − твердосплавные зубки конической формы;
Z − другие формы зубков.

После сертификации продукции ОАО «Волгабурмаш» изменило обозначение и кодирование шарошечных долот, выпускаемых по лицензии американской фирмы «Dresser», в своих каталогах (рис. 32).

Продуктовые линии (серии долот по типам опор) лицензионных долот в соответствии с ГОСТ 20692−75 нормируют эксплуатационные частоты их вращения:

(V) (> 450 об/мин);
(VU) (> 450 об/мин);
(N) (250−450 об/мин);
(NU) (250−450 об/мин);
(AU) (< 90 об/мин).

В табл. 9. показаны примеры обозначения шифров лицензионных шарошечных долот производства ОАО «Волгабурмаш» после сертификации.

Таблица 2.1.

Примеры обозначения долота по продуктовым линиям

Твердосплавное вооружение	
76,0 A-C74ZR306	76,0 − диаметр долота, мм; A − продуктовая линия; C − центральная промывка; 74 – крепкие породы по IADC; Z − сферический зубок (отличный от клиновидного и конического); R306 – порядковый номер конструкции завода - изготовителя
215,9 V-NL63YR276	215,9 − диаметр долота, мм; V – продуктовая линия; N − удлиненные насадки; L – наплавка козырька и набегающей грани лапы; 63 – твердые абразивные породы по IADC; Y – конический зубок; R276 − порядковый номер конструкции завода-изготовителя
311,1 N-43XR102M	311,1 − диаметр долота, мм; N – продуктовая линия; 43 − очень мягкие абразивные породы по IADC; X − клиновидный зубок; R102M − порядковый номер конструкции завода-изготовителя
215,9 VU-LS43ZR206	215,9 − диаметр долота, мм; VU – продуктовая линия; L − наплавка козырька и набегающей грани лапы; S − армирование спинки лапы твердосплавными зубками; 43 − очень мягкие абразивные породы по IADC; Z − ковшеобразный зубок (отличный от клиновидного и конического); R206 − порядковый номер конструкции завода - изготовителя
215,9 NU-62XR05	215,9 − диаметр долота, мм; NU – продуктовая линия; 62 − твердые абразивные породы по IADC; X − клиновидный зубок; R05 − порядковый номер конструкции завода - изготовителя
165,1 AU-L51XR111	165,1 − диаметр долота, мм; AU – продуктовая линия; L − наплавка козырька и набегающей грани лапы; 51 − мягкие абразивные породы по IADC; X − клиновидный зубок; R111 − порядковый номер конструкции завода-изготовителя
124,0 AUPLS54XR413	124,0 − диаметр долота, мм; AUP – продуктовая линия; L − наплавка козырька и набегающей грани лапы; S − армирование спинки лапы твердосплавными зубками; 54 − средние абразивные породы по IADC; X − клиновидный зубок; R413 – порядковый номер конструкции завода - изготовителя
311,1 AULLS83Y R29	311,1 − диаметр долота, мм; AUL – продуктовая линия; L − наплавка козырька набегающей грани лапы; S − армирование спинки лапы твердосплавными зубками; 83 − очень крепкие породы по IADC; Y − конический зубок; R299 -порядковый номер конструкции завода-изготовителя
Фрезерованное вооружение	
93,0 A-C31R307	93,0 − диаметр долота, мм; A − продуктовая линия; C − центральная промывка; 31 − твердые породы по IADC; R306 − порядковый номер конструкции завода-изготовителя
444,5 V-K11TGR130	444,5 − диаметр долота, мм; V − продуктовая линия; K − комбинированная (боковая и центральная) промывка; 11 − мягкие породы по IADC; T − усиленная объемная наплавка зубьев; G − дополнительное армирование твердосплавными зубками

	обратного конуса шарошки; R130 − порядковый номер конструкции завода-изготовителя
215,9 N-N21R163	215,9 − диаметр долота, мм; N − продуктовая линия; N − удлиненные насадки; 21 − средние породы по IADC; R163 − порядковый номер конструкции завода-изготовителя
215,9 VU-LS21R190	215,9 − диаметр долота, мм; VU – продуктовая линия; L − наплавка козырька и набегающей грани лапы; S − армирование спинки лапы твердосплавными зубками; 21 − средние породы по IADC; R190 − порядковый номер конструкции завода-изготовителя
215,9 NU-LS11TGR183	215,9 − диаметр долота, мм; NU – продуктовая линия; L − наплавка козырька и набегающей грани лапы; S − армирование спинки лапы твердосплавными зубками; 11 − мягкие породы по IADC; T −усиленная объемная наплавка зубьев; G − дополнительное армирование твердосплавными зубками обратного конуса шарошки; R183 – порядковый номер конструкции завода-изготовителя
200,0 AU-11TR133	200,0 − диаметр долота, мм; AU – продуктовая линия; 11 − мягкие породы по IADC; T − усиленная объемная наплавка зубьев; R133 – порядковый номер конструкции завода-изготовителя
215,9 AULLS13TGR415	215,9 − диаметр долота, мм; AUL – продуктовая линия; L − наплавка козырька и набегающей грани лапы; S − армирование спинки лапы твердосплавными зубками; 13 − мягкие средние породы по IADC; T − усиленная объемная наплавка зубьев; G − дополнительное армирование твердосплавными зубками обратного конуса шарошки; R415 − порядковый номер конструкции завода-изготовителя

2.9. Одношарошечные долота

Конструкционная схема одношарошечного долота показана на рис.2.109, а его общий вид приведен на рис. 2.110, 2.111. Сферическая шарошка оснащена твердосплавными штырями. Центр сферы располагается в точке пересечения осей. Ось шарошки наклонена под углом 30^0 к оси долота. Промывка осуществляется через отверстие в корпусе долота. Опора долота гораздо больше, чем в трехшарошечных долотах, и состоит из цапфы и трех подшипников: скольжения, шарикового и шарикового замкового.

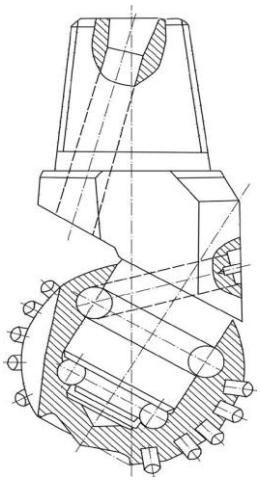


Рис.2.109. Схема одношарошечного долота

Одношарошечные долота выпускают диаметрами 138-216 мм. Они предназначены для низкооборотного бурения в породах средней твердости. Поскольку часть зубков при бурении находится в постоянном контакте с породой, серийное одношарошечное долото относится к долотам режуще-скалывающего действия.

2.10. Система кодирования износа шарошечных долот, принятая в России

Система кодирования износа шарошечных долот, применяемая в России, разработана ВНИИБТ, бывшим главным научно-исследовательским институтом буровой техники в СССР. Система оценивает износ шарошечных долот по четырем направлениям: износу вооружения, износу опор, износу диаметра и аварийный износ.

Износ вооружения (хотя бы одного венца):

В1 − уменьшение высоты зубцов на 1/4;

В2 − уменьшение высоты зубцов на 1/2 (2/4);

В3 − уменьшение высоты зубцов на 3/4;

В4 − уменьшение высоты зубцов на 4/4 (полностью).

При наличии скола фрезерованных зубцов, скола и выпадения твердосплавных зубков добавляется индекс С. Общее количество (в %) сколотых фрезерованных зубцов и выпавших твердосплавных зубков записывается в скобках. Например: С(20).

При закруглении зубцов периферийных венцов добавляется индекс Р. Например: С(20)Р.



Рис.2.110. Общий вид одношарошечного долота с герметизированной маслонаполненной опорой

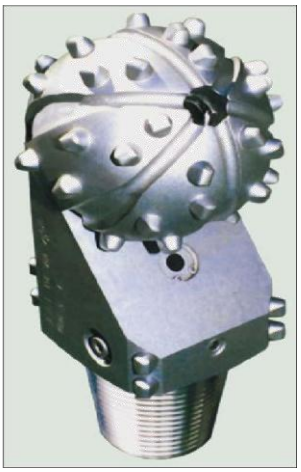


Рис.2.111. Общий вид одношарошечного долота с открытой опорой

Износ опоры (хотя бы одной шарошки):

П1 − износ небольшой: «качка» торца шарошки относительно оси цапфы невелика (например, до 2 мм для долота диаметром 190−214 мм; до 4 мм для долот диаметром 243−295 мм); тела качения не обнажены;

П2 − износ средний: «качка» торца шарошки большая (например, до 5 мм для долот диаметром 190−214 мм, до 8 мм для долот диаметром 243−295 мм); тела качения не обнажены;

П3 − износ большой: «качка» торца шарошки значительная (например, 5 мм для долот диаметром 190−214 мм; больше 8 мм для долот диаметром 243−295 мм); значительный износ или разрушение части тел качения; имеется опасность их выпадения; «заедание» шарошки при вращении от руки;

П4 − отказ (разрушение) опор: разрушение и поворот роликов; разрушение шариков, козырьков лап и тыльной части шарошек с выпадением тел качения; трещины и «лыски» на шарошках.

В случае повреждения узла герметизации маслонаполненной опоры (выход из строя уплотнения или его выпадение) добавляется индекс У, количество поврежденных узлов указывается в скобках. Например: У(2).

В случае заклинивания, шарошек добавляется индекс К, количество заклиненных шарошек указывается в скобках. Например: К(2).

В случае повреждения гидромониторного узла (размыв гнезда, выпадение насадок) добавляется индекс Г, количество поврежденных узлов указывается в скобках. Например: Г(3).

Износ по диаметру. Уменьшение диаметра долота обозначается индексом Д и выражается в мм. Например: Д6.

Аварийный износ:

Ав − «оставление» вершин шарошек на забое;

Аш − «оставление» шарошек на забое;

Ас − «оставление» секций на забое;

Ац − «оставление» цапфы с шарошкой на забое.

Количество «оставленных» на забое лап, шарошек и их вершин указывается римскими цифрами в скобках. Например:

Ав(I); Аш(I, II); Ас(I); Ац(III).

Примеры применения кода для оценки износа долот

1. Вооружение «сработано» на 10 %, опоры имеют средний износ, «заклинены» две шарошки, диаметр долота сохранился: В1П2К(2)Д0.

2. Вооружение изношено на 3/4, 50 % зубцов имеют сколы, калибрующие кромки зубцов периферийных венцов закруглены, опоры имеют большой износ, «качка» торца шарошки 10 мм, диаметр долота уменьшился на 7 мм: В3С(50)РП3Д7.

3. Вооружение «сработано» полностью, опора разрушена, часть тел качения выпала, первая шарошка «оставлена» на забое: В4П4Аш(I).

4. В скважине оставлены все шарошки: Аш(III).

Примеры записи износа долот с помощью кода в буровом журнале и суточном рапорте:

269,9 С-ГНУ № 8639 – В2С(30)РП3Д6Г(2)У3;

190,5 С-ГВ № 1642 – В1П1К(I)Ав(I)Д0;

215,9 С-ГВ № 2894 – В4П4Ас(II);

244,5 Т-ЦВ № 6785 – В2П3Ац(I);

244,5 С-ГН № 9735 – В1П2К(2)Д3Г(1).

В современной России работают зарубежные фирмы, а наши буровые предприятия используют импортные буровые долота, чаще с инженерным сопровождением. В связи с эти возникла потребность в оценке износа по системе IADC, применяемой за рубежом.

Кодирование износа шарошечных породоразрушающих инструментов по кодам IADC

25 лет назад Международная ассоциация буровых подрядчиков (IADC) ввела стандартизированную систему описания износа породоразрушающих инструментов всех видов, в том числе и шарошечных долот.

За рубежом износ долот кодируют по трем параметрам: износ вооружения, износ опор, износ диаметра. Кроме того, в примечаниях приводятся повреждения других видов, причины подъема долота и прочие сведения (рис.2.112, 2.113.).

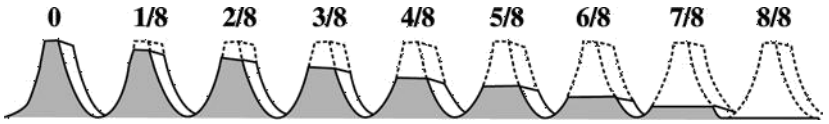


Рис.2.112. Структурная схема кодирования износа долот по IADC

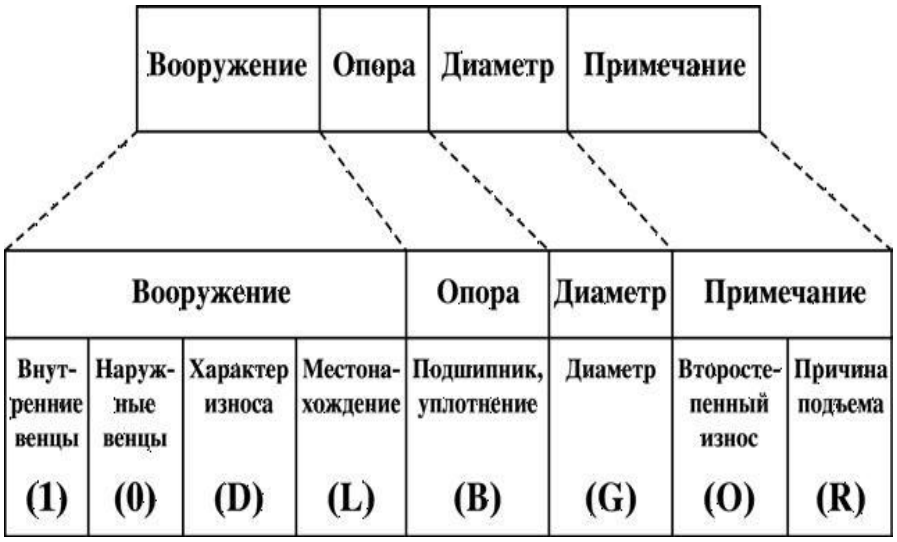


Рис. 2.113. Схема оценки износа вооружения долот с фрезерованным вооружением

1. Износ вооружения:

(I) – износ внутренних венцов;

(O) – износ наружных венцов;

(D) – характер износа;

(L) – местонахождение.

Пример определения кода износа твердосплавного (штыревого) вооружения: (Пу · 8) + (Пи · Ки) = Кд, где Пу − количество сломанных и/или утерянных зубков, в долях; 8 − оценка их износа (8/8); Пи − количество изношенных (вследствие истирания) зубков в долях; Ки − оценка их износа, в восьмых долях высоты зубка; Кд − код износа.

Например, у долота отсутствует половина зубков вследствие слома или утери, тогда остальные зубки имеют 50%-ный износ по высоте (4/8) вследствие истирания, код износа такого долота равен шести (6), т.е. (0,5 · 8) + (0,5 · 4) = 6.

D − харак те р износ а:

BC − слом шарошки;

CR − кернение долота;

LN − потеря насадки;

RO − кольцевой износ;

BF − отлом алмаза, пластины;

CT − скол зубков;

LT − потеря зубков (резцов);

SD − повреждение козырька;

BT − скол зубков (резцов);

ER − эрозия;

OC − эксцентричный износ;

SS − самозатачивание зубков;

BU − образование сальника;

FC − затупление вершины зубка;

PB − механическое повреждение при спуско-подъемных операциях (СПО);
TR − трекинг;
CC − трещина в шарошке;
HC − трещины перегрева;
PN − закупорка насадки;
WO − промыв инструмента;
CD − истирание заклиненной шарошки
JD − метал на забое; (промывочного канала);
WT − износ зубков (резцов);
CI − взаимозацепление шарошек;
LC − потеря шарошки;
RG − износ по диаметру;
NO − отсутствие износа.
L − место нахождение износ а:
N − носовый венец (центральный);
M − средние венцы;
G − наружный венец;
A − все венцы. Шарошка №: 1; 2; 3.

2. Износ опоры (B) − износ подшипников или уплотнений.
Открыта я опора:
0 − ресурс опоры не использован;
8 − ресурс использован полностью (шарошка заклинена или утеряна).
Герметизированная опора:
E − работоспособная опора (уплотнение);
F − отказ уплотнений (разрушены, утеряны);
N − невозможность определения состояния опоры (уплотнения).

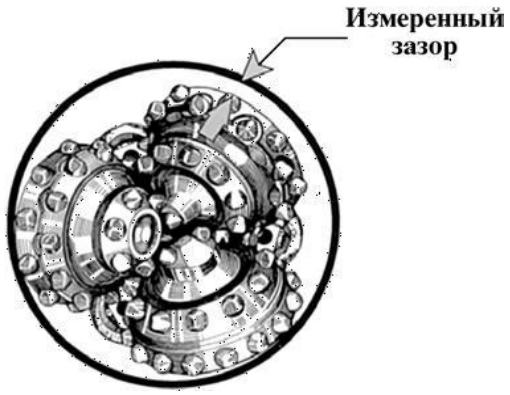


Рис. 2.114. Схема измерения износа по диаметру

3. Износ долота по диаметру:
G − уменьшение диаметра долота, в долях дюйма (1/16 (1,5875 мм)).
При оценке износа по диаметру применяют специальный шаблон (измерительный инструмент) и правило 2/3.
Износ по диаметру равен зазору, измеренному при помощи шаблона (рис.2.114) и умноженному на 2/3 (0,75).
4. Примечание:
O − второстепенный износ; описываются любые другие виды износа долота в дополнение к ранее приведенным в колонке D;
R − причина подъема долота:
BHA − смена компоновки низа бурильной колонны (КНБК);

RIG − ремонт бурового оборудования;
HR − подъем по времени;
DST − пластовые испытания;
CM − обработка. бурового раствора;
TD − проектный забой (колонна);
LIH − потеря инструмента на забое;
DTF − отказ инструмента;
CP − отбор керна;
TQ − рост момента;
LOG − геофизическое исследование скважин (ГИС);
FM – смена геологической обстановки;
PP − изменение давления на стояке;
TW − отворот инструмента (трубы);
DP − разбуривание цементного стакана;
HP − авария;
PR − падение механической скорости проходки;
WC − погодные условия;
DSF − повреждение бурильной колонны.

Приведем практические примеры описания износа шарошечных долот по кодам IADC.

Пример 1. Долото выглядит изношенным в процессе бурения пород тверже предела, на который это долото было рассчитано (рис.2.115). На этот факт указывают сильный износ зубков внутреннего ряда, а также подъем по причине падения механической скорости, вызванной сломом зубков при бурении слишком твердых для данного долота пород. Слишком высокая осевая нагрузка на долото также может привести к подобному внешнему виду долота после подъема. Правильным подбор долота был в случае, если долбление продолжалось не слишком долго, и при этом отсутствуют второстепенные характеристики износа, состояние уплотнения рабочее, и долото не изношено по диаметру. Однако если долбление продолжалось по времени меньше ожидаемого, подбор долота был ошибочным. Долото могло быть слишком «мягким» для пород данного типа, либо осевая нагрузка превышала допустимые значения. Далее приведена оценка его износа по коду IADC: 7.1.BT.M.E.I.WT.PR.



Рис.2.115. Общий вид отработанного долота, описанного в примере

Пример 2. Долото выглядит изношенным в процессе бурения пород тверже предела, на который это долото было рассчитано (рис.2.116). На этот факт указывают сильный износ зубков внутреннего ряда, а также подъем по причине падения механической скорости, вызванной сломом зубков при бурении слишком твердых для данного долота пород. Слишком высокая осевая нагрузка на долото также может привести к подобному

внешнему виду долота после подъема. Правильным подбор долота был в случае, если долбление продолжалось не слишком долго, и при этом отсутствуют второстепенные характеристики износа, состояние уплотнения рабочее, и долото не изношено по диаметру. Однако если долбление продолжалось по времени меньше ожидаемого, подбор долота был ошибочным. Долото могло быть слишком «мягким» для пород данного типа, либо осевая нагрузка превышала допустимые значения. Далее приведена оценка его износа по коду IADC: 5.8.WT.A.3.2.FC.HRS.



Рис.2.116. Общий вид отработанного долота, описанного в примере 2.

2.11. Алмазные долота, долота ИСМ и PDC

Главной особенностью алмазных (классических) долот является наличие в них алмазных режущих элементов (натуральных или искусственных алмазов). В буровых долотах обычно используют наименее ценную разновидность натуральных алмазов − борт, баллас и карбонадо. В производстве долот используют только карбонадо (бразильские технические алмазы) или черные алмазы.

Перед использованием в буровых долотах природные алмазы обычно окатывают путем трения алмаза об алмаз. В результате такой обработки получают более прочные овализованные алмазы, подверженные раскалыванию в меньшей мере, чем остроугольные. Искусственные (синтетические) алмазы по прочности близки к естественным алмазам. Технические показатели алмазных долот во многом зависят от качества и размеров алмазов. Качество алмазов определяют группой и категорией. К высшим группе и категории относятся крупные алмазы диаметром 2−3 мм (от 3 до 12 зерен на карат) и мелкие (до 1000 зерен на карат). Карат равен 0,2 г.

Стальной корпус с присоединительной резьбой по всей поверхности контакта спаян с матрицей. Матрицы изготавливают из композиционного материала, называемого шихтой, состоящей из кобальта и зерен карбида вольфрама, являющегося основным износостойким компонентом. Промывочные отверстия в матрице выходят на торцовую часть долота и переходят в промывочные каналы. Последние делят поверхность матрицы на секторы. На рабочей и калибрующей поверхностях секторов матрицы по определенной схеме размещены и закреплены алмазы. Алмазы закрепляют в процессе изготовления матрицы методами порошковой металлургии. После изготовления долота вылет алмазов над рабочей поверхностью матрицы должен составлять 0,10−0,25 их диаметра.

По форме и направлению пазов, промывочных каналов, рабочих органов и всей рабочей части выделяют алмазные долота двух типов, производимых в России: долота спиральные (ДС) (см. рис. 2.117. а) и радиальные (ДР) (см. рис. 2.117., б).

По размещению алмазов в матрице различают долота с поверхностной вставкой алмазов (однослойные) (рис. 2.118.) и импрегнированные (рис. 2.119.).

Долота с поверхностной вставкой алмазов получают при однослойной укладке относительно крупных алмазов в специальную огнеупорную форму, а импрегнированные

− равномерным перемешиванием мелких и невысокого качества алмазов в поверхностном слое толщиной от 6 до 10 мм.

Диаметры алмазных долот несколько (примерно на 2 мм) меньше диаметров шарошечных долот.

По профилю рабочих поверхностей алмазные долота подразделяются на:

− долота с системой мелких торовидных выступов (ДР, ДИ) (см. рис. 2.117, д);

− долота с системой крупных торовидных выступов (ДК, ДИ, ДУ) (см. рис. 2.117., г);

− долота с гладким профилем рабочих поверхностей (ДР, ДО, ДЛС) (см. рис. 2.117., в).

По способу армирования изготавливаются алмазные долота трех модификаций:

− однослойные долота (ДЛ, ДР);

− импрегнированные долота (ДИ, ДКСИ);

− комбинированные долота с однослойным и импрегнированным армированием (ДУ, ДУС). Долота с поверхностной вставкой алмазов получают при однослойной укладке относительно крупных алмазов в специальную огнеупорную форму, а импрегнированные − равномерным перемешиванием мелких и невысокого качества алмазов в поверхностном слое толщиной от 6 до 10 мм.

Диаметры алмазных долот несколько (примерно на 2 мм) меньше диаметров шарошечных долот.

По профилю рабочих поверхностей алмазные долота подразделяются на:

− долота с системой мелких торовидных выступов (ДР, ДИ) (см. рис. 2.117, д);

− долота с системой крупных торовидных выступов (ДК, ДИ, ДУ) (см. рис. 2.117, г);

− долота с гладким профилем рабочих поверхностей (ДР, ДО, ДЛС) (см. рис. 2.117., в).

По способу армирования изготавливаются алмазные долота трех модификаций:

− однослойные долота (ДЛ, ДР);

− импрегнированные долота (ДИ, ДКСИ);

− комбинированные долота с однослойным и импрегнированным армированием (ДУ, ДУС).

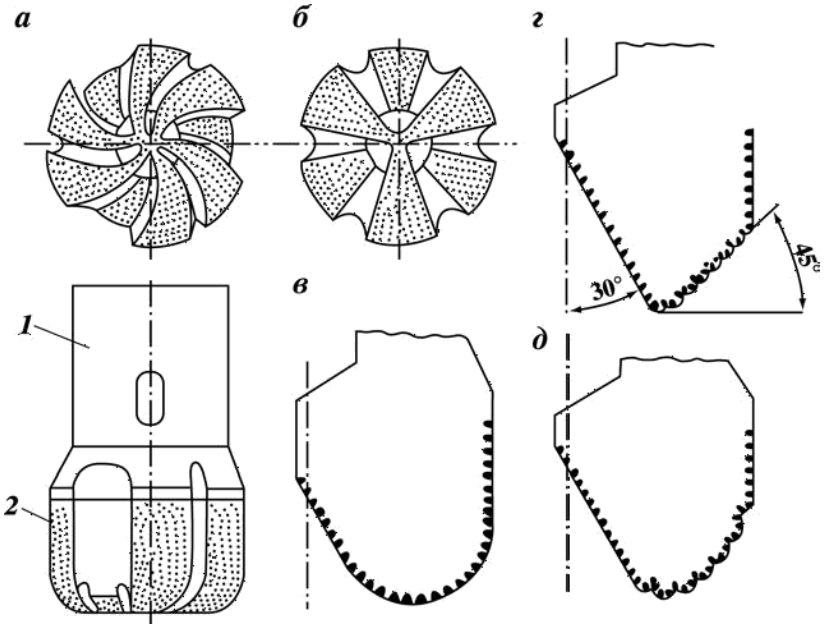


Рис. 2.117. Алмазные долота выпускаемые в России.



Рис. 2.118. Общий вид однослойного алмазного долота, оснащенного крупными натуральными алмазами



Рис. 2.119. Общий вид импрегнированного алмазного долота

Примеры условной записи (шифра) алмазных долот:
ДК-212М6:
Д − обозначение алмазного долота;
К − долото со ступенчатым профилем;
212 − номинальный диаметр, мм;
М − для мягких пород (выполняется однослойным);
6 − номер модели;
ДИ-188С6:
Д − обозначение алмазного долота;
И − импрегнированное долото;
188 − номинальный диаметр долота, мм;
С − для средних пород;
6 − номер модели;
ДР-159СТ1:
Д− обозначение алмазного долота;
Р − радиальное долото;
159 − номинальный диаметр, мм;
СТ − для среднетвердых пород (выполняются только однослойными);
1 − номер модели;
ДКС-138С:
Д − обозначение алмазного долота;
К − долото со ступенчатым профилем;
С − долото с синтетическими алмазами;
138 − номинальный диаметр, мм;
С − для средних пород;
ДЛС-267С1:
Д − обозначение алмазного долота;
Л − однослойное радиальное лопастное;
267 − номинальный диаметр, мм;
С − для средних пород;
1 − номер модели.

2.12. Кодирование износа алмазных (классических) долот

Кодирование износа проводится по системе, принятой в России (ВНИИБТ). Виды износа алмазных долот записывают буквой и цифрами, обозначающими расположение и размер выработки.

Буквами обозначают вид и форму износа:

О − обнажение алмазов;

Ц − выработка в центральной части долота;

Т − кольцевая выработка на торцовой рабочей поверхности;

П − выработка периферийной рабочей поверхности;

d − износ кернообразующего отведения бурильной головки;

D − износ по диаметру.

Результаты общего состояния долота записывают словами:

«в работе» или «отработано».

«В работе» − это значит, что долото после очередного рейса осталось работоспособным и может быть использовано повторно.

«Отработано» − долото непригодно для дальнейшего использования из-за:

− выработки в центральной части долота;

− кольцевой выработки в центральной, торцовой или периферийной частях долота;

− износа долота по диаметру более чем на 3 мм;

− выпадения алмазов в результате эрозионного износа матрицы долота;

− других видов износа.

Примеры записи видов износа алмазных долот:

Ц40 · 20 − выработка в центральной части долота диаметром 40 мм и глубиной 20 мм;

Т140 · 150 · 5 − кольцевая выработка на торцовой поверхности долота между диаметрами 140 и 150 мм глубиной 5 мм;

П208 · 35 − выработка периферийной части долота от края долота до диаметра 208 мм глубиной 35 мм;

О 1/2.Д212.d82 − обнажение зерен алмазов торцовой поверхности на 0,5 размера зерна, износ долота по диаметру до 212 мм, увеличение диаметра кернообразующего отверстия до 82 мм.

Примеры записи износа алмазных долот в буровом журнале: отработано, Д212Т140 · 150 · 5 − долото непригодно к дальнейшему использованию, долото по диаметру сработано до 212 мм (номинальный диаметр был 214,3 мм), на торцевой поверхности образовалась кольцевая выработка между диаметрами 140 и 150 мм глубиной 5 мм; в работе, Д214,3Т140 · 150 · 2Т70 · 80 · 1 − долото пригодно к дальнейшему использованию, диаметр долота не изменен, имеет две торцовые выработки: первую между диаметрами 140 и 150 мм глубиной 2 мм; вторую между диаметрами 70 и 80 мм глубиной 1 мм.

2.13. Долота ИСМ

Конструкция долота ИСМ, разработанного Украинским научно-исследовательским институтом сверхтвердых материалов, приведена на рис. 2.120,2.121, 2.122.



Рис.2.120. Общий вид долота ИСМ радиального типа.



Рис.2.121. Общий вид долота ИСМ торцового типа.



Рис.2.122. Общий вид долота ИСМ секторного типа.

Стальной корпус с присоединительной замковой резьбой на торцовой профильной рабочей поверхности и калибрующей поверхности имеет вставки из сверхтвердого материала «Славутич», обладающего высокой износостойкостью . Вылет вставок над рабочей поверхностью корпуса составляет 3−5 мм. На калибрующей поверхности вставки утоплены, т.е. их вылет равен 0. Для оснащения долот применяют цилиндрические вставки диаметром 8−12 мм с плоскими, полусферическими и клиновыми рабочими торцами.

Рабочие элементы крепятся к стальному корпусу методом пайки.

На обратном конусе вставки размещены по спирали, на его поверхности проточена спиральная канавка для дополнительной циркуляции бурового раствора, выноса шлама и охлаждения вставок.

Буровой раствор из промывочных отверстий поступает в основные и дополнительные промывочные каналы. Основные промывочные каналы делят всю рабочую и калибрующую поверхность долота на секторы.

Долота ИСМ могут быть как с обычной промывкой (отверстия без насадок), так и гидромониторными (с насадками). При этом насадки изготавливаются из твердого сплава согласно ТУ 88 УССР ИСМ-472−75 и ГОСТ 3882−74. Их форма обычно такая же, как и форма насадок для шарошечных долот.

Долота ИСМ с обычной промывкой используют, как правило, при турбинном бурении, а гидромониторные − при роторном способе бурения.

Форма рабочей поверхности вставок марки «Славутич» и количество вставок

определяются физико-механическими свойствами горных пород.

Долота ИСМ выпускаются трех разновидностей: режущие, торцовые и истирающие.

Режущие долота ИСМ предназначены для бурения в мягких и средних пластичных породах. Количество вставок минимально возможное, обеспечивающее не более чем полутора кратное перекрытие забоя. Это позволяет при относительно небольших нагрузках на долото создавать значительные удельные нагрузки. Общее содержание вставок марки «Славутич» в долоте режущей разновидности в 6−10 раз меньше, чем в истирающем ИСМ. Оно возрастает от центра к периферии долота.

Форма рабочей части лопасти может быть либо выпуклой, либо выпукло-вогнутой.

Торцовые долота ИСМ предназначены для забуривания нового ствола при бурении направленных скважин, а также для ликвидации аварий. Кроме того, они применяются в среднемягких горных породах.

Истирающие долота ИСМ предназначены для бурения мягких и средних малоабразивных пород. Они могут быть либо радиальными, либо секторными. Первая конструкция применяется для турбинного бурения, вторая − для роторного и турбинного.

Секторные долота имеют комбинированное вооружение. Их наружный ступенчатый корпус оснащен вставками с клиновидной рабочей головкой, а внутренний − вставками с круглой рабочей головкой. Такое вооружение применяется в долотах, предназначенных для бурения пород перемежающейся твердости.

Примеры условной записи долот ИСМ:

ИСМ-188-РГ-10:

ИСМ − вид долота;

188 − номинальный диаметр, мм;

Р − режущее;

Г − гидромониторное;

10 − номер модели;

ИСМ-292-А-МС:

ИСМ − вид долота;

292 − номинальный диаметр, мм;

А − для аварийных работ;

МС − мягкие и средние породы.

ИСМ-267-МС-2:

ИСМ − вид долота;

267 − номинальный диаметр, мм;

МС − мягкие и средние породы;

2 − номер модели.

2.14. Долота PDC

Общий вид долота PDC (P − polycrystalline, D − diamond, C − cutter) представлен на рис. 2.123.. Долото состоит из корпуса с присоединительной замковой резьбой и рабочей части долота − матрицы с лопастями, оснащенными резцами. В матрице между лопастями в промывочных каналах смонтированы гидромониторные промывочные узлы.

Резцы долот PDC двухкомпонентные. Тело резца состоит из прессованного карбида вольфрама. Рабочая кромка резца упрочнена поликристаллическими синтетическими алмазами толщиной 0,5−0,7 мм.

Упрочнение резцов поликристаллическими алмазами повышает износостойкость резцов, а наличие карбидовольфрамового тела (подкладки) увеличивает пластичность резцов в целом (рис.2.124.).

Размеры резцов и их формы показаны на рис.2.125, 2.126.

Резцы вручную впаиваются в гнезда лопастей специальным припоем, как показано на

рис. 2.127., 2.128.

После оснащения лопастей резцами проводят балансировку долота на специальном стенде, добиваясь минимального дисбаланса сил, действующих на долото при разрушении горной породы. При балансировке минимизируются вибрации долота, что приводит к увеличению скорости бурения, срока службы долота и достижению высокого экономического эффекта. Долота PDC изготавливают двух видов: долота с цельным стальным корпусом и матричные, с твердосплавной матрицей, припаеной к стальному корпусу.



Рис. 2.123. Общий вид долота PDC.

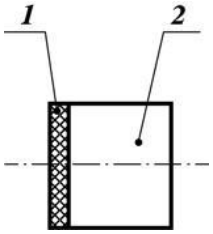


Рис. 2.124. Схема резца долота PDC:
1 − алмазный слой; 2 − твердосплавная основа.

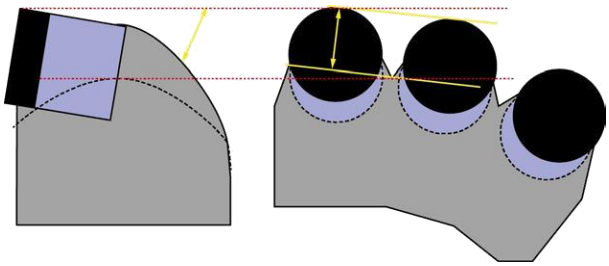


Рис. 2.125. Формы резцов долот PDC.

В долотах PDC первого вида целиковый корпус изготавливается резанием на специальных станках, там же высверливаются гнезда под резцы, в которые их впаивают по специальной технологии. При работе таких долот вместе с резцами изнашивается корпус долота, который не подлежит реставрации.

В матричных долотах корпус с присоединительной резьбой изготавливается из стали резанием, а импрегнированная матрица – методом порошковой металлургии, т.е. в водородной печи шихта (смесь порошкообразного карбида вольфрама и кобальта) спекается при температуре 1300 ^{0}C.

В форму под матрицу (опоку) по шаблону в места, предназначенные под резцы,

вставляют графитовые стержни. После спекания матрицы стержни извлекают, а на их место впаивают резцы. Готовую матрицу по всей плоскости припаивают к стальному корпусу. После этого долото балансируется. При работе таких долот импрегнированная матрица не изнашивается.

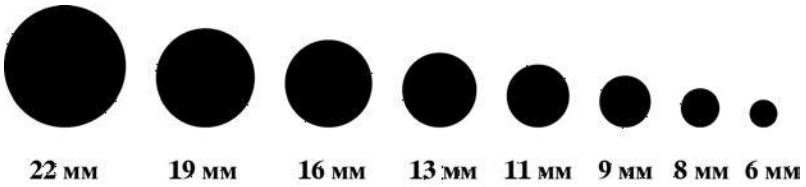


Рис. 2.126. Диаметры резцов долот PDC.

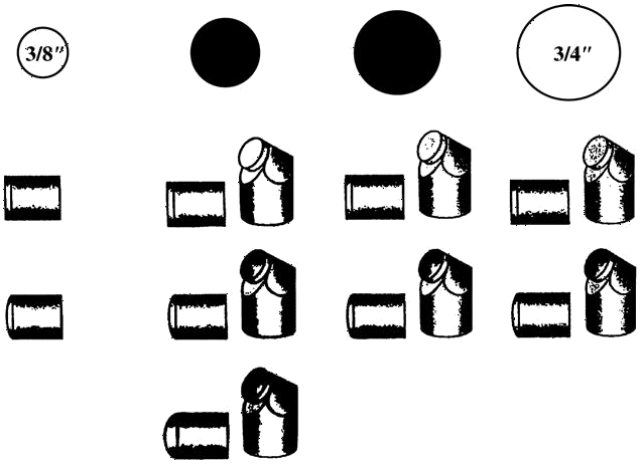


Рис. 2.127. Положение резца в лопасти долота PDC.



Рис. 2.128. Общий вид готового к работе долота PDC.

Изнашиваются в основном резцы. Поэтому такие долота подлежат реставрации. При реставрации изношенные резцы выпаивают, а на их место впаивают новые. За счет реставрации существенно снижается стоимость таких долот.

Особую группу долот PDC составляют бицентричные долота (рис. 2.129, 2.130).

Особенность работы бицентричных долот заключается в том, что при бурении они образуют новый ствол большего диаметра, чем проходной ствол.

Схемы спуска и бурения бицентричными буровыми долотами показаны на рис. 2.131, 2.132, 2.133, 2.134.



Рис. 2.129. Общий вид бицентричного долота



Рис. 2.130. Элементы бицентричного долота

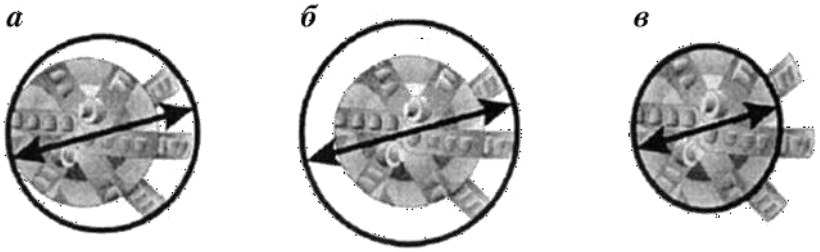


Рис.2.131. Схемы формирования диаметра скважины бицентричным долотом:
а − проходной диаметр; б − разбуриваемый диаметр; в − диаметр «пилота»

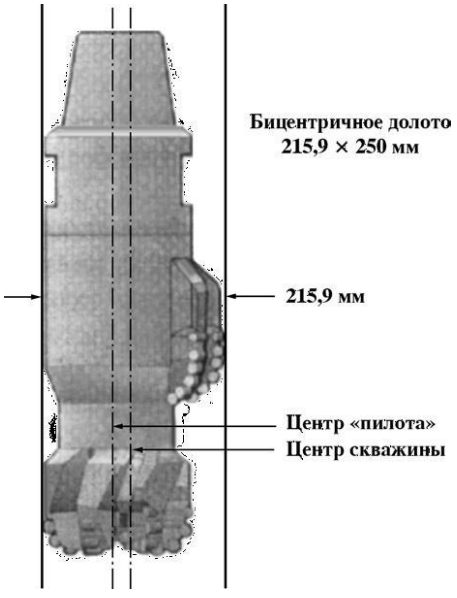


Рис. 2.132. Схема спуска бицентричного долота в скважину

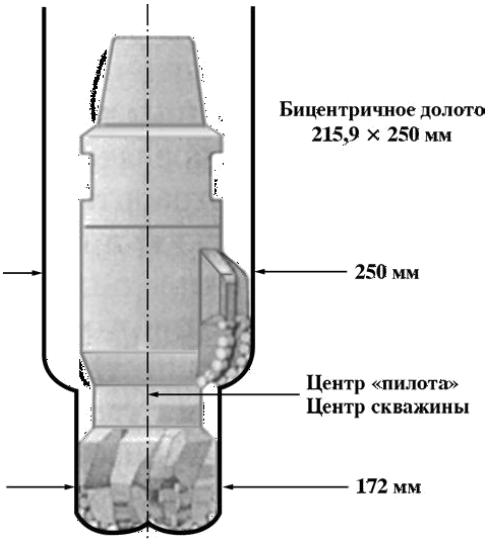


Рис.2.133. Схема бурения скважины бицентричным долотом

Бицентричные долота используют при бурении вторых стволов, при необходимости намывки гравийных фильтров в зоне продуктивного пласта.

В последние годы буровые долота PDC получили широкое применение во всем мире, в том числе и в России за счет их высокой стойкости (тысячи метров на долото) и высоких механических скоростей бурения. На сегодня в России имеется шесть производителей породоразрушающих инструментов PDC: ООО «Азимут», ООО НПП «Буринтех», ОАО НПП «Бурсервис», ОАО «Волга-бурмаш», ЗАО «Проммашсервис», СП ЗАО «Удол», что указывает на повышенный спрос данного инструмента.

Основными мировыми производителями породоразрушающих инструментов PDC являются фирмы США и Китая. Они же являются изготовителями шарошечных и алмазных (классических) породоразрушающих инструментов.

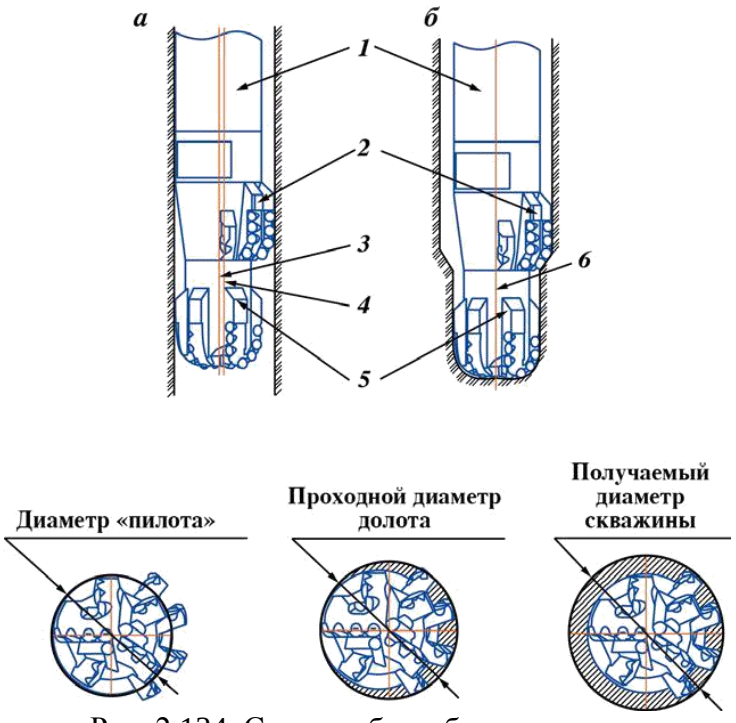


Рис. 2.134. Схема работы бицентричного долота:
а − при спуско-подъемных операциях; б − при бурении; 1 − гидра-влический забойный двигатель; 2 − расширитель; 3 − ось «пилота»; 4 − ось скважины; 5 − «пилот»; 6 − оси «пилота» и скважины (совпадают)

Буровые долота PDC классифицируют по системе IADC (табл.2.2).
Пример условной записи долота PDC S121:
S − стальной корпус;
1 − для мягких пород;
2 − диаметр резцов 19 мм;
1 − короткий профиль.

Таблица 2.2.

Классификация долот PDC по коду IADC

Тип корпуса	Тип горных пород		Диаметр резцов, мм		Тип профиля долота
M – матричный корпус	1	Очень мягкие	2 3 4	19 13 8	1 − короткий «рыбий хвост»
	2	Мягкие	2 3 4	19 13 8	2 − короткий профиль
S – стальной корпус	3	Мягкие средние	2 3 4	19 13 8	3 − средний профиль
	4	Средние	2 3 4	19 13 8	4 − длинный профиль

В связи с широким применением буровых долот PDC в России приведем некоторые общие рекомендации по их эксплуатации:

по осевой нагрузке:

0,25−1,0 тс на 1 дюйм диаметра долота (но не более 1,1 тс) при бурении в мягких породах;

0,5−1,1 тс на 1 дюйм диаметра долота (но не более 1,4 тс) при бурении в породах средней твердости;

0,7−1,8 тс на 1 дюйм диаметра долота (но не более 2,0 тс) при бурении в твердых породах;

0,9−1,8 тс на 1 дюйм диаметра долота (но не более 2,0 тс) при бурении в крепких породах.

по частоте вращения:

100−180 об/мин в неабразивных породах; 60−80 об/мин в абразивных породах;

по гидравлической мощности, подводимой к долоту, на 1 дюйм^2 площади забоя скважины:

2−7 л/с на 1 дюйм^2 площади забоя при использовании бурового раствора на водной основе;

1−5 л/с на 1 дюйм^2 площади забоя при использовании бурового раствора на нефтяной основе.

В табл. 6 приведены рекомендуемые подачи бурового раствора для буровых долот различных диаметров.

Таблица 2.3.

Диаметр долота RDC, дюйм (мм)	Подача насоса, л/мин	Удельный расход на 1″ диаметр долота, л/мин
17 1/2 (444,5)	3 000−4 000	170−230
12 1/4 (331,1)	2 300−2 800	190−230
8 1/2 (215,9)	1 200−1 500	140−180
6 (152,4)	600−800	100−135

2.15. Кодирование износа долот PDC

Очень важно ввести аналогичную систему описания износа и для долот с неподвижными резцами, т.е. всех не шарошечных (безопорных).

В 1987 г. такая система была разработана подкомитетом по буровым долотам Международной ассоциации буровых подрядчиков. В 1991 г. система была отредактирована. Систему описания износа можно применять для не шарошечных долот всех типов, включая долота с природными поликристаллическими (PDC) и термостойкими поликристаллическими (TSP) алмазами, а также импрегнированные бурильные головки и долота безопорные, не оснащенные алмазным вооружением (ИСМ).

Система описания износа едина для буровых долот и бурильных головок всех конструкций. Таблица описания износа долот стандарта IADC включает коды для обозначения износа шарошечных долот и долот с неподвижными резцами. Параметры износа вносятся в соответствующие восемь колонок.

Табл. 2.4. аналогична схеме кодирования износа шарошечных долот по системе IADC: колонки 1−4 − код износа вооружения («Вооружение»); колонка 5 (B) − код износа опоры («Подшипник, уплотнение»), так как в безопорных долотах (долотах с неподвижными резцами) нет опор, в этой колонке всегда ставится знак «X»; колонка 6 (G) − износ долота по диаметру («Диаметр»); колонки 7 и 8 − второстепенный износ (или вторичные характеристики износа) и причина подъема («Второстепенный износ» и «Причина подъема»).

Таблица 2.4.

Кодирование износа безопорных долот по IADC

Таблица описания износа долот стандарта IADC							
Вооружение				B	G	Примечание	
Внутренние ряды	Наружные ряды	Описание износа	Местонахождение	Опора. Уплотнение	Диаметр 1/16″	Второстепенный износ	Причина подъема
2	6			X			

Степень износа внутренних и внешних рядов вооружения долота с поверхностно-вставленными алмазами определяется при помощи линейной шкалы от 0 до 8, аналогично шарошечным долотам. Цифры увеличиваются с ростом степени износа: 0 означает отсутствие износа, 8 − полный износ, 4 − 50%-ный износ.

Износ резца долота PDC определяется по линейной шкале от 1 до 8 от края до края алмазной пластины, независимо от формы, размера, типа или вылета резца.

Степень износа резцов схематично показана на рис. 2.135. Для определения степени износа записывают среднюю величину износа каждого сектора.

Как показано (см. рис. 2.135), 2/3 радиуса представлено внутренними рядами. Пять

резцов имеют степень износа «2».

Проведем расчет путем определения средней степени износа для каждого резца в группе из пяти:

(4 + 3 + 2 + 1 + 0)/ 5 = 2.

Для сектора «Внешние ряды» степень износа рассчитывается аналогично:

(5 + 6 + 7)/3 = 6.

Таким образом, степень износа внешних рядов − «6».

Цифры вносят в таблицу описания износа долот стандарта IADC (табл. 2.5.).

В колонках 3 и 7 указывают характеристики износа, т.е. наиболее заметные изменения физического состояния применяемого долота по сравнению с новым, используя двухбуквенные коды (табл. 2.5) На рис. 2.136, 2.137. показаны характеристики износа.

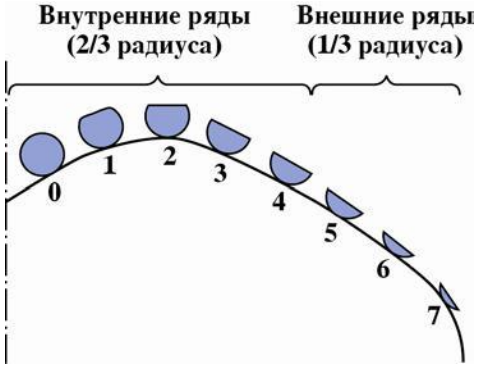


Рис. 2.135. Схема износа вооружения (внутренние и наружные венцы) (для бурильной головки осевая линия будет проходить по внутреннему диаметру).

Таблица 2.5.

Кодирование износа безопорных долот по IADC

Таблица описания износа долот стандарта IADC							
Вооружение				B	G	Примечание	
Внутренние ряды	Наружные ряды	Описание износа	Местонахож-дение	Опора. Уплотнение	Диаметр 1/16″	Второстепенный износ	Причина подъема
		WT		X		RO	
П р и м е ч а н и я: 1. В колонке «Местонахождение» укажите номер (а) шарошки (шарошек). 2. При отсутствии износа поставьте Л/О в колонке «Описание износа». 3. При отсутствии второстепенного износа поставьте Л/О в колонке «Второстепенный износ»							

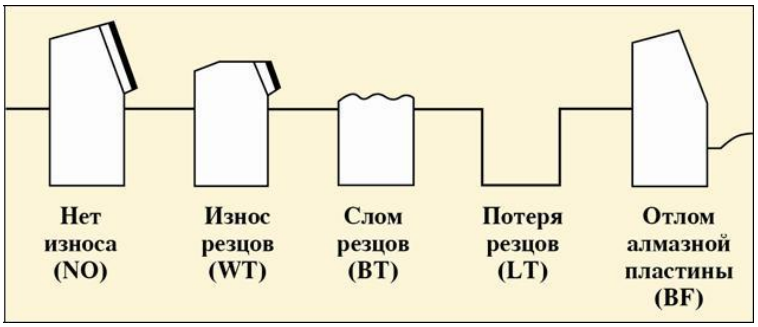


Рис. 2.136 Формы износа твердосплавных резцов, запрессованных в тело полости долота.

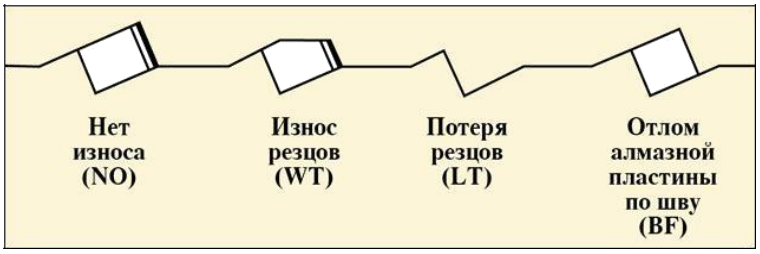


Рис. 2.137. Формы износа твердосплавных резцов

Кодовые обозначения типов второстепенного износа:
∗BC − слом шарошки;
CR − кернение долота;
LN − потеря насадки;
RO − кольцевой износ;
BF − отлом алмазной пластины по шву;
CT − скол зубков (резцов);
LT − потеря зубков (резцов);
SD − повреждение козырька;
BT − скол зубков (резцов);
ER − эрозия;
OC − эксцентричный износ;
SS − самозатачивание резцов;
BU − образование сальника;
FC − затупление верхушек резцов;
PB − механическое повреждение при СПО;
TR − трекинг;
∗CC − трещина в шарошке;
HC − трещины перегрева;
PN − закупорка насадки;
WO − промыв инструмента;
∗CD − истирание заклиненной шарошки (промывочного канала);
JD − метал на забое;
WT − износ зубков (резцов);
CI − взаимозацепление шарошек;
∗LC − потеря шарошки;
RG − износ по диаметру;
NO − отсутствие износа;
RR − подлежит повторному спуску;
NR − не подлежит повторному спуску.
Примеры описания износа долот PDC показаны на рис. 2.138, 2.139, 2.140.



Рис. 2.138. Износ резцов (WT)



Рис. 2.139. Скол резцов (BT)



Рис. 2.140 Кернение долота (CR)

В колонке «Местонахождение» указывается местоположение износа вооружения, описанного в колонке 3.

На рис. 2.141. показаны четыре существующих профиля долота с неподвижными резцами и коды для описания местоположения износа. Один (или больше) из этих кодов используют при указании местоположения характеристики износа.

В колонке G указывают износ диаметра долота по калибру. Буква I означает сохранение диаметра. Уменьшение наружного диаметра измеряется в 1/16″.

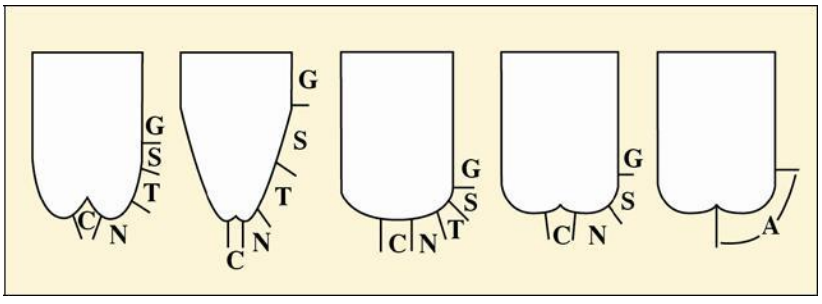


Рис. 2.141. Профили долот с неподвижными резцами:
C − конусный сектор; N − торцевой сектор; T − крыло; S − плечевой сектор; G − наружный диаметр; A − все участки

Приведем обозначения износа долот с фиксированными резцами:
I − сохранение диаметра;
1/16 − износ по диаметру до 1/16″;
2/16 − износ по диаметру от 1/16″ до 1/8″;
3/16 − износ по диаметру от 1/8″ до 3/16″;
4/16 − износ по диаметру от 3/16″ до 1/4″.

Кодовые обозначения причин подъема долота:
BHA − смена КНБК;
DMF − отказ забойного двигателя;
DSF − повреждение бурильной колонны;
DST − испытания пластов;
DTF − отказ инструмента;
LOG − ГИС (каротаж, инклинометр);
RIG − ремонт бурового оборудования;
CM − обработка бурового раствора;
CP − отбор керна;
DP − разбуривание цементного стакана;
FM − смена геологической обстановки;
HP − авария;
HR − подъем по времени;
PP − изменение давления на стояке;
PR − падение скорости проходки;
TD − проектный забой (колонна);
TQ − рост крутящего момента;
TW − отворот инструмента (трубы);
WC − погодные условия;
WO − промыв бурильной колонны.

Приведем практические примеры описания износа долот с фиксированными резцами.

Пример 1. Долото R437GN применялось для горизонтального бурения глинистых сланцев. КНБК включала забойный двигатель 6 3/4" Mach 1 с фиксированным углом перекоса. Во время первого долбления было пробурено 118 м за 8,5 ч. Долото поднято с глубины 1433 м. Механическая скорость бурения составляла 13,9 м/ ч. При обследовании долота после подъема не было обнаружено признаков износа (рис.2.142.).



Рис.2.142. Общий вид долота после подъема. Спецификация долота: тип R437GN; размер 8,5″; общая площадь потока 0,6

Результаты обследования внесены в табл. 2.4.

Таблица 2.4.

Кодовое описание износа долота R437GN (пример 1)

Таблица описания износа долот стандарта IADC							
Вооружение				B	G	Примечание	
Внутренние ряды	Наружные ряды	Описание износа	Местонахождение	Опора. Уплотнение	Диаметр 1/16″	Второстепенный износ	Причина подъема
0	0	NO	A	X	I	NO	TD

Пример 2. Долото R437GN применялось при бурении интервала от хрупких до вязких глин и песчаника в горизонтальной скважине. Было пробурено 387 м за 29,5 ч со средней механической скоростью 13,1 м/ч.

КНБК включала забойный двигатель 6 3/4″ Mach 1 с изменяемым углом перекоса. Долото поднято с глубины 1820 м по причине низкой механической скорости бурения. После поднятия долота выяснилось, что снижение механической скорости бурения произошло по причине кернения долота и потери всех четырех насадок, а на оставшихся резцах не было обнаружено значительных признаков износа (рис.2.143.).

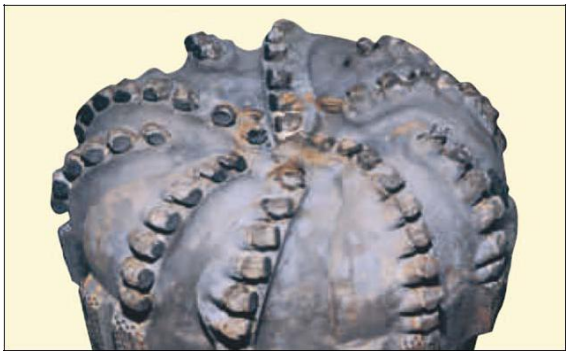


Рис.2. 143. Общий вид долота. Спецификация долота: тип R437GN; размер 8,5″; общая площадь потока 0,6

Результаты обследования внесены в табл. 10.

Пример 3. В районе Северного моря долото R435SG применялось на протяжении четырех СПО. Всего было пробурено 977 м за 166,3 ч в основном в соленых и агидритных породах (цехштейн). В трех из четырех спусков КНБК включала забойный двигатель Mach 1 DTU (210−320 об/мин). При обследовании после двух первых спусков не было выявлено существенного износа вооружения.

Таблица 2.5.

Кодовое описание износа долота R437GN (пример 2)

Таблица описания износа долот стандарта IADC							
Вооружение				B	G	Примечание	
Внутренние ряды	Наружные ряды	Описание износа	Местонахождение	Опора. Уплотнение	Диаметр 1/16″	Второстепенный износ	Причина подъема
6	2	CR	C	X	T	LN	PR
Примечание. Хотя произошла потеря всех четырех насадок, в колонке «Описание износа» указано «Кернение долота» (CR), так как главной причиной потери насадок является кернение. Потеря насадок (LN) отмечена в колонке «Второстепенный износ».							

В колонке «Причина подъема» в обоих случаях было указано «Отказ инструмента» (DTF).

После третьего спуска (пробурено 389 м за 89,5 ч) долото было поднято по причине смены КНБК. При этом наблюдался равномерный износ ±20 % внутренних и внешних рядов вооружения.

При обследовании долота после четвертого спуска было выявлено 50 % износа внутренних рядов и 60 % износа внешних рядов вооружения. Также наблюдались сильная эрозия и потеря резцов в секторе крыла (рис. 2 .144).

Результаты обследования внесены в табл.2.6. Содержащуюся в описании износа

информацию можно использовать для нескольких целей. С ее помощью изготовители долот могут проанализировать прочность конструкции и область применения своей продукции.

Буровики могут усовершенствовать программы бурения. Систему оценки можно компьютеризировать и создать всемирную базу данных с целью повышения эффективности подбора долот для конкретных условий применения.



Рис. 2.144. Общий вид долота после четвертого спуска. Спецификация долота: тип R435SG; размер 12,25″; общая площадь потока 0,65− 1,60.

Таблица 2.6.

Кодовое описание отработанного долота R435SG (пример 3)

Таблица описания износа долот стандарта IADC							
Вооружение				B	G	Примечание	
Внутренние ряды	Наружные ряды	Описание износа	Местонахождение	Опора. Уплотнение	Диаметр 1/16″	Второстепенный износ	Причина подъема
0	0	NO	A	X	I	NO	DTF
Спуск 1							
0	0	NO	A	X	I	NO	DTF
Спуск 2							
0	0	NO	A	X	I	NO	DTF
Спуск 3							
0	0	NO	A	X	I	NO	DTF
Спуск 4							
0	0	NO	A	X	I	NO	DTF

Основной причиной введения единой системы оценки является необходимость стандартизации сведений о долоте, независимо от места и конкретных условий его применения.

2.16. Шарошечные и лопастные бурильные головки гост 21210−75

Породоразрушающий инструмент для бурения скважин кольцевым забоем называют бурильными головками.

Бурильные головки предназначены для бурения скважин с отбором керна. Они могут использоваться со стационарными либо съемными керноприемниками.

Бурильные головки могут быть шарошечными, лопастными, фрезерными, алмазными (классическими) ИСМ или PDC.

Шарошечные бурильные головки (рис. 2.145) выполняются с одной, тремя, четырьмя, пятью, шестью, восемью и более рабочими органами. Шарошки в бурильной головке могут быть:

− коническими;
− одно-, двух-, или трехконусными;
− в виде усеченного конуса;
− цилиндрическими;
− цилиндроконическими;
− сферическими;
− чечевицеобразными.

Число и конструкция подшипников в опоре каждой шарошки также могут быть различными в зависимости, главным образом, от формы исполнения, габаритных размеров шарошки и бурильной головки.

Лопастные бурильные головки предназначены для отбора керна в мягких породах роторным способом в комплекте с несъемным керноприемником (табл.2.7).

Промывочный узел состоит обычно из нескольких каналов, просверленных в лапах или корпусе бурильной головки. Выходные промывочные отверстия во избежание размыва керна располагаются между шарошками подальше от центра.

Важными параметрами конструкции бурильной головки являются высота и коэффициент керноприема.

Высотой керноприема принято называть расстояние от зоны образования керна до кернорвателя, а коэффициентом керноприема − отношение к этому расстоянию диаметра керна.

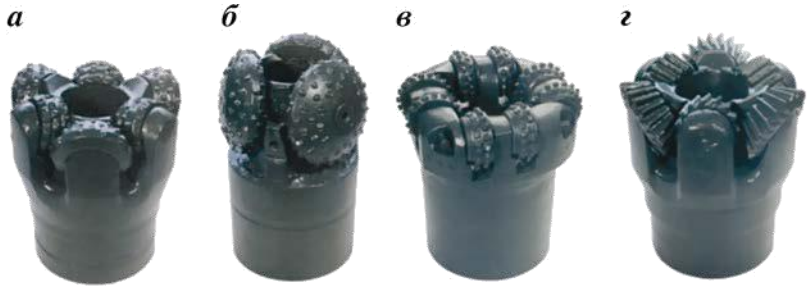


Рис.2.145. Общий вид шарошечных бурильных головок:
а − ТКЗ; б − СЗ; в − МСЗ; г − СТ

Таблица 2.7.

Типы, область применения бурильных головок и исполнение их рабочей части по ГОСТ 21210−75

Тип	Область применения	Исполнение рабочей части
М	Бурение мягких устойчивых пород	Лопасти со вставными твердосплавными зубцами, с наплавкой твердого сплава и без наплавки
МСЗ	Бурение мягких пород с пропластками пород средней твердости	Шарошки со вставными твердосплавными зубками
СЗ	Бурение пород средней твердости	
СТ	Бурение пород средней твердости с пропластками пород твердых	Шарошки со вставными твердосплавными зубками или фрезерованными зубцами с наплавкой или без наплавки твердым сплавом
ТЗ	Бурение твердых пород	Шарошки со вставными твердосплавными зубками
ТКЗ	Бурение твердых абразивных пород с пропластками пород крепких	

Пример условного обозначения бурильной головки для керноприемных устройств без съемного керноприемника (К) с наружным диаметром D = 139,7 мм, внутренним диаметром d = 52 мм для бурения мягких пород:

К 139,7/52 М ГОСТ 21210−75.

Пример условного обозначения бурильной головки для керноприемных устройств со съемным керноприемником (КС) с наружным диаметром D = 187,3 мм, внутренним диаметром d = 40 мм для бурения пород средней твердости:

КС 187,3/40 СЗ ГОСТ 21210−75.

2.17. Алмазные бурильные головки и бурильные головки ИСМ и PDC

Промышленностью выпускаются алмазные (классические) бурильные головки, оснащенные как природными, так и синтетическими алмазами (рис. 2.146, 2.147).

Бурильные головки первого класса изготавливаются трех разновидностей: однослойные радиальные, однослойные ступенчатые и импрегнированные.

Однослойные радиальные бурильные головки выпускаются серийно одного типа СТ двух модификаций в четырех моделях:



Рис.2.146. Общий вид импрегнированной алмазной бурильной головки

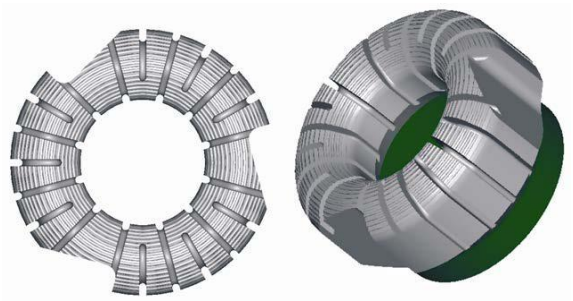


Рис. 2.148. Общий вид однослойной алмазной бурильной головки

КР 159/67 СТ2;

КР 188/80 СТ2;

КР 212/80 СТ2;

КР 188/40 СТ1.

В записи бурильных головок приняты следующие обозначения:

К − бурильная головка;

Р − радиальная разновидность;

159/67 − номинальный наружный диаметр бурильной головки/диаметр керноприемного отверстия, мм;

СТ − тип бурильной головки;

2 − порядковый номер модификации.

Однослойные ступенчатые бурильные головки выпускаются двух типов М и С:

тип М − одной модификации 2 в одной модели:

КТ 188/40 М2;

типа С − двух модификаций 3 и 5 в двух моделях:

КТ 138/52 С3;

КТ 138/45 С5.

Импрегнированные бурильные головки выпускаются только типа С модификации 3 в двух моделях:

КИ 188/80 С3;

КИ 212/80 С3.

В бурильных головках обеих моделей с твердосплавной матрицей перемешаны алмазы XXXIV группы.

Бурильные головки второго класса с синтетическими алмазами изготавливаются двух разновидностей: однослойные и импрегнированные ступенчатые.

Они выпускаются только одного типа С и одной модификации 3.

Однослойные ступенчатые бурильные головки изготовлялись в двух моделях:

КТС 188/80 С3; КТС 212/80 С3.

Импрегнированные − в трех моделях:

КТСИ 138/52 С3; КТСИ 188/8 С3;

КТСИ 212/80 С3.

Алмазные бурильные головки производятся в соответствии с отраслевым стандартом ОСТ 39.026−76.

Бурильные головки для колонковых снарядов со съемным керноприемником изготавливаются с ниппельной наружной присоединительной резьбой, а бурильные головки для колонковых снарядов с несъемным керноприемником − с муфтовой внутренней резьбой.

ОСТ 39.026−76 также предусмотрено выполнение бурильных головок для колонковых снарядов со съемным керноприемником следующих семи размеров, мм:

185,7/40;

188,9/40;

211,1/60;

214,3/60;

242,1/60;

267,5/60;

292,9/60.

Бурильные головки размерами 185,7/40 и 188,9/40 выпускаются с ниппелем З-147, размером 211,1/60 и 214,3/60 − с ниппелем З-161, а остальные − с ниппелем З-171. Бурильные головки для керноприемных снарядов с несъемным керноприемником производятся следующих размеров, мм:

130,4/60;
138,1/60;
141,3/52;
147,6/52;
157,1/67;
163,5/67;
169,8/67;
185,7/80;
188,9/80;
195,3/80;
211,1/80;
214,3/80;
220,7/80;
242,1/100;
267,5/100;
292,9/100;
308,7/100;
317,6/100;
346,8/100.

Бурильные головки ИСМ, вооруженные вставками со сверхтвердым материалом «Славутич», выпускаются в настоящее время одной и той же разновидности (рис. 72) и одного типа МС.

Эти бурильные головки армируются вставками с материалом «Славутич» по

наружной рабочей поверхности шести лопастевидных рабочих органов, составляющих единое целое с продолговатым полым корпусом, а также по внутренней центральной части, обеспечивающей образование керна.

Изготовление таких бурильных головок проводится в соответствии с ТУ 88 УССР ИСМ 472−76. Этими техническими условиями предусматривается изготовление бурильных головок под общим шифром ИСМ трех типов: М, МС и С.

Общий вид бурильных головок ИСМ и PDC представлен на рис. 2.149, 2.150. Бурильные головки, как и буровые долота, имеют стальной корпус с присоединительной резьбой и рабочие органы в виде лопастей, оснащенные резцами из поликристаллических синтетических алмазов.

Бурильные головки могут быть цельнометаллические стальные и матричного типа, аналогично буровым долотам. Технология изготовления бурильных головок PDC аналогична технологии изготовления буровых долот.

Бурильные головки PDC применяют для бурения с отбором керна в породах от мягких до средней твердости.



Рис.2.149. Общий вид бурильных головок ИСМ

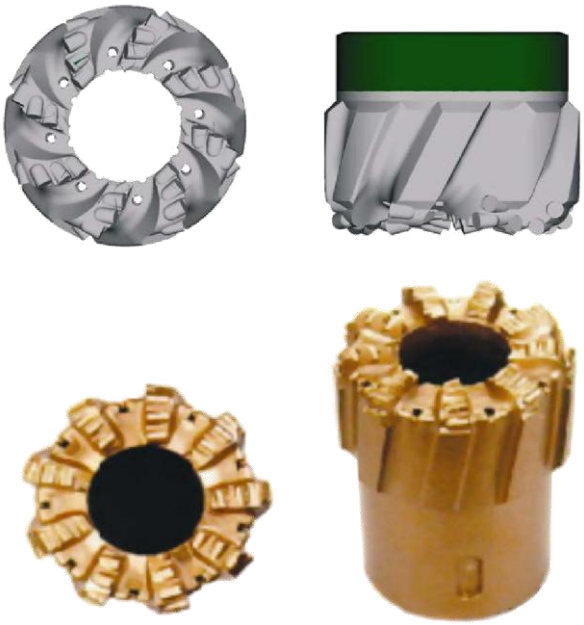


Рис.2.150. Общий вид бурильной головки PDC

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Упоров

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

Специальность:

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Александрова Ж. Н.

Екатеринбург

2020

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Ж. Н. Александрова

ПРАКТИКУМ ПО РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

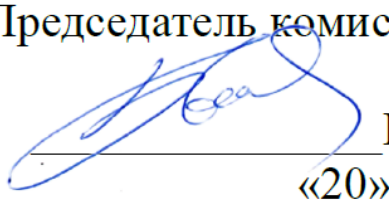
Руководство по выполнению практических работ
по дисциплине «Разведочная геофизика» для студентов
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Часть 1

Екатеринбург
2020

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

Ж. Н. Александрова

ПРАКТИКУМ ПО РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

Руководство по выполнению практических работ
по дисциплине «Разведочной геофизике» для студентов
специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки»
очной и заочной формы обучения

Часть1

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

УДК 550.83
А46

Рецензент: Писецкий В.Б., д-р геол.-мин. наук, профессор,
заведующий кафедрой геоинформатики УГГУ

Александрова Ж.Н.

А46 Практикум по разведочной геофизике: руководство по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Разведочная геофизика» для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки очной и заочной формы обучения. Часть 1 / Ж.Н. Александрова; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2020. – 54 с.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Технология геологической разведки»

© Александрова Ж.Н., 2020
© Уральский государственный
горный университет, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

1. Геофизические методы и физические поля, физические свойства горных пород и минералов……..…5
2. Решение прямой задачи гравиразведки: расчет аномалии силы тяжести над сбросом……..7
3. Палеточный способ решения прямых задач гравиразведки……...9
4. Решение обратной задачи гравиразведки: определение параметров залегания шарообразного тела по измеренному полю…..….11
5. Изучение гравиметра……13
6. Решение прямой задачи магниторазведки для шара…….15
7. Решение прямой задачи магниторазведки для тонкого вертикального стержня……..17
8. Количественная интерпретация данных магниторазведки……...19
9. Измерение вариаций геомагнитного поля……..23
10. Изучение детекторов гамма-излучения……..25
11. Расчет интенсивности гамма-излучения над контактом пород…28
12. Решение прямой задачи аэро-гамма-съемки……..31
13. Решение обратной задачи аэро-гамма-съемки……...34
14. Интерпретация диаграмм гамма-каротажа…….37
15. Оценка качества радиометрической съемки……..41
16. Вертикальные электрические зондирования на модели……...50
17. Симметричное электропрофилирование на модели……..54
18. Изучение геологического разреза по данным СЭП……...57
19. Интерпретация результатов полевых наблюдений методом заряженного тела……..61

Лабораторная работа № 1

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ, ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И МИНЕРАЛОВ

1.1. Цель работы: ознакомление с основами геофизических методов – изучаемыми в них физическими полями и дифференциацией соответствующих физических свойств горных пород и минералов.

1.2. Содержание работы

Принципиальная возможность изучения геологического строения Земли по результатам измерения геофизических полей заключается в существенном различии (дифференциации) горных пород по физическим свойствам.

Метод гравиметрии основан на изучении *поля силы тяжести*, которое характеризует **плотностную** неоднородность геологического разреза.

С помощью магнитометрии изучают особенности *стационарного геомагнитного поля*, связанные с различной **намагниченностью** и ***магнитной восприимчивостью*** горных пород и минералов.

Сейсмометрия позволяет определять строение Земли, изучая *поле упругих колебаний*, основными параметрами которого являются ***скорость упругих волн и их поглощение*** в горных породах.

Методами электрометрии изучают *электромагнитное поле*, возникающее в горных породах при прохождении через них электрического тока. Характер этих процессов зависит от ***удельного сопротивления и других электрических и магнитных свойств*** горных пород.

Наглядное представление о возможностях разведочной геофизики дает систематизация геофизических методов по изучаемым полям и дифференциации определяющих их физических свойств для распространенных горных пород и минералов – в форме таблиц и диаграмм.

1.3. Порядок выполнения работы

1. Перепишите в рабочую тетрадь по указанной форме (табл. 1.1) сведения о физических свойствах горных пород и минералов.
2. Запишите в ячейках под названием физических свойств размерность их единиц измерения.
3. Определите и запишите в нижних ячейках таблицы диапазон изменения каждого физического свойства для всех указанных горных пород и минералов.
4. Выберите подходящие типы (линейный или логарифмический) и масштабы шкал для построения прямоугольных диаграмм изменения указанных в таблице физических свойств горных пород и минералов.

5. Постройте диаграммы. В заголовках диаграмм укажите названия соответствующего геофизического метода и изучаемого в нем физического поля. Выделите соответствующей заливкой основные литологические разности: осадочные, метаморфические и магматические.

Таблица 1.1. Физические свойства некоторых горных пород и минералов

№ пп	Горные породы и минералов	Плотность	Магнитная восприимчивость	Скорость продольных волн	Электрическое сопротивление
1	Базальт	2,22…2,85	$1,25 \cdot 10^{-4}$…$1,55 \cdot 10^{-2}$	5,6	10^3…10^5
2	Габбро	2,85…3,05	10^{-3}…$7,5 \cdot 10^{-3}$	6,10…7,80	10^3…10^5
3	Глина	1,06…2,47	$2 \cdot 10^{-6}$…10^{-4}	1,0…2,00	10^0…10^2
4	Глинистый сланец	2,56…2,85	10^{-5}…10^{-4}	2,3…4,7	10^2…10^3
5	Гнейсы	2,58…2,90	10^{-5} …10^{-4}	5,45…6,25	10^2…10^5
6	Гранит	2,52…2,81	0…$4,5 \cdot 10^{-5}$	3,70…6,00	10^3…10^5
7	Диорит	2,72…2,96	$2 \cdot 10^{-4}$…$2 \cdot 10^{-3}$	5,60…6,10	10^4…10^5
8	Известняк	1,51…2,65	$5 \cdot 10^{-6}$…10^{-5}	1,00…5,50	10^2…10^3
9	Магнетит	4,97…5,18	$7 \cdot 10^{-1}$…$2 \cdot 10^{0}$	7,4	10^{-4}…10^{-2}
10	Мел, мергель	1,52…2,22	0…$8,5 \cdot 10^{-4}$	2,00…3,50	10^0…10^3
11	Перидотит	3,15…3,29	$4 \cdot 10^{-4}$…$7,3 \cdot 10^{-2}$	7,85…8,7	10^5…10^6
12	Песок	1,37…2,15	10^{-5}…10^{-4}	0,3…1,6	$6 \cdot 10^1$…$4 \cdot 10^2$
13	Песчаник	1,6…2,77	$2 \cdot 10^{-6}$…$5 \cdot 10^{-5}$	0,8…4,5	10^2…10^3
14	Пирит	4,91…5,02	$2 \cdot 10^{-5}$…$1,6 \cdot 10^{-4}$	7,90…8,05	10^{-4}…10^{-2}
15	Сиенит	2,63…2,90	0…$6,5 \cdot 10^{-3}$	5,8…6,45	10^2…10^5
	Диапазон изменения физических свойств				

Пример диаграммы магнитной восприимчивости, оформленной в приложениях Microsoft Word и Excel, показан на рис.1.1.

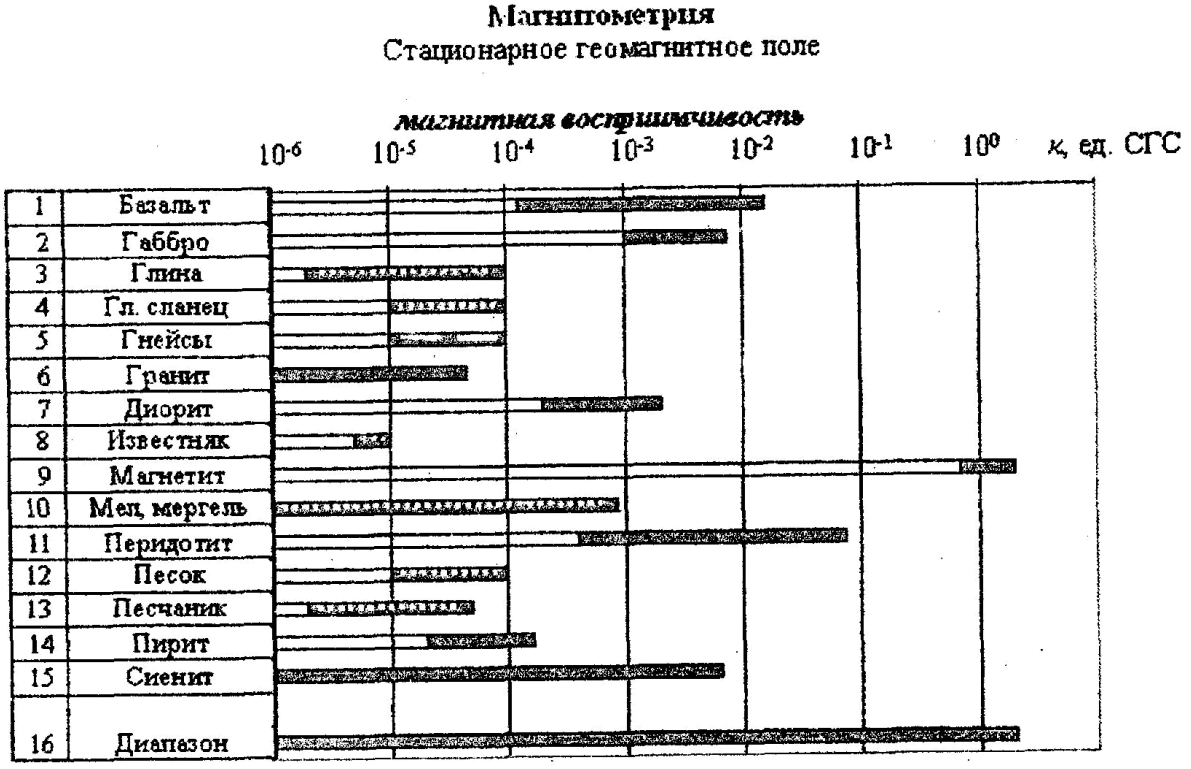


Рис 1.1. Диаграмма магнитной восприимчивости горных пород и минералов

Лабораторная работа № 2

Решение прямой задачи гравиразведки: расчет аномалии силы тяжести над сбросом

Задание:

Рассчитать аномалию силы тяжести для объекта, представляющего собой вертикальный сброс магматических горных пород, перекрытый рыхлыми отложениями (рис 1).

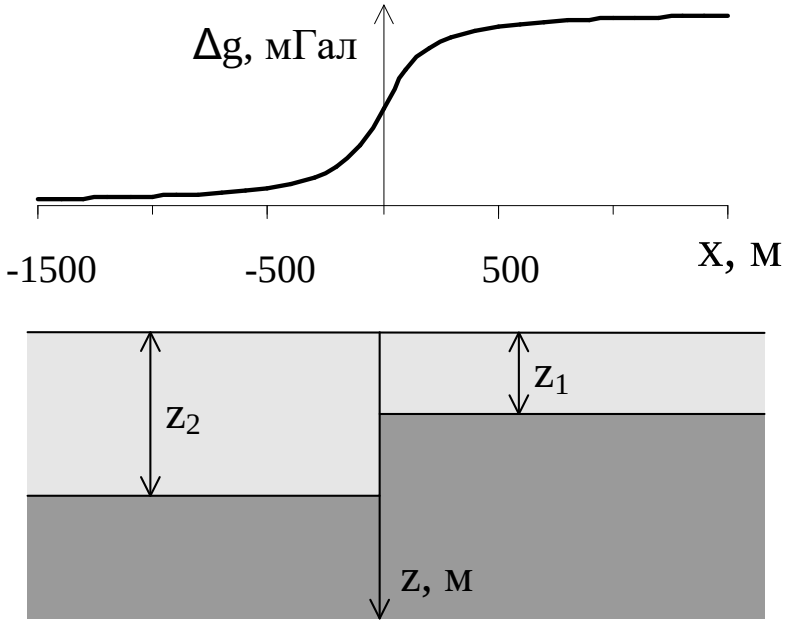


Рис. 1. Гравитационное поле над вертикальным уступом

Исходными данными для расчета являются глубина залегания верхней кромки уступа Z_1 в м, глубина залегания нижней кромки уступа Z_2 в м и избыточная плотность пород уступа $\Delta = \delta_1 - \delta_2$ в г/см^3 (таблица 1).

Расчет выполнить аналитическим способом, используя выражение

$$\Delta g = G\Delta\left[\pi(z_2 - z_1) + 2z_2 arctg\frac{x}{z_2} - 2z_1 arctg\frac{x}{z_1} + x\ln\frac{x^2 + z_2^2}{x^2 + z_1^2}\right],$$

где G = 6,673·10^{-11} Нм^2/кг^2 - гравитационная постоянная (постоянная тяготения), широко используемая в физике, механике, геофизике и астрономии, *x* – координата точки наблюдения по профилю.

При расчетах избыточную плотность Δ перевести из г/см^3 в кг/м^3, *x* изменять с шагом 100 м от –1000 м до 1000 м, дополнительно

рассчитать Δg для $x = -50$ м и 50 м. Рассчитанные значения Δg перевести из м/с^2 в мГал, учитывая, что 1 мГал = 10^{-5} м/с^2.

Результаты расчета представить в графическом виде над геологическим разрезом, как это изображено на рис 1.

Таблица 1

Вариант	Z_1, м	Z_2, м	Δ, г/см^3
№ 1	50	100	0,4
№ 2	50	100	0,5
№ 3	50	150	0,2
№ 4	50	150	0,3
№ 5	100	200	0,4
№ 6	100	200	0,5
№ 7	150	250	0,5
№ 8	150	250	0,6
№ 9	200	350	0,5
№ 10	200	400	0,6

Лабораторная работа № 3

Палеточный способ решения прямых задач гравиразведки

Для вытянутых тел сложного сечения и постоянной избыточной плотности расчет Δg можно проводить с помощью палетки Гамбурцева. Палетка приведена на рис.1.

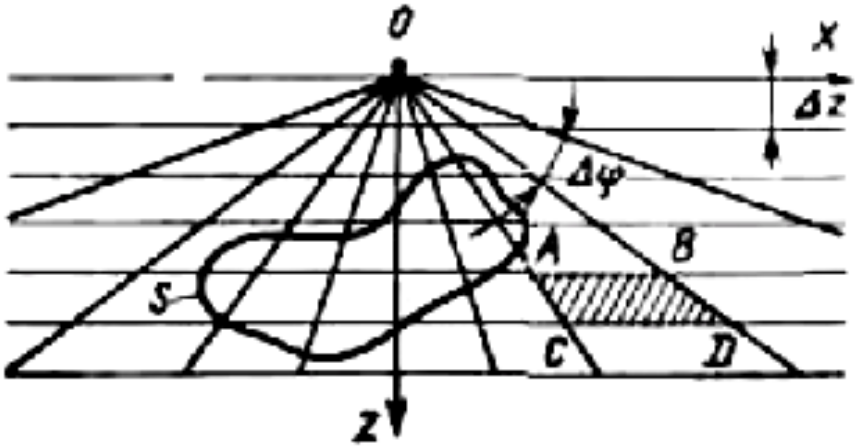


Рис.1. Палетка Гамбурцева для вычисления притяжения двумерными телами с контуром сечения двумерного тела S

Здесь из точки О через один и тот же угол Δφ проведены радиусы, а через равные расстояния Δz — параллельные линии. Оказывается, что значения силы тяжести Δg в точке О за счет притяжения одной бесконечной по оси Y горизонтальной призмой сечением в виде трапеции ABCD одинаково для любой из таких призм и

$$\Delta g_n = 2G\Delta\sigma_n\Delta\varphi\Delta z. \qquad (1)$$

Если на поперечное сечение исследуемого тела приходится m таких элементарных трапеций палетки, то

$$\Delta g(0) = m\cdot\Delta g_n. \qquad (2)$$

Параметр Δg_n представляет собой цену деления палетки и определяется заранее по заданным параметрам разреза, причем Δφ и Δz подбирают так, чтобы цена деления имела какое-либо удобное для расчета постоянное значение, например, 0,1 мГал.

При переходе с одного разреза на другой могут измениться масштаб (и, следовательно, Δz на палетке) и значение избыточной плотности. Чтобы воспользоваться этой же палеткой, необходимо ввести масштабный коэффициент.

Таким образом, аномалию над двумерным телом с помощью палетки Гамбурцева рассчитывают по формуле

$$\Delta g = m\cdot\Delta g_n \qquad (3)$$

Точность расчета Δg палеточным методом зависит от точности аппроксимации поперечного сечения плотностных масс элементарными ячейками па-

летки и может быть повышена путем уменьшения цены деления палетки. Существуют и другие пале-точные способы решения прямых задач гравиразведки, в том числе и трехмерных.

Задание:

1) Рассчитать цену деления палетки Гамбурцева по формуле 1, учитывая, что
$G = 6{,}67\ 10\text{-}11\ м^3\ кг^{-1}\ с^{-2}$;
$\Delta z=50$ м;
$\Delta\varphi=5°=\pi/36=0{,}087$;
$\Delta\sigma_n=0{,}4\ г/см^3=400\ кг/м^3$.

2) Отметить пикеты на профиле через 100 м.

3) Совмещая начало координат палетки с пикетом, сосчитать количество трапеций палетки, попадающих в контур тела.

4) Процедуру подсчета повторить на всех пикетах.

5) Вычислить $\Delta g(x)$ на каждом пикете, используя выражение (1).
6) Построить график $\Delta g(x)$ в мГал (рис. 2).

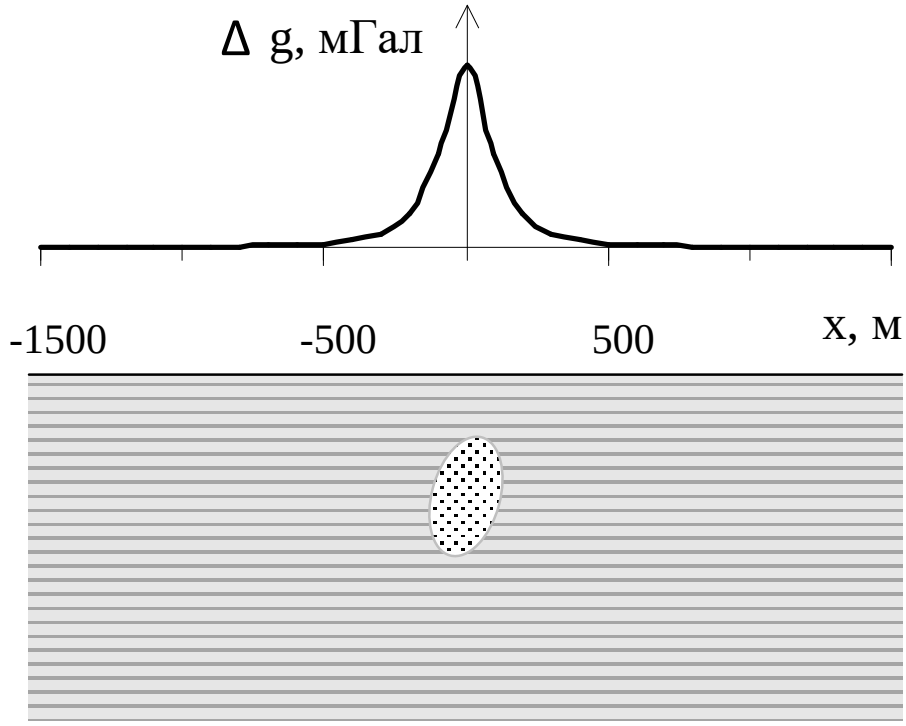


Рис.2. Результат определения аномалии силы тяжести палеточным способом

Лабораторная работа № 4

Решение обратной задачи гравиразведки: определение параметров залегания шарообразного тела по измеренному полю

Задание:

1. Скопировать выданный преподавателем вариант графика Δg.
2. На графике Δg отметить точки, в которых аномалия силы тяжести равна максимальному значению Δg_{max} и половине максимального значения $1/2\Delta g_{max}$.
3. Определить координаты этих точек на профиле в м.
4. Вычислить глубину залегания шарообразного тела.
5. Вычислить аномальную массу шара и его радиус
6. Построить геологический разрез в удобном масштабе.

Форму шара или близкую к нему могут иметь рудные залежи, куполовидные нефтегазоносные структуры, соляные купола, карстовые пустоты и др.

Пусть однородный шар радиусом *r*, объемом *V*, с избыточной плотностью Δσ расположен на оси *Z* на глубине *h* (рис. 1).

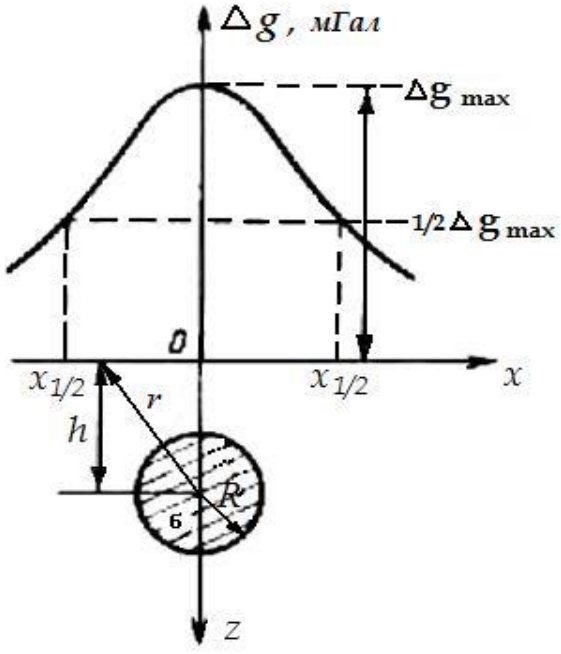


Рис. 1. Гравитационное поле над шаром

По закону всемирного тяготения шар притягивается с такой же силой, как точечная масса, сосредоточенная в его центре. Аномалию над шаром $\Delta g_{ш}$ можно получить, считая, что аномалия силы тяжести над шаром и аномалия точечной массы, помещенной в его центре, совпадают:

$$\Delta g_{ш} = \Delta g_1 = G \cdot \Delta\sigma \cdot V \cdot h / r^3 = G \cdot M \cdot h / (x^2 + h^2)^{3/2}$$

График аномалии силы тяжести над шаром приведен на рис 1. Определе-

ние параметров залегания шара выполняют по характерным точкам графика. Используют точки, в которых значение аномалии максимально, а также равно половине максимального значения: Δg_{max} и $1/2\Delta g_{max}$.

Найдем координату x точки, в которой значение поля равно максимальному значению Δg_{max}.

Максимальное значение поля наблюдается над центром шара, при этом $x=0$ и $r=h$. Тогда

$$\Delta g_{\max} = GM / h^2 .$$

Найдем координату x точки, в которой значение поля равно половине максимального значения $1/2\Delta g_{max}$.

$$\frac{1}{2}\frac{GM}{h^2} = \frac{GMh}{(x^2+h^2)^{3/2}},$$

$$\frac{1}{2h^2} = \frac{h}{(x^2+h^2)^{3/2}}.$$

Разделим обе части уравнения на h:

$$\frac{1}{2h^3} = \frac{1}{(x^2+h^2)^{3/2}}.$$

Тогда

$$2h^3 = (x^2+h^2)^{3/2}.$$

Запишем $$(2^{1/3}h)^3 = ((x^2+h^2)^{1/2})^3.$$

Тогда

$$2^{1/3}h = (x^2+h^2)^{1/2}.$$

Возведем в квадрат обе части уравнения:

$$2^{2/3}h^2 = x^2+h^2.$$

Выразим x:

$$x = \sqrt{(2^{2/3}-1)h^2},$$

Откуда $x=0{,}766h$, а $h=1{,}31x$.

Таким образом, глубину залегания шара можно определить, зная координату x, в которой аномалия силы тяжести равна половине ее максимального значения.

Аномальную массу шара можно найти по формуле:

$$M=\Delta g_{max}h^2/G$$

Если известна избыточная плотность шара, то можно рассчитать его объем V и радиус R:

$$M=V\sigma=4\pi R^3\sigma/3,$$

Откуда

$$R = \sqrt[3]{\frac{3M}{4\pi\sigma}}$$

Глубина залегания верхней кромки шара будет равна $H=h-R$.

Лабораторная работа № 5

Изучение гравиметра

В практике гравиразведки широкое применение получил относительный способ измерения силы тяжести, т. е. измерения приращений в двух точках с помощью гравиметров — приборов, в которых сила тяжести сравнивается с силой деформации упругих материалов. Большинство гравиметров построено по принципу пружинных весов.

В качестве уравновешивающей силы в гравиметрах используют силу кручения горизонтальной нити, на которой укреплен рычаг - маятник с массой *m* (рис. 1).

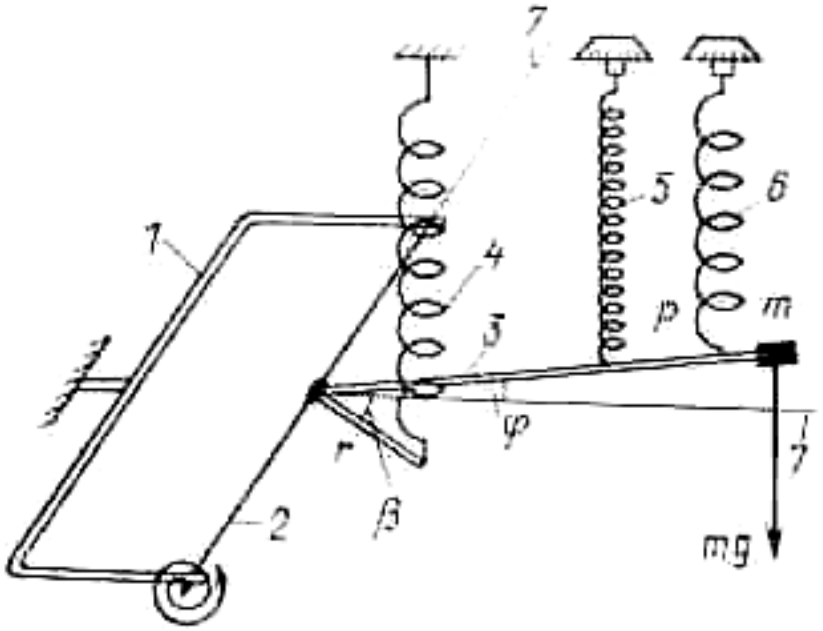


Рис. 1. Принципиальная схема чувствительной системы гравиметра: 1 — рамка; 2 — упругая нить; 3 — рычаг с грузиком; *4*—главная пружина; 5 — измерительная пружина; *6* — диапазонная пружина; 7—линия горизонта

В точке наблюдения момент силы тяжести уравновешивается моментом сил кручения, рычаг отклоняется от горизонта на угол φ и при определенных условиях основное уравнение равновесия упругой системы будет иметь вид (без учета пружин *5* и *6)*

$$m \cdot g \cdot l \cdot \cos\varphi = \tau \cdot (\alpha_0 + \varphi) - k \cdot r \cdot \cos(\beta - \varphi)$$

где l — длина рычага; τ — крутильная жесткость его нитей подвеса; α_0 — начальный угол закручивания нитей; k — коэффициент линейной жесткости главной пружины; r — длина рычага крепления главной пружины; β — угол между рычагами.

Из этого уравнения получается зависимость между изменением угла наклона рычага $\Delta\varphi$ и пропорциональных изменений отсчетов по шкале микрометрического винта гравиметра Δn и приращением Δg*:*

$$\Delta g = C' \cdot \Delta\varphi = C \cdot \Delta n$$

где C′ и C — цены деления гравиметра.

При измерении силы тяжести используют компенсационный метод отсчета, при котором микрометрическим винтом меняют натяжение измерительной пружины *5* таким образом, чтобы привести рычаг-маятник *3* в горизонтальное положение. Число оборотов микрометрического винта Δn определяют по специальной шкале с помощью оптической системы. С помощью диапазонного винта и соответствующей пружины *6* перестраивают диапазон прибора, что позволяет расширить интервал измерения в 10 раз и более.

Чувствительная система основных отечественных гравиметров выполнена из плавленого кварца, хотя некоторые, в основном зарубежные, гравиметры имеют металлическую пружину.

Материал пружин подбирают таким, чтобы колебания температуры и другие факторы мало сказывались на величине отсчета. Несмотря на специально принимаемые меры по термостатированию чувствительной системы (помещение ее в сосуд Дюара, изоляция от внешней среды и т. д.), влияние внешних факторов, как и внутренние процессы в упругих элементах системы, приводит к изменению показаний прибора во времени. Поэтому все гравиметры характеризуются дрейфом, или смещением нуль-пункта прибора. Он может достигать нескольких миллигал в сутки.

Время установки и измерения с помощью гравиметра при наземной съемке составляет 2—5 мин. Погрешность измерений Δg разными типами гравиметров составляет 0,01—0,5 мГал.

Задание:

1. Изучить устройство гравиметра и принцип взятия отсчетов.
2. Произвести замеры Δg на 1-ом и 5-ом этажах учебного здания. - Δg_{h1} и Δg_{h5}.
3. Используя выражение для поправки за высоту (поправки Фая)

$$\Delta g_h = -0{,}3086h$$

вычислить расстояние между 1-ым и 5-ым этажами здания:

$$\Delta g_{h1} = -0{,}3086h_1,$$

$$\Delta g_{h5} = -0{,}3086h_5,$$

$$\Delta h = h_5 - h_1 = (\Delta g_{h1} - \Delta g_{h5})/0{,}3086.$$

Лабораторная работа № 6

Решение прямой задачи магниторазведки для шара

Прямая задача магниторазведки состоит в вычислении магнитных аномалий по заданному распределению магнитных масс, занимающих объем некоторого тела правильной формы (шара). Предполагается, что известны вертикальная намагниченность *J,* форма, положение и размеры тела. Требуется найти значения полной напряженности магнитного поля T_a, а также вертикальную Z_a и горизонтальную H_a составляющие магнитного поля на дневной поверхности вдоль профиля *x*.

Значения Z_a *и* H_a – компонент магнитного поля от вертикально намагниченного шара вдоль профиля, проходящего над центром шара, определяются по формулам:

$$Z_{\text{а}} = M\,\frac{2h^2 - x^2}{(h^2 + x^2)^{5/2}}, \qquad (1)$$

$$H_{\text{а}} = M\,\frac{3hx}{(h^2 + x^2)^{5/2}}, \qquad (2)$$

где $M = V{\cdot}J = (4\pi R^3 J)/3$ - магнитный момент шара в А·м^2; V - объем шара в м^3; R - радиус шара в м; J - намагниченность шара в А/м; h - глубина до центра шара в м; x - расстояние от начала координат до точки наблюдения в м.

Полная напряженность магнитного поля:

$$T_{\text{а}} = \frac{M(4h^2 + x^2)^{1/2}}{(h^2 + x^2)^2}. \qquad (3)$$

Значения Z_a и H_a определяются в системе СИ в А/м и переводятся в гаммы (γ) и нТл следующим образом:

1 А/м = 10^3 СГС,
1 А/м = $4\pi 10^3\gamma$,
1Э = 79,6 А/м,
1Э = $10^5\gamma$,
1 нТл = 1γ (для воздуха).

<u>Задание</u>.

1. Вычислить значение T_a, Z_a и H_a компонент магнитного поля для вертикально намагниченного шара, используя выражения (1), (2) и (3). Параметры шара, то есть значения *R, h, J,* выбираются из таблицы 1, согласно заданному варианту.

Значения T_a, Z_a и H_a необходимо рассчитать в следующих точках профиля *x*: 0 м, ±5 м, ±10 м, ±20 м, ±40 м, ±60 м, ±80 м, ±100 м, ±200 м, ±400 м, ±800 м.

Рассчитанные поля T_a, Z_a и H_a необходимо перевести в нТл. Вычисления произвести с точностью до целых единиц нТл и представить в виде таблицы.

2. Результаты расчетов изобразить в виде графиков вдоль профиля с соблюдением всех правил построения графиков. Под графиками привести геологический разрез в масштабе. Образец оформления результатов приведен на рис. 1.

Таблица 1

Исходные данные

Вариант	*h*, м	*R*, м	*J*, А/м	Вариант	*h*, м	*R*, м	*J*, А/м
1	40	30	0,2	16	50	30	0,22
2	40	50	0,2	17	50	35	0,22
3	50	40	0,2	18	60	40	0,22
4	100	40	0,2	19	55	40	0,22
5	40	30	0,25	20	55	40	0,20
6	70	30	0,2	21	65	45	0,22
7	50	45	0,22	22	60	45	0,24
8	55	45	0,18	23	65	45	0,20
9	50	45	0,19	24	60	45	0,21
10	40	35	0,19	25	50	35	0,21
11	35	30	0,18	26	45	30	0,21
12	45	35	0,18	27	55	35	0,20
13	55	40	0,2	28	55	40	0,20
14	50	40	0,21	29	60	40	0,20
15	50	40	0,21	30	60	40	0,23

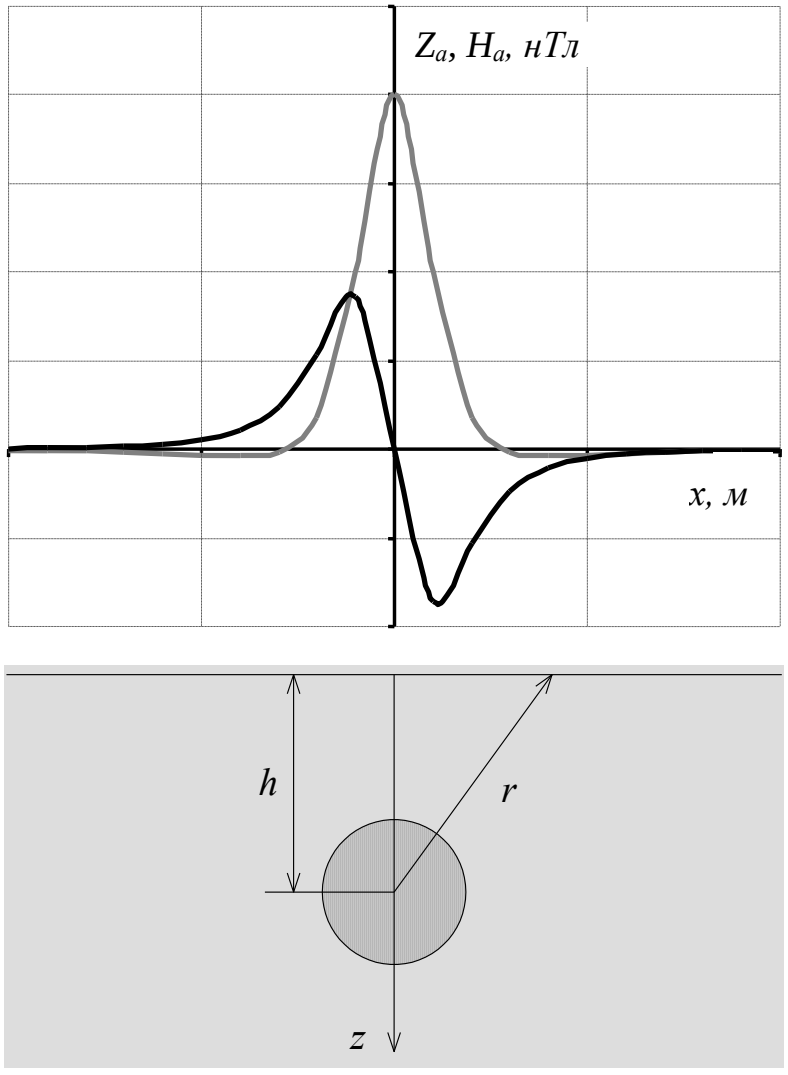


Рис. 1. Магнитное поле над шарообразным телом

Лабораторная работа № 7

Решение прямой задачи магниторазведки для тонкого вертикального стержня

Под "тонким" стержнем понимается геологическое тело, имеющее малый диаметр *d* по сравнению с глубиной залегания *h* верхнего конца стержня. Соотношение *d*/*h* должно быть не больше 0,1-0,2 или глубина залегания должна быть в 10-20 раз больше диаметра тела. Длина тела бесконечно большая, так что нижний конец располагается на большой глубине и его влиянием на магнитную аномалию пренебрегают.

К аномалиям над бескончным вертикальным стержнем в природных условиях относятся аномалии над кимберлитовыми трубками небольших размеров, над апофизами основной магмы, над мелкими отдельными геологическими образованиями вертикального падения с малой площадью поперечного сечения.

При однородной и вертикальной намагниченности магнитные массы будут располагаться на концах стержня. Модуль полного вектора *T* от такого источника по закону Кулона будет:

$$T = \frac{m}{r^2} = \frac{m}{h^2 + x^2} \qquad (1)$$

где *h* – глубина залегания верхнего конца стержня; *x* – расстояние от проекции конца стержня на дневную поверхность до точки наблюдения.

Уравнения для вертикальной соствляющей *Z*а и горизонтальной составляющей *H*а аномального магнитного поля по профилю, проходящему через центр стержня, будут иметь вид:

$$Z_{\text{а}} = \frac{m}{r^2}\sin\theta = \frac{mh}{(h^2 + x^2)^{3/2}}\ , \qquad (2)$$

$$H_{\text{а}} = \frac{m}{r^2}\cos\theta = \frac{-mx}{(h^2 + x^2)^{3/2}}\ , \qquad (3)$$

где θ - угол, отсчитываемый от положительного направления оси *x* по часовой стрелке до радиуса-вектора *r*; *m* – магнитная масса, сосредоточенная на верхнем конце стержня.

Значения Z_a и H_a определяются в системе СИ в А/м и переводятся в гаммы (γ) и нТл следующим образом:

$$1\ \text{А/м} = 10^3\ \text{СГС},$$
$$1\ \text{А/м} = 4\pi 10^3\gamma,$$
$$1\text{Э} = 79{,}6\ \text{А/м},$$
$$1\text{Э} = 10^5\gamma.$$
$$1\ \text{нТл (для воздуха)} = 1\gamma.$$

Кривая *Z*а (рис. 1) положительная, имеет максимум при *x*=0 (θ=90°). Магнитное поле над стержнем для вертикальной составляющей *Z*а в силу осевой симметрии будет иметь в плане изометричную форму - в виде концентрических окружностей. Горизонтальная составляющая *H*а слева от стержня положи-

тельная, т.е. по направлению совпадает с осью о*X*; справа от стержня - отрицательная. Над стержнем при *x*=0 *H*а=0 и меняет знак.

Задание:

1. Вычислить значения T_a, Z_a и H_a - компонент магнитного поля для тонкого вертикального стержня, который намагничен вертикально. Исходные данные приведены в таблице 1. Расчет выполнить для *x* = 0 м, ±5 м, ±10 м, ±20 м, ±40 м, ±60 м, ±80 м, ±100 м, ±200 м, ±400 м, ±600, ±800 м.

Таблица 1

Вариант	*h, м*	*m*, А·м	*Вариант*	*h, м*	*m*, А·м
1	40	10	8	110	80
2	50	20	9	120	90
3	60	30	10	130	100
4	70	40	11	140	110
5	80	50	12	150	120
6	90	60	13	160	130
7	100	70	14	170	140

2. Результаты расчетов представить в виде графиков по профилю, проходящему над стержнем. Под графиками привести геологический разрез в масштабе. Образец оформления результатов приведен на рис 1.

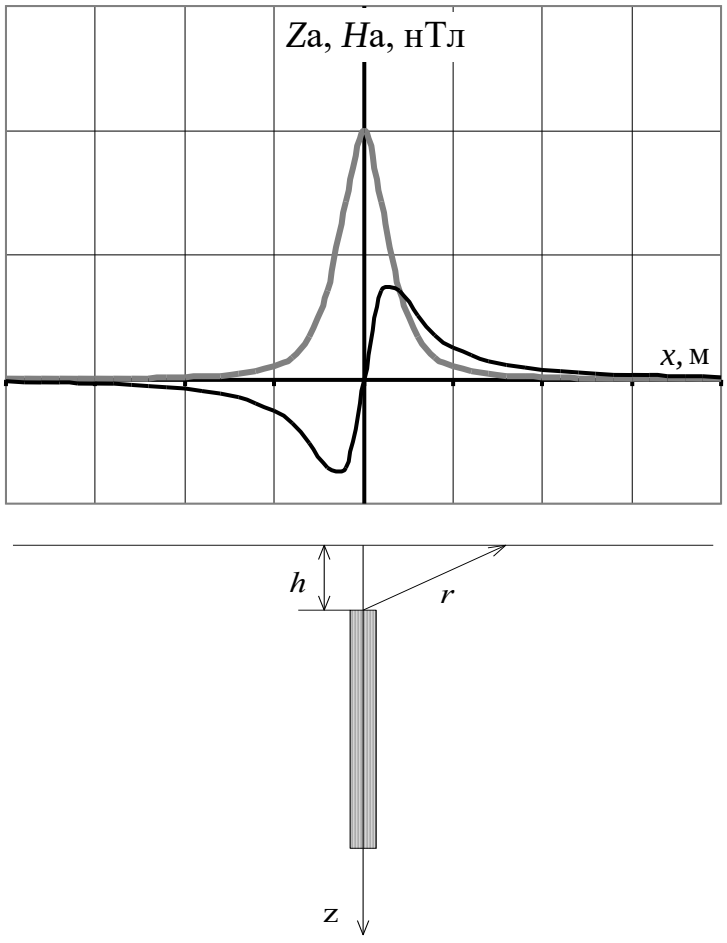


Рис.1. Магнитное поле над вертикальным стержнем

Лабораторная работа № 8

Количественная интерпретация данных магниторазведки

При магниторазведочных работах выполняют измерения вертикальной (Z) и горизонтальной (H) составляющих магнитного поля. Результаты представляют в виде план-графиков и карт.

Изучаемые объекты могут проявляться как положительными, так и отрицательными аномалиями, поскольку их намагничение является двухполярным. Оказывают влияние также направление вектора намагничивающего поля Земли и наличие остаточной намагниченности пород.

Интерпретация материалов магниторазведки может быть количественной и качественной.

Качественная интерпретация позволяет получать информацию о местоположении пород с различными магнитными свойствами, форме аномалиеобразующих объектов, примерном положении их относительно профилей измерений.

Количественная интерпретация дает возможность определить размеры и глубину залегания геологического объекта. Для этого разработаны аналитические, графические и палеточные способы.

В аналитических способах по графикам определяют абсциссы характерных точек: X_{max}, X_{min}, $X_{1/2}$, $X_{1/4}$, X_0, где аномалии равны, соответственно, максимальному и минимальному значениям, половине максимума, одной четверти максимума или нулю (рис. 1).

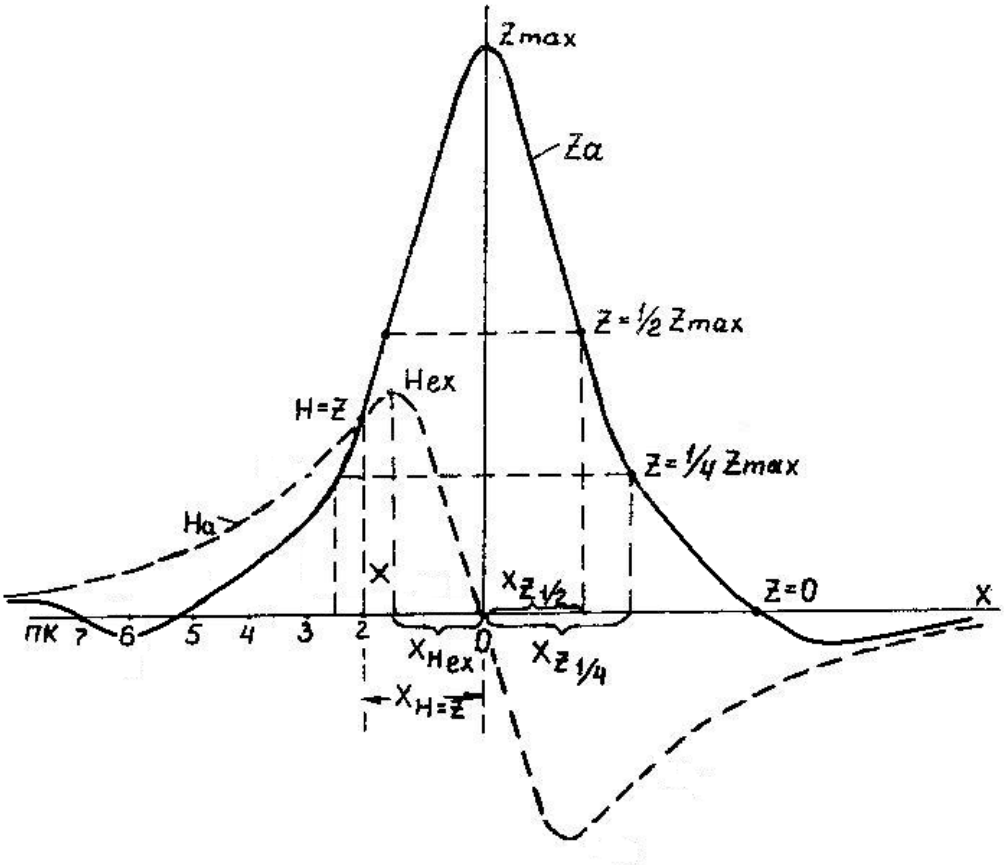


Рис. 1. Интерпретация кривых Z_a и H_a способом характерных точек

Значения абсцисс характерных точек подставляют в формулы, полученные при решении прямых задач. Вычисляют глубину залегания верхней кромки *h*, для объектов "бесконечно" глубоко уходящих вниз, или глубину залегания центра масс *H* для тел ограниченного распространения по глубине. Средняя относительная погрешность определения глубины составляет 20-30%. Ниже показано применение метода характерных точек для интерпретации магнитных аномалий над объектами простой геометрической формы.

Вертикальный пласт ограниченного распространения на глубину.

По характерным точкам графиков Z_a и H_a можно рассчитать следующие элементы: глубину залегания центра пласта $h_ц$, вертикальный размер сечения пласта $2l$, глубину залегания верхней $h_ц - l$ и нижней $h_ц + l$ кромок пласта.

1. Для определения $h_ц$ по графику Z_a определяют абсциссы точек $x_0(Z_a = 0)$ и $x_{0,5}(Z_a = 0{,}5 \cdot Z_{a\max})$. Тогда

$$h_ц = \sqrt{\frac{x_0^4 - x_{0,5}^4}{4x_{0,5}^2}} .$$

2. Если на кривой Z_a точка, где $Z_a = Z_{a\min}$ с абсциссой $x_{\min}$ выражена достаточно четко, то

$$h_ц = \frac{x_{\min}^2 - x_0^2}{2x_0}.$$

3. Величину l вычисляют по абсциссе точки $x_{Z=H}$, в которой $Z_a = H_a$, т.е.

$$l = \sqrt{h_ц^2 - 2h_ц \cdot x_{Z=H} - x_{Z=H}^2} .$$

Горизонтальный круговой цилиндр.

Определение глубины залегания центра поперечного сечения цилиндра $h_ц$ выполняют по характерным точкам на кривых H_a и Z_a:

1) по абсциссе точки, в которой $Z_a = 0$, $h_ц = x_{Z=0}$

2) по абсциссе точки $x_ц = H$, в которой $Z_a = H_a$, $h_ц = \frac{x_{Z=H}}{0{,}7}$

3) по абсциссе точки x_{Hex}, в которой $H_a = H_{aex}$, $h_ц = \frac{x_{Hex}}{0{,}58}$

4) по абсциссе точки $x_{z\min}$, в которой $Z_a = Z_{a\min}$, $h_ц = \frac{x_{z\min}}{1{,}73}$

5) по абсциссе x_i i-х точек графиков Z_a и H_a,

$$h_ц = x_i((\frac{Z_a}{H_a})_i + \sqrt{(\frac{Z_a}{H_a})_i^2 + 1}).$$

В графических способах наиболее широкое применение находит метод касательных, который заключается в проведении на аномалиях графиков Z_a касательных, параллельных оси X в точках максимума и минимума, а также в точках перегиба (точках максимальных градиентов) (рис. 2).

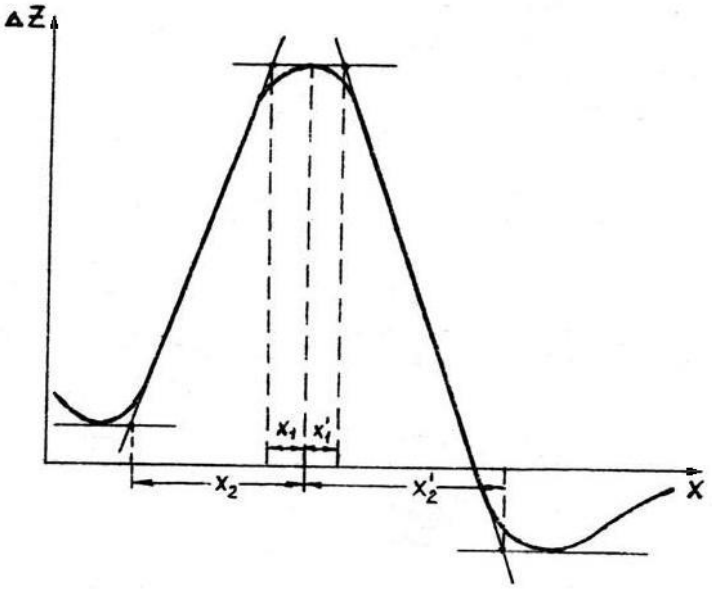


Рис. 2. Интерпретация кривой Z_a способом касательных

Для точек пересечения всех касательных определяют их абсциссы X_1, X_2, X_1', X_2'. Приближенную глубину залегания верхней кромки пласта, создавшего аномалию, рассчитывают по формулам:

$$h = \frac{x_2 - x_1}{2} \text{ и } h' = \frac{x_2' - x_1'}{2}.$$

Среднее из полученных значений h и h′ является оценочной глубиной залегания верхней кромки пласта. При этом, глубина залегания h, вычисленная методом касательных, может отличаться от истинной в зависимости от формы и размеров исследуемых объектов. Поэтому в расчетные формулы вводятся поправочные коэффициенты, которые получены для разных соотношений размеров и глубин залегания тех или иных объектов. Значения этих коэффициентов применительно к примерам задания приведены для каждого варианта в расшифровке выполнения задания.

Задание:

Вариант 1. Способом характерных точек и касательных определить элементы залегания вертикального пласта "бесконечного" простирания и ограниченного распространения на глубину:

а) По данным табл. 1 на миллиметровке построить графики H_a и Z_a в масштабах: вертикальный I см - 0,025 Гс, горизонтальный I см - 20 м.

б) Вычислить элементы залегания вертикального пласта способами для вертикального пласта ограниченного распространения на глубину.

в) При вычислении глубины залегания пласта по способу касательных ввести повышающий поправочный коэффициент 0,7.

Вариант 2. Способом характерных точек и касательных определить элементы залегания горизонтально залегающего цилиндра "бесконечного" простирания:

а) По данным табл.2 на миллиметровке построить графики H_a и Z_a. Расстояние X (в метрах) наносят на ось абсцисс от нулевой точки (которая принимается за начало координат) влево и вправо через 10 м в масштабе I см - 20 м. Значения H_a и Z_a откладывают по оси ординат в масштабе I см - 0,1 Гс.

б) Вычислить глубину залегания центра поперечного сечения цилиндра $h_ц$ способами, описанными для горизонтального кругового цилиндра.

в) При вычислении глубины $h_ц$ по способу касательных ввести повышающий поправочный коэффициент 0,52.

Таблица 1

X,м	Z_a, Гс	H_a, Гс
0	0,280	0
±10	0,254	∓0,068
±20	0,212	∓0,120
±30	0,170	∓0,152
±40	0,119	∓0,162
±50	0,080	∓0,160
±60	0,044	∓0,150
±70	0,026	∓0,139
±80	0,008	∓0,125
±90	-0,005	∓0,112
±100	-0,012	∓0,098
±110	-0,017	∓0,086
±120	-0,022	∓0,070
±130	-0,025	∓0,067
±140	-0,026	∓0,060
±150	-0,025	∓0,054
±160	-0,022	∓0,047
±170	-0,019	∓0,042
±180	-0,014	∓0,037

Таблица 2

X, м	Z_a, Гс	H_a, Гс
0	1,20	0
±10	1,16	∓0,33
±20	1,08	∓0,59
±30	0,96	∓0,74
±40	0,72	∓0,78
±50	0,46	∓0,75
±60	0,20	∓0,69
±70	0	∓0,62
±80	-0,18	∓0,52
±90	-0,20	∓0,44
±100	-0,18	∓0,37
±110	-0,14	∓0,28
±120	-0,10	∓0,24
±130	-0,09	∓0,22
±140	-0,08	∓0,20
±150	-0,07	∓0,16
±160	-0,06	∓0,12
±170	-0,05	∓0,10
±180	-0,04	∓0,09

Лабораторная работа № 9

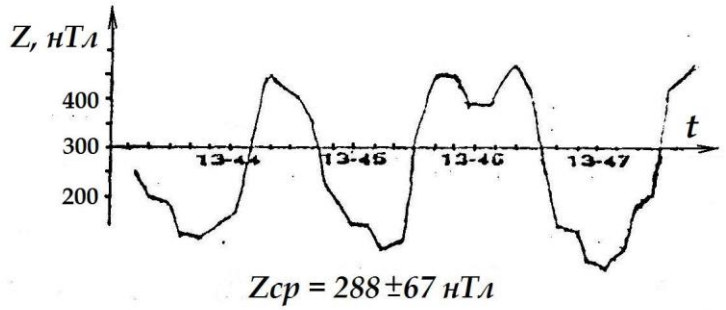
Измерение вариаций геомагнитного поля

Содержание работы : С помощью оптико-механического магнитометра М-27 провести измерение вариаций вертикальной составляющей (z-составляющей) МПЗ в течение 5 минут с интервалом времени 5-10 секунд и результаты измерений записать в журнал.

Обработка результатов измерений.

1. Значения отсчетов по шкале магнитометра умножить на цену деления (10 нТл/дел).

2. Построить вариограмму(рис.1).



Zср = 288 ±67 нТл

Рис. 1. Вариограмма значений вертикальной составляющей МПЗ (время местное)

$$Z_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{N} Z_i}{N} \qquad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (Z_i - Z_{\text{ср}})^2}{N-1}}$$

3. Рассчитать среднее значение напряженности магнитного поля за время наблюдения и среднее квадратичное отклонение.

4. Оценить интенсивность вариаций в баллах (см. табл.1), осреднив максимальные значения отклонения Δz в течение минуты от общего среднего.

Таблица 1

Шкала балльности вариаций МПЗ

Амплитуда изменения МПЗ, нТл	0 -5.5	11	22	44	77	132	220	363	550	>550
Баллы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Оценка	Норма			Возмущение			Буря			

Журнал измерений Z

t	n	Z	$Z-Z_{ср}$	$(Z-Z_{ср})^2$

Лабораторная работа № 10

Изучение детекторов гамма-излучения

Любой радиометрический прибор имеет в качестве основной части детектор (счетчик), подающий в усилительно-измерительную схему сигналы о поступлении ионизирующих частиц или гамма-квантов.

Существуют различные способы детектирования (регистрации) радиоактивных излучений. Все они основаны на эффектах, прямо или косвенно связанных с ионизацией или возбуждением атомов, возникающих при взаимодействии излучений с веществом. Наиболее широкое распространение получили детекторы, в которых энергия излучения тем или иным способом преобразуется в электрическую.

В настоящее время применение нашли три типа детекторов:

1) ***ионизационные детекторы и газоразрядные счетчики;***

Принцип их работы основан на ионизирующем действии излучения на газы.

Ионизационная камера (рис. 1) представляет собой воздушный конденсатор, состоящий из двух металлических пластин, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, к которым приложена разность потенциалов. В сеть включен гальванометр. В отсутствии радиации тока в цепи не будет, поскольку воздух является изолятором. Радиоактивные частицы, попав внутрь конденсатора, ионизируют воздух, превращая его в проводник электричества. Сила тока измеряется гальванометром. По силе тока определяется интенсивность излучения.

Счетчик Гейгера-Мюллера представляет собой герметичный баллон (трубку), заполненный газовой смесью из аргона и спирта с добавкой галоидов (рис.2). По оси трубки натянута нить, служащая в качестве анода. Катодом является внутреннее металлическое покрытие баллона. На электроды подается высокое напряжение постоянного тока (400÷1000 В). При попадании внутрь баллона бета-частиц или электронов, выбитых из стенок счетчика гамма-лучами, происходит ионизация газа. В результате между электродами возникает лавина ионов и происходит кратковременный электрический разряд. В цепи счетчика регистрируется импульс напряжения. Чувствительность счетчиков зависит в первую очередь от материала катода, из которого гамма-лучи выбивают электроны

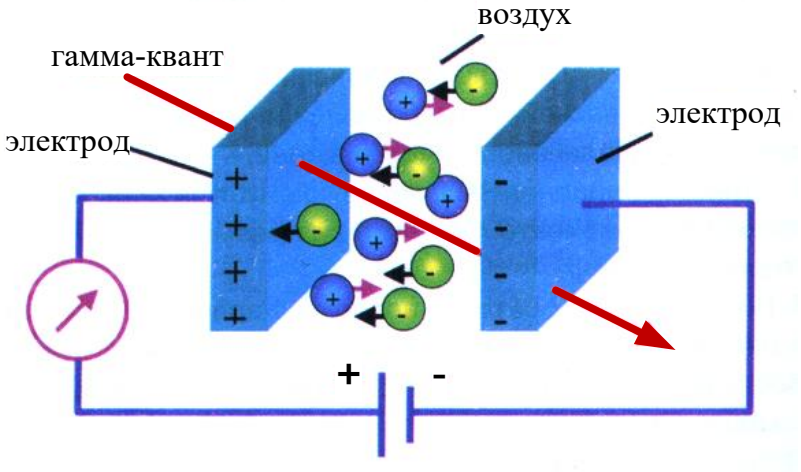


Рис. 1. Устройство ионизационной камеры

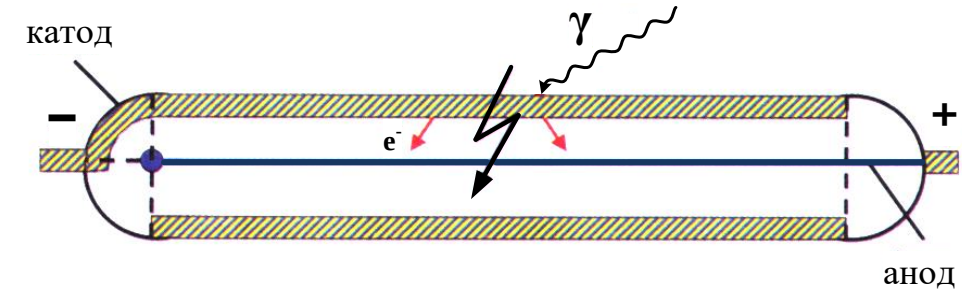


Рис. 2. Устройство газоразрядного счетчика

2) ***полупроводниковые детекторы***;

Они сходны с ионизационным детекторами, но роль ионизационной камеры в этом случае выполняют твердые полупроводники.

Полупроводники - это кристаллические вещества, электропроводность которых при обычной температуре имеет промежуточное значение между электропроводностью металлов (10^{6}-10^{4} Ом$^{-1}$см$^{-1}$) и диэлектриков (10^{-10}-10^{-12} Ом$^{-1}$см$^{-1}$). Под действием радиоактивных частиц в полупроводниковых детекторах происходит переход электронов из валентной зоны в зону проводимости (рис. 3). В результате образуются свободные носители зарядов: электроны (*n*-проводимость) и дырки (*p*-проводимость). Под действием внешнего электрического поля, приложенного к полупроводнику, электроны и дырки притягиваются к соответствующим электродам, обусловливая накопление заряда. Последний дает импульс напряжения, который подается в усилительно-измерительную схему прибора.

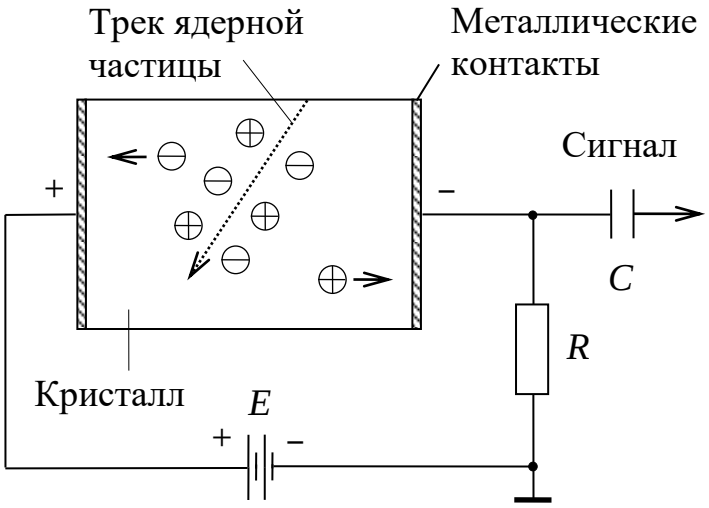


Рис. 3. Принцип работы полупроводникового детектора

В качестве полупроводника в радиометрических приборах чаще всего применяют монокристаллы германия. С его помощью регистрируют высокоэнергетические гамма- и бета-лучи. Для регистрации альфа-частиц, низкоэнергетических гамма-квантов и рентгеновских лучей используют кремниевые детекторы (монокристаллы кремния).

В противоположность металлам, у которых электропроводность умень-

шается с ростом температуры, у полупроводников с увеличением этого параметра электропроводность резко возрастает. Поэтому многие из полупроводниковых материалов требуют сильного охлаждения при работе, что усложняет устройство приборов, их эксплуатацию и удорожает их стоимость. Исследователи находятся в постоянном поиске новых полупроводников, которые могут работать при обычных температурах. К таким материалам относятся теллурид кадмия, арсенид галлия и йодид ртути, которые уже используются в самых современных радиометрах и спектрометрах. Поскольку плотность полупроводниковых материалов намного выше плотности газов, то энергия поглощаемых частиц в них используется полнее, чем в ионизационных камерах. Поэтому полупроводниковые детекторы обладают очень высокой разрешающей способностью.

3) ***сцинтилляционные детекторы;***

Сущность работы сцинтилляционного счетчика заключается в регистрации вспышек *люминесценции,* возникающих в некоторых кристаллах, органических жидкостях или пластмассах при попадании в них заряженных частиц или гамма-квантов.

Вспышки в кристалле фиксируются *фотокатодом*, и в цепи возникает импульс электрического тока (рис.4).

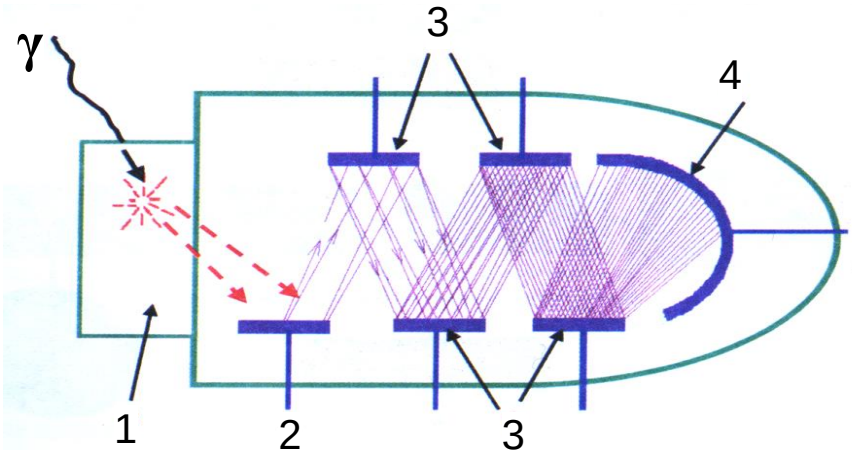


Рис. 4. Сцинтилляционный детектор: 1 - сцинтиллятор, 2 - фокусирующий электрод, 3 - система динодов, 4 - анод ФЭУ

Однако сами по себе вспышки могут быть очень слабыми. Для их фиксации применяются *фотоэлектронные умножители* (ФЭУ). Они представляют собой вакуумные электронные приборы с системой умножения электронов, выбитых световой вспышкой с поверхности фотокатода (рис.4). Умножительная система состоит из нескольких последовательно расположенных *динодов* (эмиттеров), покрытых специальным слоем. Электроны, бомбардирующие диноды, выбивают из них вторичные электроны, количество которых минимум в 2 раза превышает число первичных электронов. Таким образом, каждый последующий динод увеличивает количество электронов. С последнего динода в усилительно-измерительную схему прибора поступает лавина электронов. Благодаря ФЭУ сцинтилляционные счетчики обладают гораздо большей чувствительностью по сравнению с газонаполненными счетчиками.

Лабораторная работа № 11

Расчет интенсивности гамма-излучения над радиоактивным пластом, выходящим на дневную поверхность

Допустим, что вертикальный активный пласт мощности ΔH выходит на дневную поверхность. Найдем распределение γ-поля по профилю x на высоте h от границы раздела земля-воздух.

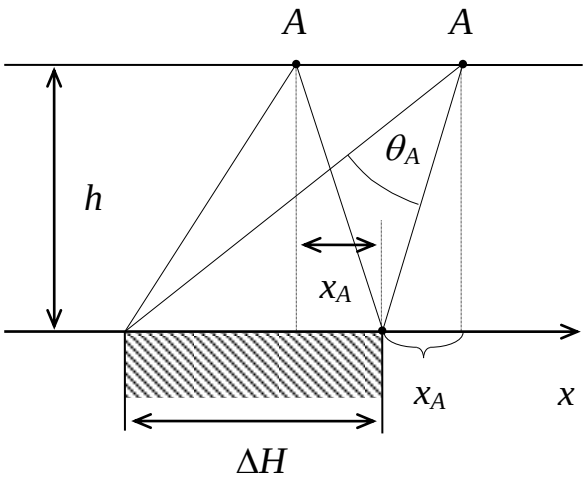


Рис. 1.

Начало координат поместим на границу раздела пласт–вмещающая неактивная среда. При рассмотрении этой задачи ограничимся расчетом γ-поля в произвольной точке A профиля x (рис.1). Если высота h такая, что можно пренебречь ослаблением γ-лучей в воздухе, то формула расчета поля через телесный угол будет выглядеть следующим образом:

$$I_A = K\sigma_0\omega_A \qquad (1)$$

где ω_A − телесный угол, под которым видна излучающая поверхность однородно-активного пласта из точки наблюдения A, K – пересчетный коэффициент радиометра в ((мкР/ч)·см^2)/г, σ_o – эквивалентная поверхностная плотность источников гамма-излучения в гU/см^2.

Эквивалентная поверхностная плотность источников гамма-излучения σ_o зависит от содержания радиоактивного элемента Q и массового коэффициента поглощения гамма-излучения $\bar{\mu}$:

$$\sigma_o = \frac{Q \cdot 10^{-2}}{\bar{\mu}}. \qquad (2)$$

Для уран-радиевого ряда $\bar{\mu}$=0,032 см^2/г.

Если простирание пласта бесконечно, а съемочный профиль проложен вкрест простирания, то можно показать, что телесный угол ω_A будет равен двум плоским углам θ_A (рис. 1), т.е.

$$I_A = 2K\sigma_0\theta_A, \qquad (3)$$

Поскольку

$$\theta_A = \operatorname{arctg}\frac{x_A + \Delta H}{h} - \operatorname{arctg}\frac{x_A}{h},$$

то

$$I_A = 2K\sigma_0\left(\operatorname{arctg}\frac{x_A + \Delta H}{h} - \operatorname{arctg}\frac{x_A}{h}\right). \qquad (4)$$

Таким образом, расчет γ-поля по съемочному профилю в данном случае сводится к расчету плоских углов θ_i, которые легко находятся в любой точке с заданными параметрами ΔH, h и x_i.

Задание.

1. Используя выражение (4), рассчитать интенсивность гамма-излучения над радиоактивным пластом, выходящим на дневную поверхность.
2. Координату x менять от 0 до 100 м с шагом $\Delta x = 5$ м. Начало координат поместить на правую границу пласта.
3. Пересчетный коэффициент радиометра K принять равным 2860 ((мкР/ч)·см^2)/г.
4. Высоту точки измерения h и содержание урана Q_U взять согласно заданному варианту (табл. 1).

Таблица 1

вариант / данные	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Q_U, %	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007
h, *м*	0,5	1	1,5	2	2,5	3	0,5
ΔH, *м*	40	40	40	50	50	50	60

продолжение табл. 1

вариант / данные	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
Q_U, %	0,008	0,009	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
h, *м*	1	1,5	2	2,5	3	1	2
ΔH, *м*	60	60	50	50	50	40	40

4. Результаты расчета привести в виде графика, под которым поместить разрез в соответствующем масштабе (рис. 2).

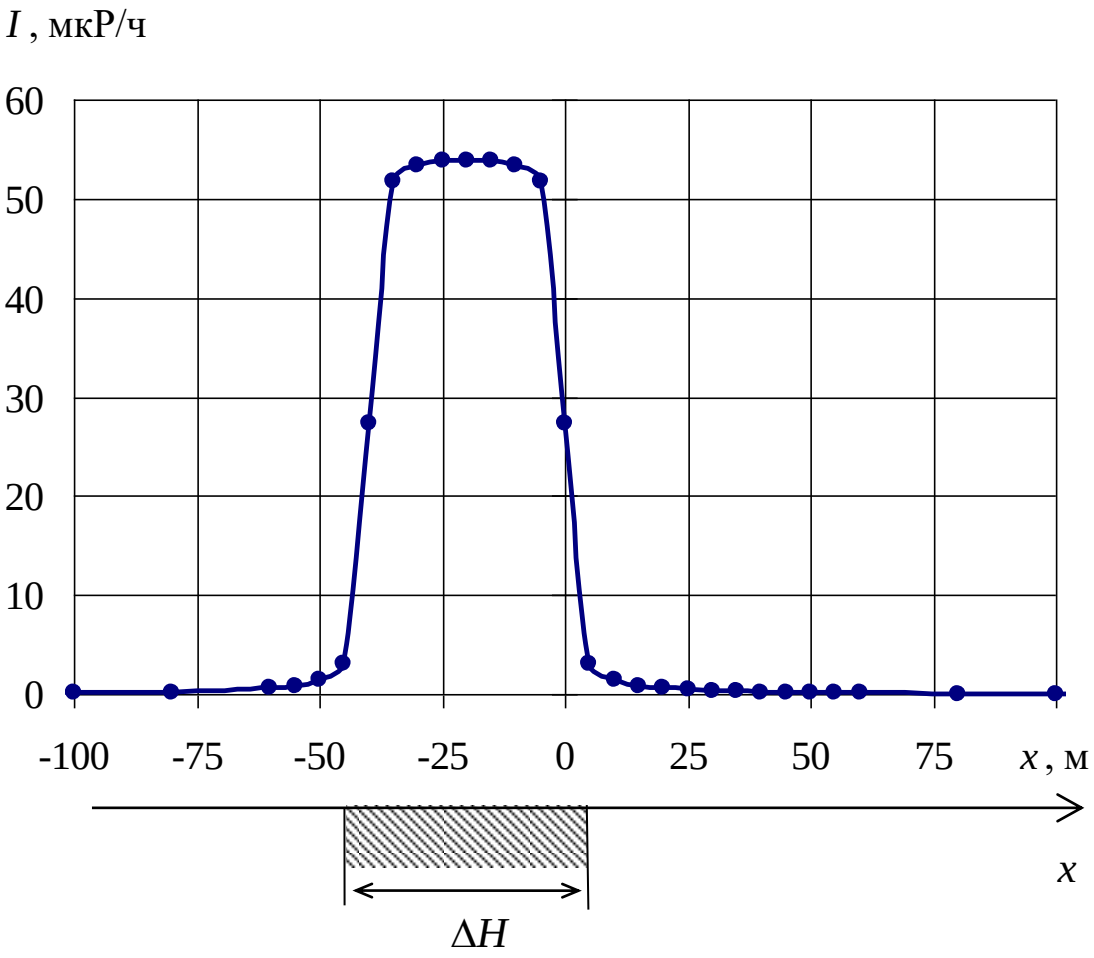


Рис. 2. Интенсивность гамма-излучения над радиоактивным пластом, выходящим на дневную поверхность

Лабораторная работа № 12

Изучение характера инерционных искажений при аэро-гамма-съемке

Радиометры для регистрации гамма-поля обладают инерционностью, т.е. запаздыванием показаний прибора во времени. Инерционность обусловлена наличием в усилительно-регистрирующей схеме интегрирующего контура – *RC*-цепочки. При неподвижном радиометре, например при пешеходной гамма-съемке , это обстоятельство не влияет на показание прибора. Однако при съемке в движении (авто-, аэро-гамма-съемка) записанная кривая интенсивности искажается – она смещается в сторону движения радиометра, а максимум уменьшается по амплитуде. Поэтому записанная кривая не соответствует фактической интенсивности. При авто-гамма-съемке искажениями обычно пренебрегают из-за невысокой скорости премещения радиометра, зато при аэро-гамма-съемке искажения необходимо учитывать.

Для выяснения характера инерционных искажений необходимо перестроить теоретически рассчитанную кривую в кривую, которую записал бы аэро-гамма-радиометр при съемке.

Расчет теоретической кривой интенсивности точечного источника для высоты *h* производится по формуле

$$I_i^{\text{теор}} = I_o \frac{e^{-\mu_в \sqrt{h^2 + x_i^2}}}{h^2 + x_i^2}, \qquad (1)$$

где I_o – интенсивность гамма-поля на поверхности земли, $\mu_в$ – коэффициент ослабления гамма-излучения в воздухе, x_i – координата *i*–ой точки по профилю.

Записанная интенсивность гамма-излучения в *i*-ой точке профиля:

$$I_i^{\text{зап}} = (1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}) \cdot I_i^{\text{теор}} + e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} \cdot I_{i-1}^{\text{зап}}, \qquad (2)$$

где $I_i^{\text{теор}}$ – теоретическая интенсивность гамма-излучения в *i*-ой точке профиля; $I_{i-1}^{\text{зап}}$ – записанная интенсивность гамма-излучения в предыдущей точке, т.е. в точке с номером *i*-1; τ – постоянная времени радиометра, определяемая произведением *R* на *C*; Δt – интервал времени между соседними отсчетами интенсивности гамма-излучения.

Интервал времени Δt между соседними отсчетами интенсивности гамма-излучения можно найти, зная расстояние Δx меду соседними отсчетами в м и скорость движения самолета *v* в м/с:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{v}. \qquad (3)$$

Задание

1) Рассчитать по формуле (1) и построить с шагом Δx=50 м теоретическую кривую интенсивности гамма-поля точечного источника, находящегося на дневной поверхности. Расчет кривой провести для точек с координатами *x*, из-

меняющимися от -300 до 300 м.

2) По формуле (2) перестроить полученную кривую в записанную, приняв τ=2 с, *v*=180 км/ч, Δ*x*=50 м. При вычислении первого значения $I_i^{\text{зап}}$ $I_{i-1}^{\text{зап}}$ принять равной нулю.

3) Результаты вычисления $I_i^{\text{теор}}$ и $I_i^{\text{зап}}$ привести на графике (рис 1, 2).

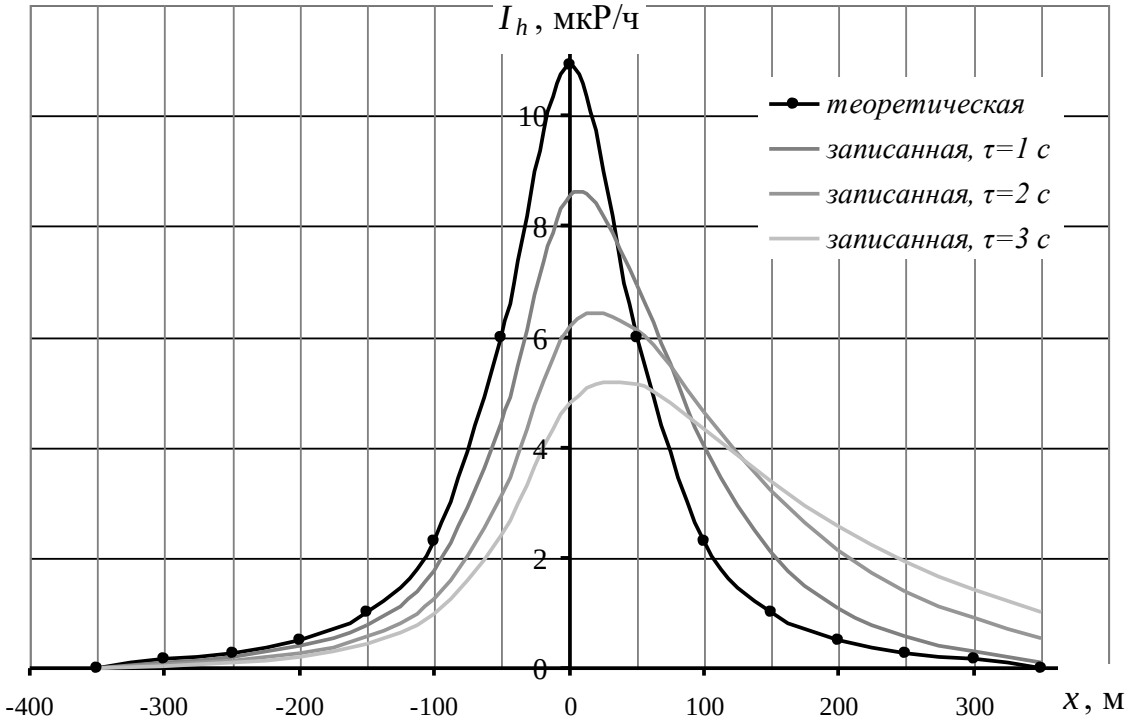


Рис. 1. Теоретическая кривая интенсивности гамма-поля точечного источника, находящегося на дневной поверхности, и записанная при аэро-гамма-съемке со скоростью самолета 180 км/ч

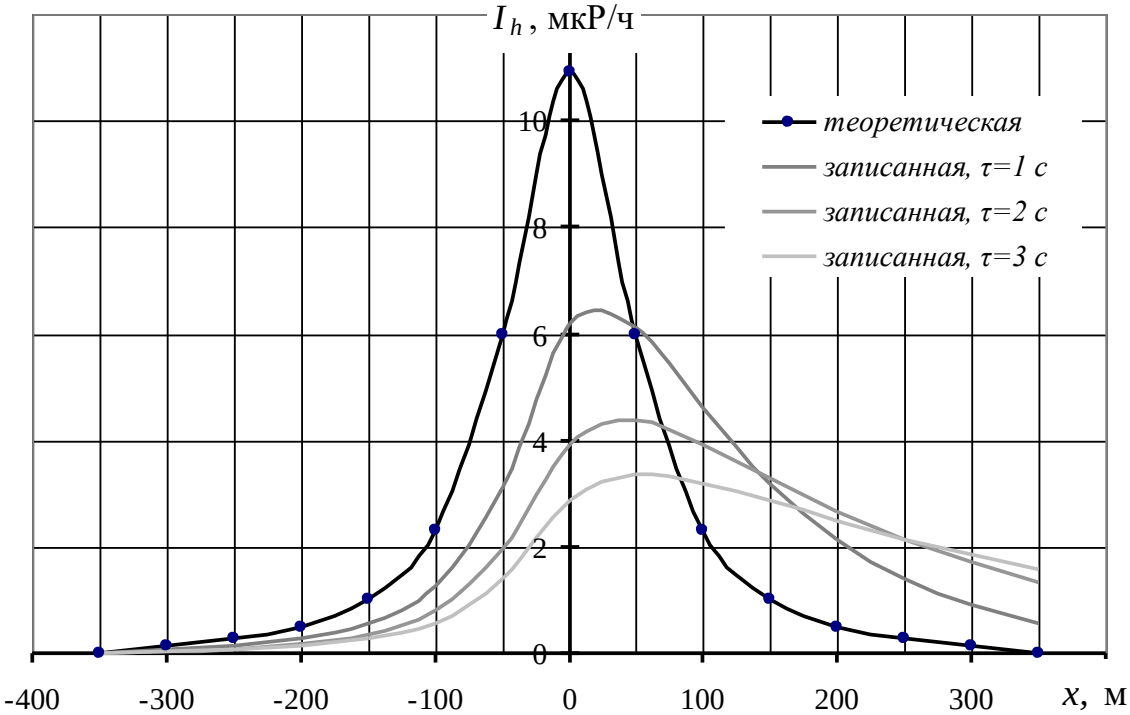


Рис. 2. Теоретическая кривая интенсивности гамма-поля точечного источника, находящегося на дневной поверхности, и записанная при аэро-гамма-съемке со скоростью самолета 360 км/ч

4) Определить коэффициент инерционных искажений Q радиометра по формуле

$$Q = \frac{I_{\max}^{\text{ист}}}{I_{\max}^{\text{зап}}} \ . \qquad (4)$$

таблица 1

Условия расчета:

вариант / параметр	*Вариант 1*	*Вариант 2*	*Вариант 3*	*Вариант 4*	*Вариант 5*	*Вариант 6*	*Вариант 7*	*Вариант 8*	*Вариант 9*	*Вариант 10*
I_o, мкР/ч	$6 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$
$\mu_в$, м$^{-1}$	$4 \cdot 10^{-3}$									
h, м	70	60	50	40	30	70	60	50	40	30

Лабораторная работа № 13

Обработка результатов аэро-гамма-съемки

Вследствие инерционности радиометрической аппаратуры кривые изменения интенсивности гамма-излучения, регистрируемые при движении самолета, искажаются. Форма аномалии сглаживается и растягивается в направлении движения, максимальные амплитуды уменьшаются. Особенно велико влияние инерционности для измерений гамма-поля на маломощных активных участках.

При обработке результатов аэро-гамма-съемки необходимо вводить поправки за инерционные искажения, то есть восстанавливать действительный вид кривой.

Действительные значения интенсивности гамма-излучения можно вычислить по записанным данным в движении следующим образом:

$$I_i^{\text{действ}} = \frac{I_i^{\text{зап}} - e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} \cdot I_{i-1}^{\text{зап}}}{1\text{-}e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}} \qquad (1)$$

где $I_i^{\text{зап}}$ – записанная интенсивность гамма-излучения в i-ой точке профиля; $I_{i-1}^{\text{зап}}$ – записанная интенсивность гамма-излучения в предыдущей точке, т.е. в точке с номером i-1; τ – постоянная времени радиометра, определяемая произведением R на C; Δt – интервал времени между соседними отсчетами интенсивности гамма-излучения.

Интервал времени Δt между соседними отсчетами интенсивности гамма-излучения можно найти, зная расстояние Δx меду соседними отсчетами в м и скорость движения самолета v в м/с:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{v} \ . \qquad (2)$$

Задание

В таблице 1 приведены результаты измерения интенсивности гамма-излучения над вертикальным радиоактивным пластом, выходящим на дневную поверхность, записанные при аэро-гамма-съемке. При этом скорость движения самолета v соответствовала 180 км/час, расстояние между соседними отсчетами Δx соответствовало 50 м, постоянная времени прибора τ соответствовала 2 с.

1) По заданному варианту зарегистрированной при аэро-гамма-съемке кривой (таблица 1) восстановить действительные значения интенсивности гамма-излучения над пластом, используя формулу (1).

2) Построить графики $I_i^{\text{зап}}$ и $I_i^{\text{действ}}$, как показано на рис 1.

таблица 1

№ варианта	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*
x, м	$I^{зап}$, мкР/ч													
0	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1
50	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1
100	3	4	3	3	3	3	3	2	2	3	3	2	2	2
150	3	5	4	4	4	4	3	3	3	4	4	2	2	2
200	4	5	5	4	4	5	4	3	3	4	5	3	3	3
250	4	6	5	5	5	5	4	4	3	5	5	3	3	3
300	4	6	6	5	5	5	5	5	4	5	5	3	3	3
350	4	7	7	5	5	6	6	7	5	6	6	3	3	4
400	4	7	7	5	6	7	8	11	7	6	8	3	4	5
450	5	8	9	6	6	7	9	20	12	6	9	3	4	6
500	5	8	10	7	6	8	13	122	62	7	14	3	4	7
550	5	9	13	17	7	10	21	279	141	8	64	4	5	9
600	5	11	22	33	8	13	122	380	192	10	143	4	6	15
650	6	13	123	43	9	21	279	444	224	15	193	4	7	85
700	7	21	279	49	12	122	380	483	243	75	225	5	12	195
750	9	121	380	53	19	278	443	507	255	169	245	6	72	265
800	16	277	442	55	119	378	481	521	262	229	256	9	165	309
850	114	376	479	56	272	439	503	527	265	265	262	58	225	335
900	262	431	495	57	366	470	510	525	264	284	263	132	258	346
950	263	370	410	47	329	394	418	428	215	238	215	133	221	286
1000	170	238	262	32	212	252	267	273	138	153	139	86	142	183
1050	108	151	166	22	134	160	169	172	88	98	89	55	90	116
1100	69	97	106	16	86	102	107	109	56	63	58	36	57	74
1150	45	63	68	12	56	66	69	70	36	41	38	23	37	47
1200	29	42	45	9	37	43	45	45	24	28	26	16	24	31
1250	20	29	30	8	25	29	30	30	17	20	18	11	17	21
1300	14	20	21	7	18	21	21	21	12	14	14	8	12	14
1350	11	15	16	6	13	15	15	15	9	11	11	6	9	10
1400	8	12	12	6	10	12	11	11	7	9	9	5	7	8
1450	7	10	10	6	9	10	9	8	6	8	8	4	5	6
1500	6	9	8	5	7	8	8	7	5	7	7	4	5	5
1550	5	8	7	5	7	7	7	6	4	6	6	4	4	5
1600	5	7	7	5	6	7	6	5	4	6	6	3	4	4
1650	5	7	6	5	6	6	5	4	4	6	6	3	4	4
1700	4	7	6	5	6	6	5	4	4	5	5	3	3	4
1750	4	6	6	5	5	6	5	4	3	5	5	3	3	3
1800	4	6	5	5	5	5	4	4	3	5	5	3	3	3
1850	4	6	5	5	5	5	4	3	3	5	5	3	3	3
1900	4	6	5	5	5	5	4	3	3	5	5	3	3	3

3) Определить координаты границ пласта x_1 и x_2 в м по половине максимального значения интенсивности гамма-излучения I_{max} над пластом.

4) Определить мощность пласта в м: $h = x_2 - x_1$.

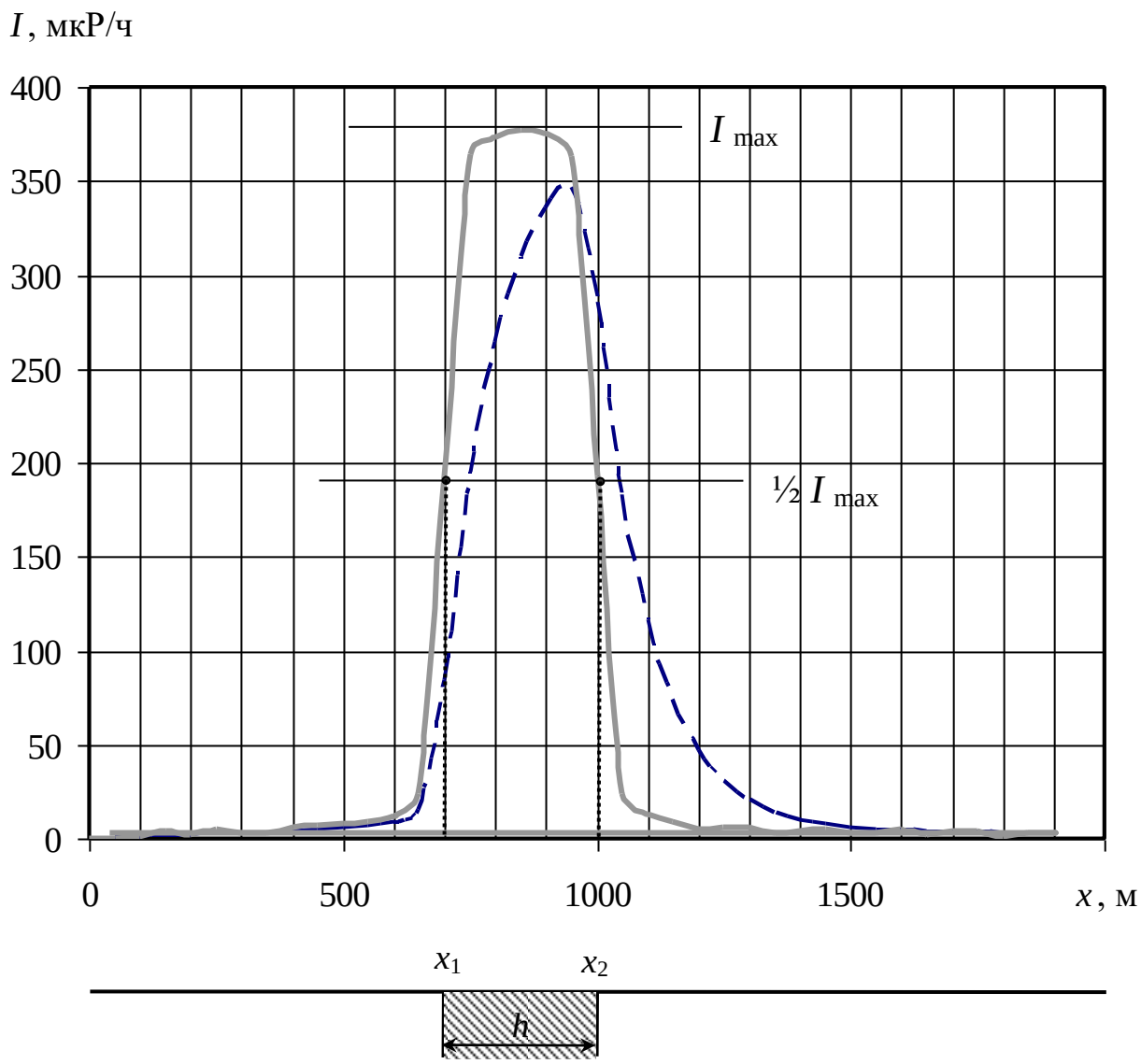


Рис.1. Интенсивность гамма-излучения над радиоактивным пластом, зарегистрированная при аэро-гамма-съемке (пунктирная линия), и действительная (сплошная линия)

Лабораторная работа № 14

Интерпретация диаграмм гамма-каротажа (ГК) скважин графическим способом

При количественной интерпретации диаграмм гамма-каротажа определяют два параметра:

- положение границ радиоактивного пласта и его видимую мощность $h_в$;
- концентрацию радиоактивного элемента Q_U.

Во всех известных способах интерпретации используется пропорциональная зависимость между интенсивностью гамма-излучения и концентрацией радиоактивного вещества.

Способ определения границ пласта зависит от того, резкие или нерезкие у него границы.

Резкость границ пласта оценивают по величине проекции на ось глубин «прямолинейного» участка крыла графика гамма-аномалии p, продолженного до пересечения с уровнем фона (рис. 1).

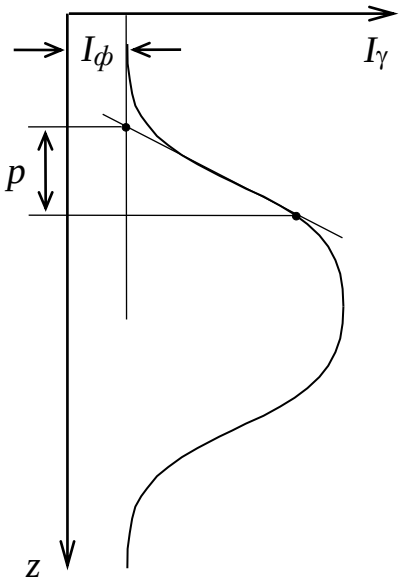


Рис. 1. Определение резкости границ пласта

Если величина отрезка $p < 100/\delta$ (где δ - плотность руды в г/см^3), то граница пласта резкая, если величина отрезка $p \geq 100/\delta$, то граница пласта нерезкая.

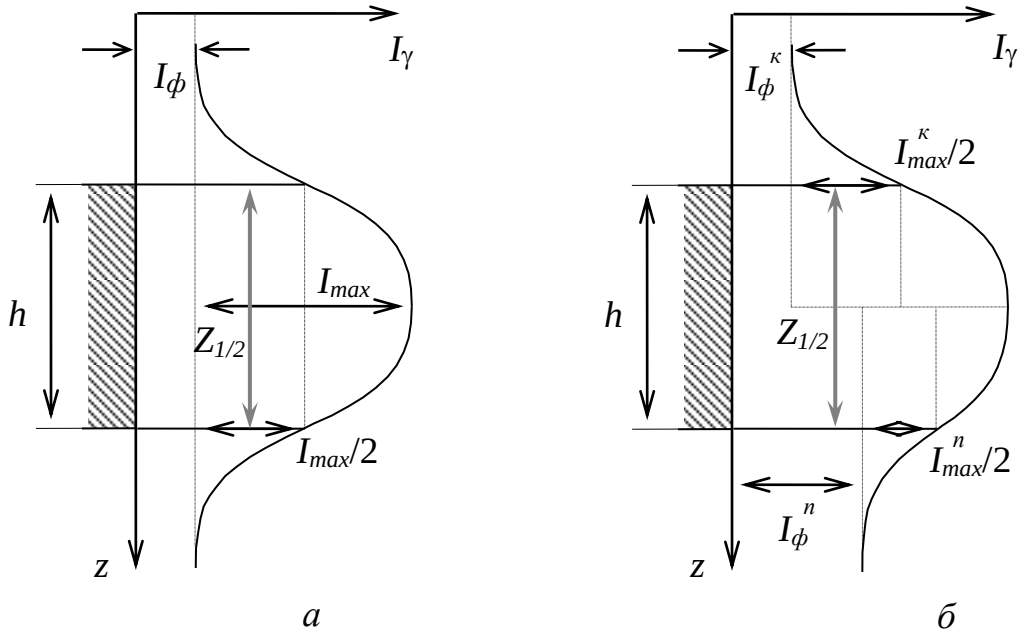
В зависимости от того, резкие или нерезкие границы у пласта, насыщен ли пласт по гамма-излучению или нет, для определения его мощности используют один из трех способов.

Если пласт имеет резкие границы, т.е. когда концентрация радиоактивного элемента от вмещающих пород к руде меняется резко или скачком, то используют один из следующих способов:

1) *Способ «1/2 I_{max}»*, если пласт насыщен по гамма-излучению, т.е. если ширина аномалии ГК на ее полувысоте $Z_{1/2} \geq 50$ см;

2) *Способ «4/5 I_{max}»*, если пласт не насыщен по гамма-излучению, т.е. если ширина аномалии ГК на ее полувысоте $Z_{1/2} < 50$ см.

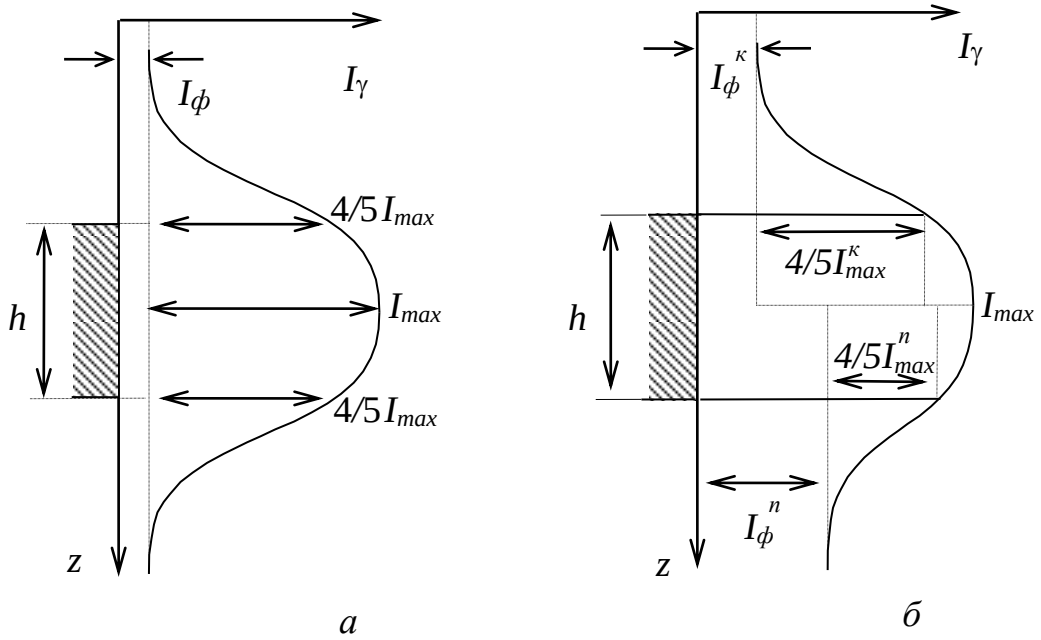
Суть способа «1/2 I_{max}» проиллюстрирована на рис. 2, где приведены примеры определения мощности для случая, когда фоновое гамма-излучение со стороны кровли и подошвы пласта одинаково (*а*) и разное (б).



а *б*

Рис. 2. Определение границ пласта и его мощности по способу «1/2 I_{max}»

Суть способа «4/5 I_{max}» проиллюстрирована на рис. 3., где приведены примеры определения мощности для случая, когда фоновое гамма-излучение со стороны кровли и подошвы пласта одинаково (*а*) и разное (б).



а *б*

Рис. 3. Определение границ пласта и его мощности по способу «4/5 I_{max}»

Если пласт имеет нерезкие границы, т.е. когда концентрация радиоактивного элемента от вмещающих пород к руде меняется постепенно, то используют способ «*заданной интенсивности*»:

3) *Способ «$I_{зад}$»*.

По способу *«$I_{зад}$»* границы рудных интервалов находят по проекциям на ось глубин точек диаграммы, в которых интенсивность гамма-излучения равна заданной. Заданная интенсивность определяется бортовым (заданным) содержанием урана:

$$I_{зад} = 100 \cdot K_0 \cdot Q_U^{зад} \qquad (1)$$

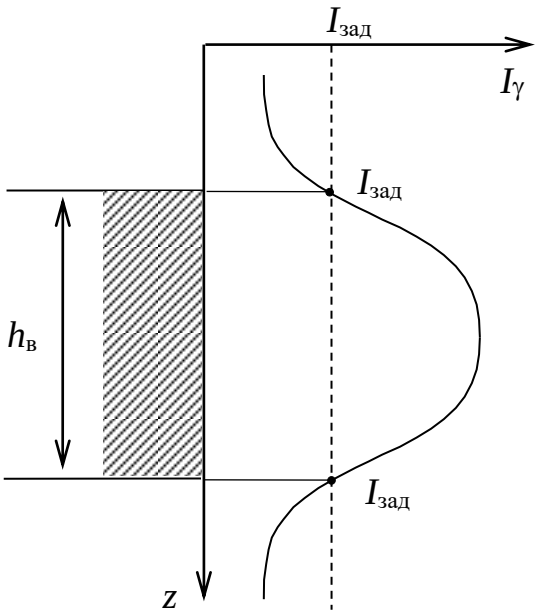


Рис. 4. Определение границ пласта и его мощности по способу *«$I_{зад}$»*

Если скважина, в которой проводилась запись диаграммы ГК, не обсажена и не заполнена промывочной жидкостью, то содержание урана Q_U в пласте вычисляют по формуле:

$$Q_U = \frac{S}{100 \cdot K_0 \cdot h_в}, \qquad (2)$$

где S – площадь гамма-аномалии на диаграмме ГК в см·мкР/ч; K_0 - пересчетный коэффициент прибора в (мкР/ч)/0,01 % U; $h_в$ - видимая мощность пласта в см.

На рис. 4 приведены примеры определения площади аномалии по диаграмме ГК для случая одинаковых (*а*) и разных величин (*б*) фонового гамма-излучения со стороны кровли и подошвы пласта.

Площадь гамма-аномалии S определяется путем подсчета количества клеточек N внутри аномалии и умножением полученного значения на масштаб диаграммы по оси глубин C_Z и и масштаб диаграммы по оси интенсивности C_I:

$$S = N \cdot C_Z \cdot C_I \qquad (2)$$

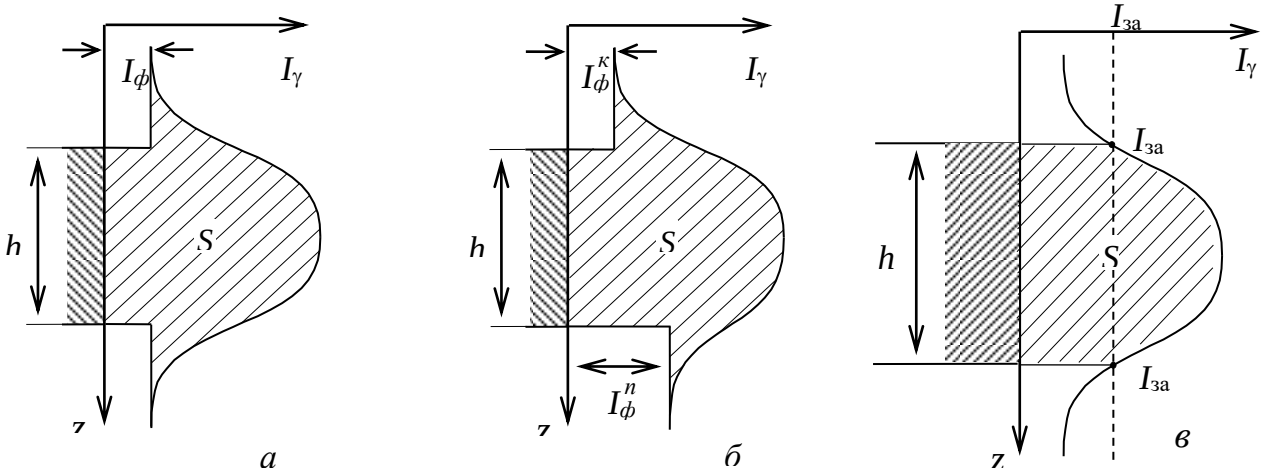


Рис. 5. Определение площади гамма-аномалии от радиоактивного пласта: *а* – с резкими границами и одинаковым уровнем фона со стороны кровли и со стороны подошвы пласта, *б* – с резкими границами и разным уровнем фона со стороны кровли и со стороны подошвы пласта, *в* – с нерезкими границами

Задание

По выданной преподавателем диаграмме ГК, зарегистрированной в сухой необсаженной скважине на одном из урановых месторождений, определить:

1) резкость границ пласта со стороны кровли и подошвы, как показано на рис. 1, сравнив величину отрезка *p* с величиной 100/δ (где δ - плотность руды в г/см^3 указана на диаграмме ГК);

2) по величине отрезка $Z_{1/2}$ (рис. 2) определить, насыщен ли пласт по гамма-излучению;

3) в зависимости от того, резкие или нерезкие границы у пласта, насыщен ли пласт по гамма-излучению или нет, определить его границы и мощность *h*, правильно выбрав способ определения;

4) используя формулу (2), вычислить содержание урана в пласте Q_U и сравнить его со средним содержанием урана в земной коре ($3 \cdot 10^{-4}$ %). Сделать выводы.

Лабораторная работа №15

Оценка качества радиометрической съемки

Цель работы: получить практические навыки выявления грубых, систематических и случайных ошибок наблюдений при анализе результатов полевой гамма-съемки (γ-съемки).

Надежность, а иногда и принципиальная возможность изучения тех или иных особенностей геологического строения, зависит от того, с какой погрешностью выявлены физические поля, несущие геологическую информацию. Эта погрешность может возникать как за счет неточности самих измерений, так и за счет того, что результаты измерений содержат составляющие, не связанные с геологическим строением, которые не удается полностью исключить при обработке наблюдений. Поэтому при проектировании и оценке выполненных геофизических работ всегда обсуждается вопрос о допустимой погрешности измерений.

Погрешностью измерения называется отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Погрешности измерений обусловливаются различными факторами. При радиометрических и ядерно-геофизических измерениях они включают:

1) ошибки, связанные со статистической природой радиоактивности (статистика счета);

2) аппаратурные ошибки, связанные с нестабильностью работы отдельных блоков аппаратуры (инструментальные ошибки);

3) методические ошибки, связанные с эталонированием, непостоянством вещественного состава, плотности и других характеристик горных пород, руд, наличием «мешающего» фона;

4) ошибки, связанные с отбором и подготовкой проб;

5) ошибки оператора, включая ошибки округления при взятии показаний прибора.

Изучение всех возможных источников ошибок и закономерностей их возникновения позволяет разделить все ошибки на три вида: *грубые, систематические* и *случайные*.

Грубые ошибки возникают чаще всего из-за неопытности наблюдателя. Это неправильно взятые отсчеты, ошибки при записи, описки и т.д. Такие ошибки подлежат исключению и в дальнейшем не рассматриваются.

Систематические ошибки возникают главным образом из-за неправильных показаний прибора или ошибок, допущенных при градуировании радиометров и т.д. Примером таких ошибок являются ошибки, возникающие при измерениях неправильно проградуированным прибором или при пользовании загрязненных или разубоженных эталонов (разубоживание - снижение содержания радиоактивных элементов в эталоне за счет смеше-

ния с пустой породой). Систематические ошибки необходимо выявить. Причины их возникновения должны быть устранены.

Существует несколько способов выявления систематических ошибок путем анализа результатов основных и повторных измерений (число повторных измерений обычно составляет 5-10 % от общего числа наблюдений).

1. Корреляционный способ. Сущность этого способа сводится к сравнению результатов основных и контрольных измерений. Для этого на координатную сетку (рис. 1) наносятся результаты основных x_o и контрольного $x_к$ измерений.

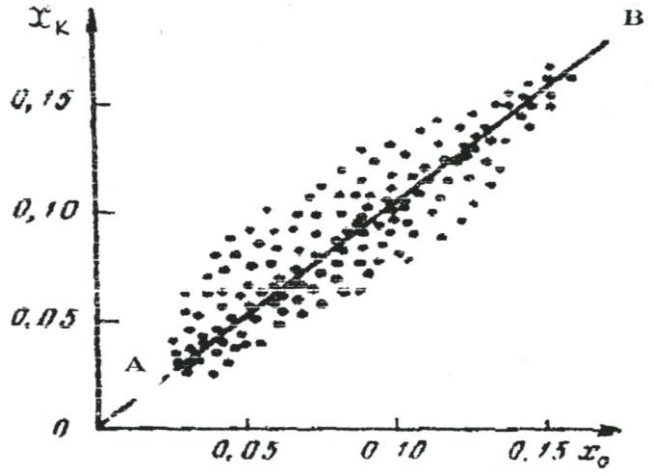


Рис.1. Корреляционный способ выявления систематической ошибки измерений

Через совокупность точек проводится линия *AB* так, чтобы точки располагались симметрично относительно этой линии. Если линия *AB* проходит через начало координат под углом 45^0, систематическая ошибка отсутствует. Другие случаи будут свидетельствовать о ее наличии.

2. Способ вариационной кривой. В этом способе расхождения между первичным и повторным наблюдениями принимают за величину ошибки каждого измерения. Затем подсчитывают количество случаев, когда ошибка лежит в определенном интервале, и определяют процент случаев от общего числа повторных наблюдений:

$$n = \frac{n_i}{N} \cdot 100\%,$$

где n_i – число случаев в i-м интервале; N – число повторных наблюдений. Результаты вычислений изображают графически в виде вариационной кривой (рис. 2).

При наличии систематических ошибок максимум кривой может сместиться с нуля. По величине смещения максимума можно определить величину систематической ошибки.

Случайные погрешности измерений по абсолютной величине невелики и связаны с различными факторами при производстве работы. По характеру распределения случайных ошибок удается объективно оценить качество проведенных измерений.

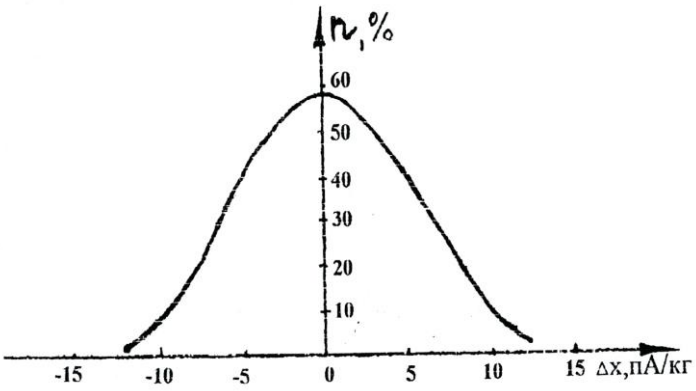


Рис. 2. Вариационная кривая ошибок измерения

Оценка случайных погрешностей производится при обработке измерений. Математическая теория погрешностей опирается на следующие свойства случайных ошибок:

- появление ошибок со знаком «+» и со знаком «-» равновероятно;
- появление ошибок больших (по абсолютной величине) менее вероятно, чем появление малых ошибок;
- сумма всех ошибок (с учетом знака) при числе измерений $n \to \infty$ равна 0.

Случайные ошибки имеют нормальное распределение при $n \to \infty$ и графически выражаются колоколообразной кривой, характер которой оценивается либо дисперсией, либо средним квадратическим значением.

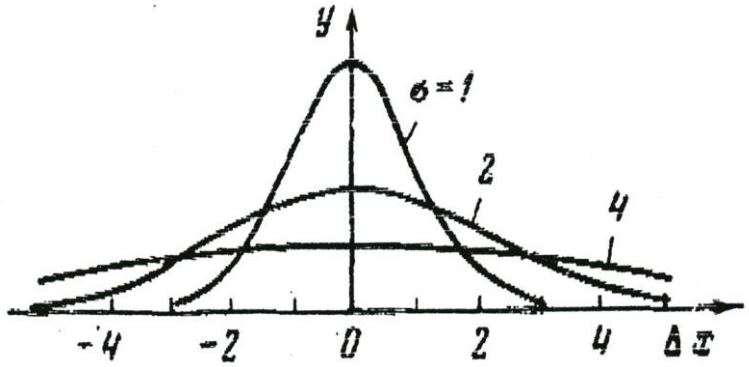


Рис. 3. Кривая нормального распределения случайных ошибок измерений

На рис. 3 показан характер распределения ошибок в виде вариационных кривых, построенных с различной степенью достоверности.

Как видно из рисунка, распределение погрешностей симметрично относительно Δx по оси абсцисс с центром в точке 0, а качество измерений определяется величиной дисперсии σ – чем она меньше, тем качество измерений выше, т.к. наибольшая часть ошибок приходится на малые значения σ.

Для определения закона распределения параметра и степени надежности такого распределения пользуются понятием доверительного интервала от $X + \Delta X$ до $X - \Delta X$, в который попадает истинное значение величины X. Надежность такого определения (α) зависит от числа измерений n и от величины доверительного интервала (табл. 1).

При обработке полевых материалов радиометрических методов доверительный интервал выбирается в пределах от $(\chi - 3\sigma)$ до $(\chi + 3\sigma)$.

Таблица 1

Доверительный интервал	Надежность α,%
От $(\chi - \sigma)$ до $(\chi + \sigma)$	68,3
От $(\chi - 2\sigma)$ до $(\chi + 2\sigma)$	95,0
От $(\chi - 3\sigma)$ до $(\chi + 3\sigma)$	99,7

Достоверность приведенных радиометрических съемок оценивают путем расчета средней квадратической погрешности съемки по результатам контрольных наблюдений

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_{i_1} - x_{i_2}\right)^2}{2n-1}}$$

где x_{i_1}, x_{i_2} – соответственно рядовое и контрольное измерение гамма-поля; n - число контрольных измерений.

Точность съемки считается удовлетворительной, если $\sigma \le P$, где P - точность используемого прибора.

Задание

1. Из полевого журнала (прил. 1) выписать в табл. 2. результаты основных P_1 и контрольных P_2 измерений гамма-поля.

Таблица 2

Результаты измерений гамма-поля

№ замера	P_1, пА/кг	P_2, пА/кг	$\Delta = P_1 - P_2$, пА/кг	Δ^2, пА/кг
1.				
2.				
….				
				$\sum_{i=1}^{n}\Delta^2$

2. Вычислить расхождение значении гамма-поля между основными P_1 и контрольными P_2 замерами с соответствующими знаками $\Delta = P_1 - P_2$

3. По величине расхождения выявить наличие грубых ошибок и исключить их из дальнейшей обработки.

4. Оценить наличие систематической погрешности одним из описанных способов (корреляционный способ, способ вариационной кривой).

6. Вычислить среднюю квадратическую погрешность:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\Delta^2}{2n-1}}$$

7. Оценить качество выполненной гамма-съемки.

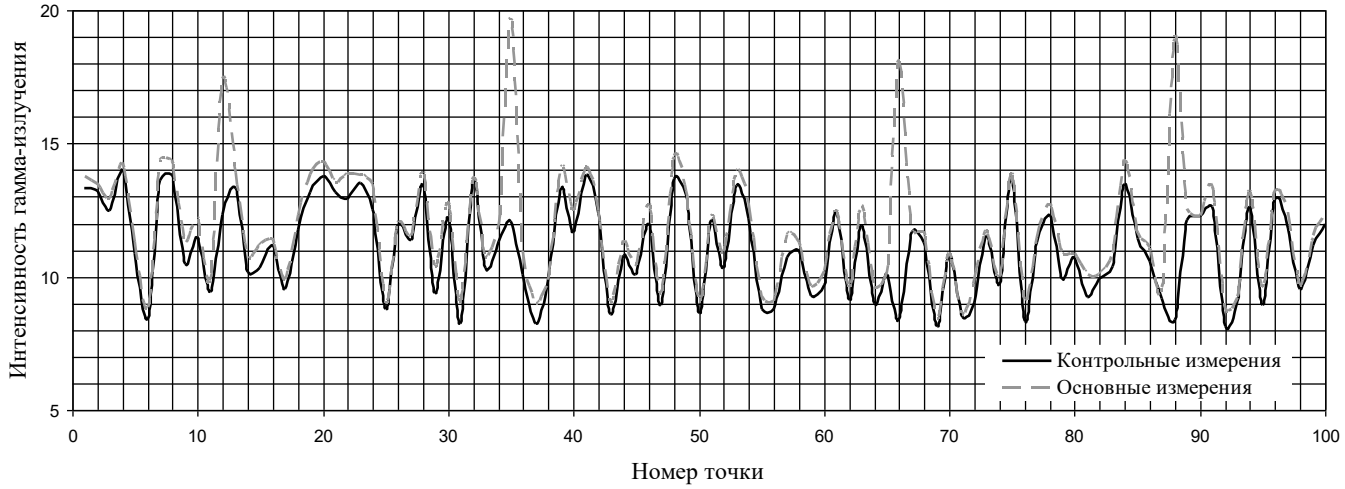


Рис 4. Графики основных и контрольных измерений

На рис. 4 хорошо видны 4 грубые ошибки – на пикете 12, 35, 66, 88. Эти значения при обработке результатов подлежат исключению.

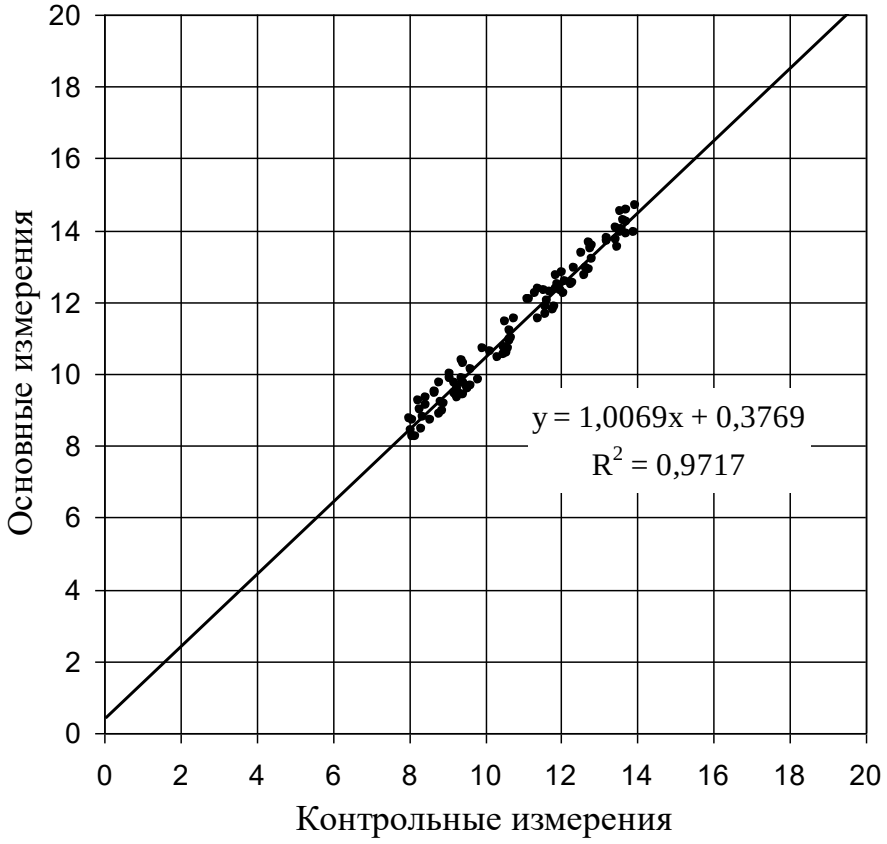


Рис. 5. Корреляция между основными и контрольными измерениями

На рис. 5 линя тренда не выходит из начала координат и угол ее наклона отличается от 45°. Это означает, что в результатах измерений гамма-поля присутствует систематическая ошибка. Это видно и на рис.4 – все точки графика контрольных наблюдений лежат ниже точек основных наблюдений, т.е. основные наблюдения завышены по сравнению с контрольными наблюдениями. Свободный член в уравнении регрессии (0,38) указывает на величину завышения показаний при основных измерениях.

Вариант 1					
№ п/п	P_1	P_2	№ п/п	P_1	P_2
1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*
1	11,7	12,1	51	13,1	14,0
2	11,6	11,7	52	11,9	12,5
3	12,2	12,8	53	10,4	10,9
4	9,7	9,7	54	12,2	12,5
5	9,0	9,3	55	12,0	12,3
6	9,2	9,2	56	12,2	13,1
7	13,1	13,3	57	12,6	12,9
8	8,7	9,3	58	11,3	11,6
9	11,7	12,0	59	14,0	14,8
10	13,0	13,9	60	11,3	11,4
11	12,8	13,3	61	12,5	13,4
12	11,3	17,4	62	13,9	14,0
13	8,0	8,9	63	10,7	10,8
14	13,5	13,5	64	13,5	14,5
15	12,8	12,9	65	12,4	12,8
16	11,3	12,0	66	9,6	18,1
17	10,3	10,4	67	9,8	9,8
18	10,3	11,1	68	13,1	13,4
19	12,9	13,8	69	11,3	11,6
20	9,5	10,0	70	11,9	11,9
21	13,8	14,0	71	11,0	11,2
22	11,7	12,5	72	11,2	12,0
23	11,8	11,8	73	8,4	9,3
24	9,6	10,4	74	11,1	11,2
25	8,2	8,4	75	9,5	10,1
26	8,4	9,0	76	11,0	11,9
27	11,3	12,1	77	9,5	10,2
28	10,3	10,7	78	12,2	13,0
29	11,4	12,0	79	11,7	11,9
30	10,5	10,5	80	10,7	11,3
31	12,7	13,2	81	12,3	12,4
32	8,1	8,6	82	8,9	9,0
33	10,5	10,7	83	11,7	12,2
34	11,6	12,0	84	10,5	11,4
35	8,1	19,7	85	8,2	8,9
36	12,3	12,8	86	13,0	13,5
37	11,3	11,5	87	9,6	10,3
38	13,2	13,4	88	11,5	20,0
39	11,3	11,8	89	9,8	10,1
40	12,2	12,9	90	8,6	9,1
41	10,3	11,2	91	11,4	11,5
42	9,4	9,6	92	8,2	8,4
43	12,7	13,1	93	9,4	9,9
44	9,3	9,4	94	10,9	11,0
45	11,6	12,3	95	12,4	12,8
46	11,2	11,5	96	13,2	14,2
47	11,8	12,2	97	12,6	13,1
48	13,7	14,5	98	8,9	9,5
49	9,8	10,8	99	10,2	10,9
50	11,7	12,1	100	8,8	8,8

Вариант 2					
№ п/п	P_1	P_2	№ п/п	P_1	P_2
1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*
1	10,5	12	51	10,4	11,7
2	11,8	12,8	52	11	10,5
3	13,5	12,6	53	12,2	9,75
4	12,8	12	54	10,8	11,25
5	11,7	11	55	13,3	12,5
6	11,8	11,4	56	11	12,5
7	14	12,5	57	12,5	14,5
8	12,3	13,4	58	11,2	10
9	12	11,75	59	10	11,5
10	10,8	13,5	60	10,2	8,75
11	12,1	12,5	61	9,8	10,25
12	12,5	12,5	62	10,3	10,25
13	10,7	11,75	63	9,5	8,75
14	14,2	14	64	11	9,8
15	11,5	14,5	65	10,5	11,25
16	11,3	10,5	66	9,5	10
17	12	11,5	67	12	11,25
18	10,5	12	68	13	12
19	12,2	11,25	69	9,5	10
20	11,5	12,2	70	11	9,5
21	10,3	13,5	71	9,5	10,5
22	11,3	10,2	72	9,8	9,25
23	12	13	73	9,5	8,75
24	12,5	12	74	10,2	12
25	12,5	13,3	75	11,8	12,5
26	21,3	12,5	76	10,5	11,5
27	10,7	11,5	77	11	11,25
28	9,3	10,5	78	10	12,25
29	10,7	9,5	79	11	10,75
30	11,3	12,5	80	10,3	11
31	11,2	13,5	81	10,5	11,25
32	12,5	13,2	82	9,5	10,5
33	14,5	12,5	83	9,6	10,75
34	13,8	11,5	84	10,2	11,5
35	10,5	11,5	85	9,5	11,25
36	11	10,5	86	10,5	12,5
37	12,6	12	87	10,2	11,25
38	11,7	10,5	88	9,5	11,25
39	12,5	13,5	89	10,3	12
40	10	10,7	90	11	12,5
41	10	11,2	91	10	11,5
42	11,3	10	92	11,3	14,25
43	12,5	11,2	93	11,3	14,25
44	11,8	11,5	94	10,8	13,25
45	11,3	12,5	95	10	11,5
46	9,5	11,2	96	10,3	11
47	10	10,75	97	7,9	9,25
48	9,5	11,2	98	9,2	11
49	11,8	12	99	11,3	12
50	12,2	12,5	100	10,3	13,5

Вариант 3					
№ п/п	P_1	P_2	№ п/п	P_1	P_2
1			*1*	*2*	*3*
1	13,4	13,4	51	19,5	20,0
2	19,4	19,5	52	19,1	20,0
3	15,5	16,3	53	16,4	16,5
4	17,5	18,1	54	15,6	15,6
5	19,7	19,9	55	14,5	15,3
6	14,7	15,4	56	14,9	15,9
7	17,0	22,2	57	13,6	13,8
8	13,0	13,9	58	15,2	15,9
9	14,7	15,2	59	14,2	15,0
10	14,6	15,2	60	19,1	19,8
11	17,8	18,3	61	15,0	15,1
12	16,7	17,4	62	14,1	14,1
13	15,9	16,4	63	15,5	15,9
14	18,7	19,3	64	15,7	15,8
15	16,7	16,8	65	18,0	18,4
16	16,6	16,9	66	18,9	18,1
17	15,0	15,1	67	17,5	18,3
18	17,7	18,2	68	18,7	18,7
19	17,5	17,9	69	14,9	15,2
20	19,1	20,1	70	14,2	14,8
21	15,9	16,8	71	19,1	23,5
22	13,2	13,4	72	19,7	20,0
23	16,7	17,6	73	16,0	16,6
24	15,8	16,4	74	13,1	13,5
25	16,0	16,1	75	14,8	15,3
26	16,5	16,7	76	13,6	14,1
27	18,6	18,9	77	13,4	13,5
28	16,0	16,5	78	19,2	19,5
29	14,3	15,1	79	15,5	16,0
30	13,5	14,5	80	17,8	18,6
31	13,8	14,2	81	14,9	15,7
32	13,6	14,3	82	14,6	15,6
33	18,0	26,1	83	16,1	16,2
34	18,0	18,2	84	14,5	15,5
35	13,4	19,7	85	14,7	15,5
36	16,1	16,9	86	14,5	15,4
37	16,0	16,1	87	13,3	13,5
38	14,7	15,1	88	17,9	20,0
39	17,2	17,6	89	16,3	16,5
40	18,9	19,0	90	18,6	19,6
41	19,3	19,9	91	19,7	20,2
42	13,5	14,3	92	14,7	15,0
43	18,2	18,5	93	19,2	20,2
44	17,6	17,9	94	19,3	20,1
45	17,3	17,8	95	16,3	17,0
46	16,2	16,4	96	17,0	17,6
47	13,1	13,7	97	17,5	31,4
48	17,2	17,9	98	13,4	13,8
49	15,7	15,9	99	15,6	16,1
50	14,3	15,3	100	19,3	20,2

Вариант 4					
№ п/п	P_1	P_2	№ п/п	P_1	P_2
1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*
1	15,9	16,6	51	11,4	10,2
2	15,1	15,6	52	15,8	16,8
3	16,5	17,3	53	11,0	11,6
4	17,5	17,9	54	11,3	11,4
5	17,6	15,6	55	13,5	13,6
6	13,3	12,0	56	15,4	16,3
7	16,9	15,6	57	11,8	12,3
8	14,4	12,7	58	12,5	12,5
9	15,6	13,8	59	17,7	18,3
10	13,0	11,1	60	11,9	12,7
11	17,0	15,5	61	12,5	11,1
12	13,7	14,4	62	16,4	15,2
13	16,0	16,5	63	17,1	7,4
14	16,4	26,1	64	12,5	10,7
15	14,7	15,6	65	17,7	15,8
16	17,1	17,9	66	14,5	12,6
17	14,8	15,0	67	11,2	9,5
18	13,6	13,9	68	16,3	15,3
19	15,3	15,3	69	13,3	14,2
20	18,0	18,1	70	14,7	15,3
21	13,9	14,2	71	11,7	23,5
22	12,7	13,0	72	14,2	14,5
23	14,2	12,8	73	14,4	14,7
24	14,0	12,0	74	11,8	12,5
25	11,8	10,3	75	15,9	16,1
26	14,1	13,0	76	12,0	12,4
27	13,9	12,3	77	11,8	12,3
28	13,4	11,9	78	14,6	15,3
29	11,8	12,0	79	14,9	15,5
30	14,8	15,3	80	11,2	12,0
31	13,3	24,7	81	14,8	15,8
32	12,6	12,6	82	14,7	14,7
33	13,7	26,1	83	15,8	14,7
34	13,9	13,9	84	15,1	13,5
35	12,8	19,7	85	11,9	10,3
36	15,4	16,1	86	15,1	13,2
37	18,0	18,7	87	12,9	11,5
38	15,1	15,1	88	17,6	16,5
39	13,8	14,0	89	13,8	14,7
40	12,8	13,7	90	14,8	24,9
41	16,7	16,9	91	17,6	17,8
42	13,2	13,4	92	17,3	17,5
43	16,4	16,6	93	12,6	13,1
44	12,6	13,2	94	11,2	11,9
45	15,6	13,8	95	12,8	13,3
46	15,1	13,5	96	11,3	11,3
47	13,7	11,9	97	13,5	31,4
48	13,1	11,9	98	14,0	14,1
49	17,4	16,3	99	11,0	11,3
50	15,8	14,1	100	16,7	17,3

Вариант 5					
№ п/п	P_1	P_2	№ п/п	P_1	P_2
1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*
1	23,2	23,3	51	16,7	15,6
2	15,4	16,4	52	14,1	14,5
3	16,7	17,0	53	13,1	13,6
4	14,4	15,2	54	12,0	12,7
5	13,8	12,6	55	14,7	15,4
6	17,2	15,6	56	14,6	15,5
7	14,7	12,8	57	15,0	15,9
8	15,6	13,8	58	14,9	15,0
9	11,3	9,5	59	14,6	14,9
10	11,3	10,0	60	13,8	14,3
11	16,8	15,5	61	17,8	16,5
12	15,6	15,7	62	13,5	12,0
13	12,8	13,6	63	14,4	13,2
14	15,8	16,3	64	15,4	14,3
15	14,2	24,6	65	15,0	13,1
16	14,5	14,7	66	12,9	11,2
17	15,3	15,8	67	14,7	13,0
18	11,2	11,7	68	13,2	11,3
19	12,6	13,1	69	12,7	13,6
20	14,2	14,4	70	15,7	19,6
21	17,8	17,8	71	13,4	23,5
22	14,1	14,7	72	17,6	18,2
23	16,4	14,5	73	14,1	14,9
24	11,8	10,1	74	14,5	15,1
25	15,3	14,1	75	16,9	17,7
26	14,0	12,7	76	13,1	13,2
27	12,7	11,2	77	17,5	17,8
28	17,5	15,9	78	14,9	15,9
29	16,9	17,1	79	11,1	11,2
30	17,6	18,0	80	12,3	12,6
31	11,3	11,7	81	17,5	17,8
32	16,2	16,3	82	14,0	14,8
33	14,1	26,1	83	14,1	13,0
34	11,5	12,1	84	12,1	10,6
35	12,1	19,7	85	11,1	9,9
36	18,0	18,2	86	12,3	11,0
37	13,7	14,0	87	18,0	16,0
38	17,4	18,0	88	15,2	13,3
39	11,2	11,2	89	17,3	18,1
40	13,1	13,9	90	17,6	17,6
41	14,7	15,2	91	15,8	16,5
42	13,8	14,6	92	16,6	17,1
43	12,6	12,9	93	16,4	17,4
44	12,1	12,2	94	11,7	12,2
45	17,3	16,2	95	18,0	18,8
46	14,3	12,8	96	14,9	15,5
47	17,9	16,6	97	13,3	31,4
48	13,6	12,3	98	12,1	13,0
49	15,4	22,8	99	11,7	12,0
50	11,9	10,6	100	17,0	17,5

Вариант 6					
№ п/п	P_1	P_2	№ п/п	P_1	P_2
1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*
1	16,3	15,7	51	35,3	36,6
2	28,0	27,7	52	35,8	37,8
3	33,6	33,9	53	36,5	37,0
4	21,9	22,8	54	25,7	26,3
5	30,9	30,4	55	24,7	24,7
6	42,6	42,0	56	33,7	34,5
7	17,9	17,2	57	32,3	32,7
8	49,9	50,1	58	48,1	47,4
9	33,7	34,6	59	28,3	28,6
10	39,6	38,7	60	31,3	31,0
11	46,5	46,3	61	43,8	44,4
12	30,4	30,5	62	42,2	43,0
13	22,7	22,2	63	47,6	46,8
14	37,5	37,1	64	38,4	37,6
15	18,5	20,9	65	39,9	40,2
16	21,5	24,5	66	44,4	43,9
17	28,9	30,8	67	18,2	18,9
18	42,1	42,3	68	46,0	45,2
19	19,3	19,4	69	21,4	21,9
20	29,6	30,0	70	47,5	46,7
21	44,5	44,1	71	29,6	29,0
22	35,2	35,6	72	33,2	32,4
23	40,4	39,7	73	49,4	48,8
24	23,0	24,3	74	35,7	35,3
25	40,2	42,3	75	19,5	19,4
26	25,8	27,0	76	24,2	23,9
27	38,5	41,5	77	42,1	42,8
28	44,4	44,2	78	26,7	26,7
29	24,7	23,8	79	31,4	31,7
30	39,3	39,7	80	37,2	36,6
31	43,5	43,8	81	34,4	34,1
32	27,2	27,5	82	37,8	37,1
33	24,5	23,9	83	20,5	19,6
34	47,6	46,6	84	26,7	27,2
35	15,3	15,6	85	18,8	19,1
36	21,0	21,6	86	45,0	44,7
37	46,3	47,8	87	39,9	40,8
38	39,0	40,2	88	49,5	50,3
39	27,9	30,4	89	27,8	28,7
40	46,5	47,7	90	40,6	41,4
41	18,7	20,0	91	49,7	50,0
42	31,8	32,5	92	16,9	17,0
43	34,1	34,0	93	46,9	46,1
44	23,9	24,4	94	46,2	45,2
45	33,2	34,0	95	16,4	15,8
46	49,6	50,3	96	35,5	36,5
47	46,5	46,2	97	46,9	47,4
48	38,8	40,6	98	31,4	30,5
49	26,2	27,2	99	15,2	15,9
50	16,3	15,7	100	27,7	27,2

Вариант 7					
№ п/п	P_1	P_2	№ п/п	P_1	P_2
1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*
1	6,4	6,7	51	17,9	19,4
2	16,6	16,7	52	11,6	14,6
3	14,6	13,9	53	15,8	15,6
4	13,1	13,4	54	11,2	11,5
5	13,5	12,8	55	19,9	20,3
6	14,9	15,1	56	7,5	8,2
7	16,7	16,6	57	11,4	11,4
8	15,0	15,3	58	19,2	19,6
9	17,1	17,0	59	13,8	12,9
10	18,5	18,4	60	19,8	19,8
11	16,2	15,7	61	15,7	14,9
12	6,3	7,1	62	14,3	14,1
13	17,6	17,4	63	16,7	15,7
14	19,8	20,8	64	18,0	18,0
15	11,7	12,8	65	12,6	12,6
16	9,5	10,9	66	17,9	17,3
17	19,1	20,4	67	9,9	10,0
18	7,6	7,5	68	19,6	19,4
19	16,5	15,7	69	19,9	20,7
20	18,9	19,0	70	17,2	16,8
21	7,5	7,7	71	9,0	9,3
22	7,7	7,8	72	10,0	9,0
23	6,5	7,4	73	6,3	6,1
24	6,4	9,3	74	17,1	18,4
25	7,1	24,1	75	6,9	7,1
26	10,7	11,8	76	11,8	11,4
27	6,9	8,7	77	7,3	6,8
28	9,0	8,1	78	15,5	15,4
29	15,9	15,8	79	10,0	10,9
30	11,8	11,4	80	14,1	15,0
31	18,1	18,9	81	17,6	17,8
32	17,5	18,3	82	8,2	7,9
33	17,0	17,4	83	19,5	20,5
34	16,3	15,4	84	13,7	14,6
35	9,3	9,2	85	18,9	19,5
36	17,2	17,5	86	18,1	18,3
37	18,2	20,8	87	10,8	10,8
38	9,5	10,9	88	11,9	12,8
39	14,0	15,0	89	12,6	12,9
40	15,9	18,3	90	15,9	15,6
41	20,0	21,0	91	16,2	16,6
42	10,0	9,9	92	18,6	19,5
43	10,5	10,1	93	13,5	14,4
44	13,6	13,0	94	15,3	29,0
45	17,9	17,7	95	9,9	9,6
46	16,3	16,9	96	19,6	20,2
47	9,5	10,0	97	11,1	11,4
48	19,4	20,6	98	6,5	6,7
49	14,2	16,6	99	19,4	20,3
50	7,8	20,7	100	18,6	18,8

Вариант 8					
№ п/п	P_1	P_2	№ п/п	P_1	P_2
1	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*
1	9,5	9,7	51	23,8	26,3
2	17,4	18,4	52	6,0	8,4
3	6,3	6,9	53	24,4	25,1
4	16,8	17,4	54	6,5	5,9
5	16,6	17,2	55	23,5	22,0
6	20,3	20,2	56	18,3	18,1
7	19,1	18,6	57	11,0	10,2
8	22,2	22,3	58	19,3	18,4
9	23,4	24,0	59	12,8	12,6
10	8,6	8,1	60	21,3	21,4
11	17,5	17,8	61	17,3	18,1
12	10,4	11,1	62	12,8	12,8
13	17,9	18,9	63	16,0	15,5
14	12,1	12,2	64	20,5	21,0
15	14,4	16,0	65	18,1	18,7
16	12,1	13,6	66	22,3	22,2
17	20,1	21,7	67	7,1	6,2
18	16,2	16,6	68	21,5	22,3
19	23,5	23,1	69	12,7	13,0
20	17,0	17,4	70	8,3	9,3
21	5,6	4,9	71	22,9	23,7
22	17,2	17,3	72	21,2	21,9
23	11,5	11,9	73	15,9	15,5
24	6,6	9,5	74	20,7	18,4
25	22,7	24,1	75	9,7	10,3
26	13,2	14,3	76	6,3	7,2
27	9,5	11,1	77	19,8	20,1
28	21,1	20,9	78	6,9	6,9
29	13,7	13,2	79	24,9	24,7
30	23,8	24,4	80	6,8	6,9
31	7,7	8,6	81	13,4	13,7
32	21,1	20,4	82	21,7	21,0
33	17,1	16,5	83	22,0	21,1
34	18,0	18,7	84	8,3	7,7
35	23,0	23,1	85	23,1	30,2
36	15,7	15,7	86	21,4	21,6
37	16,0	17,2	87	10,2	9,7
38	22,9	25,8	88	10,4	9,7
39	20,5	23,2	89	24,9	25,4
40	6,8	9,2	90	11,5	10,9
41	20,2	22,2	91	14,6	13,9
42	19,4	16,2	92	6,5	6,8
43	19,2	20,0	93	25,0	24,5
44	25,0	25,2	94	12,2	29,0
45	8,8	9,0	95	18,6	18,4
46	23,3	23,8	96	24,1	24,9
47	9,8	9,6	97	17,6	16,7
48	10,9	12,0	98	10,9	10,8
49	23,1	25,4	99	11,5	21,0
50	7,4	20,7	100	18,5	18,2

Лабораторная работа № 16 (автор Редозубов А.А.)

Вертикальное электрическое зондирование на модели

В электрическом зондировании изучается изменение удельного сопротивления горных пород по вертикальному направлению. Чтобы получить такую информацию необходимо в точке зондирования выполнить измерения при различной глубине проникновения электрического тока в землю. В электроразведке постоянным и низкочастотным током это достигается путем изменения расстояния между источником поля и точкой наблюдений. Такое зондирование называется *геометрическим* или *дистанционным*. По результатам измерений для каждого размера установки рассчитывается кажущееся сопротивление $\rho_к$. Изменение $\rho_к$ при увеличении размера установки отражает изменение удельного сопротивления среды с глубиной.

Основная область применения электрического зондирования – изучение разрезов с пологими границами раздела. Но метод применяется и при изучении разрезов с локальными объектами.

Существует несколько модификаций электрического зондирования, различающихся типом использующихся установок. Чаще всего применяется зондирование с симметричной установкой *AMNB*. Эта модификация называется *вертикальным электрическим зондированием* (ВЭЗ). При проведении измерений по методу ВЭЗ приемная линия *MN* располагается симметрично относительно точки зондирования *O*, к которой относятся результаты измерений. Питающие заземления *A* и *B* также располагаются симметрично относительно этой точки (рис. 1, *а*). В процессе работы расстояние между питающими заземлениями увеличивается примерно в геометрической прогрессии с коэффициентом 1,5 и при каждом разносе *AB* измеряется $\rho_к$.

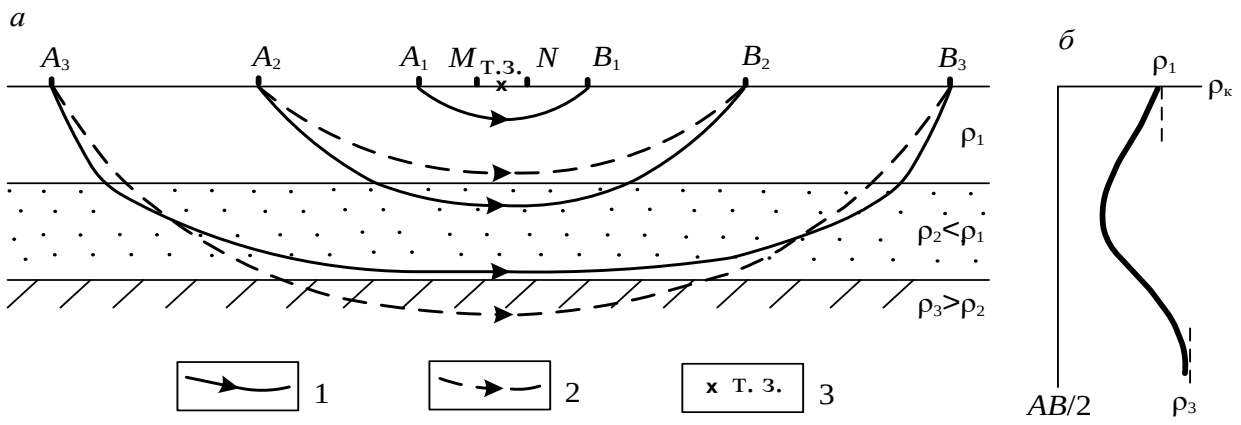


Рис. 1. К пояснению принципа электрического зондирования:

а – распределение тока в слоистом разрезе; *б* – кривая зондирования;
1 – токовые линии в слоистой среде; 2 – то же в однородном полупространстве;
3 – точка зондирования

Порядок измерений

Моделирование метода ВЭЗ в лабораторных условиях предлагается выполнить в ванне, заполненной влажным песком. Так как дно ванны является изолято-

ром, модель геоэлектрического разреза представляет собой двухслойную среду с нижним слоем бесконечного сопротивления. Латунные электроды устанавливаются в нужном положении на рейке. Для этого в рейке сделаны отверстия. Глубина погружения электродов в песок не должна превышать 2–3 мм (рис. 2).

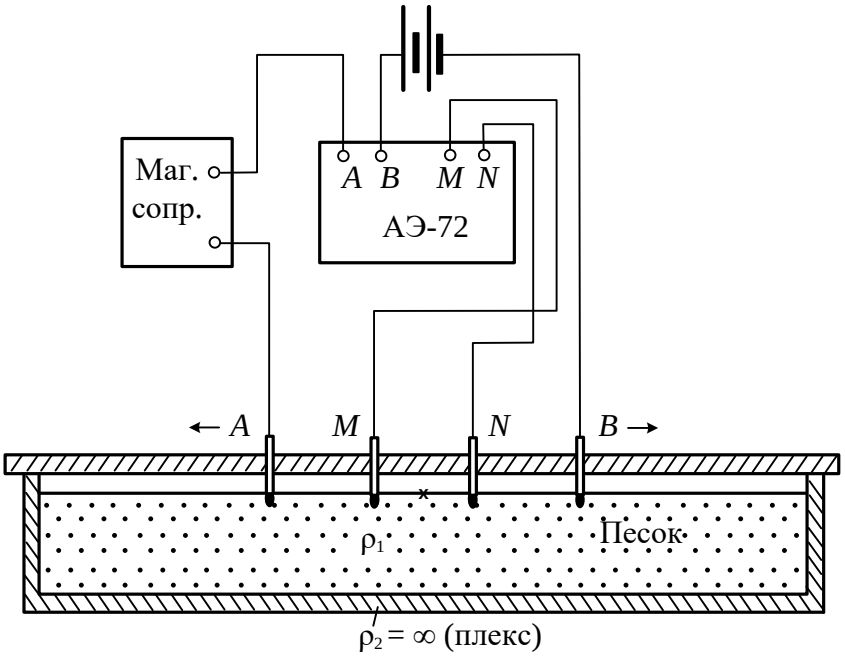


Рис. 2. Схема лабораторной установки

Измерения можно выполнять с любой аппаратурой постоянного или низкочастотного тока. На рис. 2 показана схема измерений с автокомпенсатором АЭ-72 и источником постоянного тока. В качестве источника тока можно использовать батарею гальванических элементов или аккумуляторов. Магазин сопротивлений включен в питающую линию для того, чтобы если при малых разносах AB разность потенциалов ΔU на приемных электродах превысит 1000 мВ (это максимальная величина, которую может измерить АЭ-72), можно было уменьшить силу тока и таким образом понизить измеряемую ΔU. Аналогичную схему можно собрать с любым другим измерителем постоянного тока.

Если измерения производятся с аппаратурой низкочастотного переменного тока, например, с АНЧ-3 или ЭРА-В-ЗНАК, генератор включается в линию AB, а измеритель – в линию MN. В этом случае генератор и измеритель автономны и не соединяются между собой.

Собрав схему, устанавливают минимальные разносы электродов AB и MN и выполняют измерения ΔU и I. Результаты измерений записывают в журнал и вычисляют кажущееся сопротивление по формуле

$$\rho_к = K\frac{\Delta U}{I} = \pi\frac{(AB/2)^2 - (MN/2)^2}{MN}\cdot\frac{\Delta U}{I}. \qquad (1.2)$$

Коэффициенты установки K для всех разносов целесообразно вычислить заранее. Рассчитывать коэффициенты установки удобнее в сантиметрах, а потом перевести в метры. Если измерения выполняются с АЭ-72, следует помнить, что с этой аппаратурой ΔU измеряется в милливольтах, а I – в сантиамперах.

Затем устанавливают следующий разнос AB и снова измеряют ΔU и I и

вычисляют $\rho_к$ и т. д.

Так как при увеличении разноса питающих заземлений разность потенциалов ΔU быстро уменьшается (обратно пропорционально квадрату AB), начиная с некоторого размера питающей линии, увеличивают и разнос электродов MN. При одном разносе AB измерения выполняются с обоими разносами MN. Это делается для того, чтобы можно было учесть изменение удельного сопротивления ρ_{MN} среды между приемными заземлениями, пропорционально которому изменяется $\rho_к$. Измерения с двумя разносами электродов MN делают при двух соседних размерах линии AB. Так как отношение ρ_{M1N1}/ρ_{M2N2} для обоих разносов AB одинаково, одинаково и отношение $\rho_{кM1N1}/\rho_{кM2N2}$. Поэтому в логарифмическом масштабе отрезки кривой, построенные для первого и второго разносов MN, должны быть параллельны. Параллельность перекрывающихся отрезков кривой зондирования является одним из критериев оценки качества работ.

Когда достигается разнос электродов AB, при котором изменяется разнос MN, целесообразно выполнить все измерения с первым разносом приемных электродов, а потом вернуть электроды AB в предыдущее положение и продолжить измерения с новым разносом электродов MN. Такая методика более целесообразна, потому что в лабораторных условиях из-за малой длины приемной линии трудно точно восстановить положение электродов MN.

Одновременно с измерениями строится кривая зондирования – размер установки изменяется только после того, как на кривую нанесен результат измерения $\rho_к$. В случае резкого изменения хода кривой необходимо выполнить повторное измерение. Если второй результат отличается от первого более, чем на 5 %, производится третье измерение и принимаются два сходящихся результата. Результаты повторных измерений записываются в отдельные строчки журнала, а в графе "примечания" указывается, что это повторные измерения.

Рекомендуемая схема разносов питающей и приемной линий:

***AB*/2**, см 1,5; 2,0; 3,0; 4,5; 4,5; 7.0; 7,0; 10,0; 15,0.

***MN*/2**, см 0,5; 0,5; 0,5; 0,5; 1,5; 0,5; 1,5; 1,5; 1,5.

После окончания зондирования выполняют контрольные измерения на двух разносах AB. Эти измерения следует выполнить другому оператору. Результаты контрольных измерений записываются в отдельных строках журнала, с отметкой в графе "примечания", что это контрольные измерения. Необходимо понимать разницу между повторными и контрольными измерениями. Повторные измерения – это внутренний контроль, при котором оператор сам контролирует себя. Контрольные измерения – это объективный внешний контроль, при котором учитываются все факторы, которые могут вызвать погрешности измерений. Такими факторами могут быть погрешности установки электродов, индивидуальные особенности оператора и т. д. Для оценки качества работ используются только контрольные измерения.

Порядок обработки и интерпретации результатов

Так как зондирование выполнялось при двух разносах MN, кривая состоит из двух отрезков, смещенных один относительно другого. Перед интерпретацией необходимо выполнить монтаж кривой. Для этого один из отрезков

принимают за базовый, а другой переносят параллельно самому себе, так чтобы получилась цельная кривая (рис. 3).

Так как дно ванны имеет практически бесконечное сопротивление, конечная асимптота кривой зондирования представляет собой прямую линию, наклоненную к осям координат под углом 45˚. Начальной асимптотой кривой является прямая, параллельная оси разносов, $\rho_к=\rho_1$.

Интерпретация таких кривых очень проста: точка пересечения асимптот имеет координаты, равные мощности верхнего слоя h_1 и его удельному сопротивлению ρ_1 (см. рис. 3).

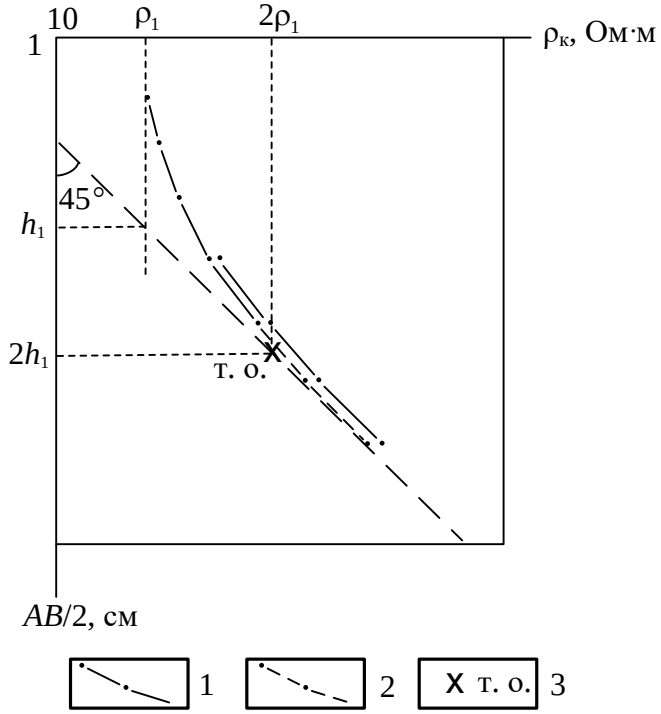


Рис. 3 Пример интерпретации двухслойной кривой ВЭЗ ($\rho_к=\infty$):
1 – измеренная кривая ВЭЗ; 2 – перемещенный при монтировании отрезок кривой;
3 – точка отрыва

Другим простым способом является интерпретация по точке отрыва. Это точка, в которой кривая отрывается от своей конечной асимптоты. Координаты точки отрыва $AB/2\approx 2h_1$, $\rho_к\approx 2\rho_1$ (см. рис. 3).

Задание:

1) Собрать установку ВЭЗ.
2) Выполнить измерения ΔU и I для следующих разносов питающей и приемной линий:

   $AB/2$, см : 1,5; 2,0; 3,0; 4,5; 4,5; 7.0; 7,0; 10,0; 15,0.

   $MN/2$, см : 0,5; 0,5; 0,5; 0,5; 1,5; 0,5; 1,5; 1,5; 1,5.

   Одновременно с измерениями построить кривую зондирования.
3) Выполнить монтаж кривой зондирования.
4) По кривой зондирования определить сопротивление верхнего слоя ρ_1 и его мощность h_1 двумя способами: по тоске пересечения асимптот и по точке отрыва.

Лабораторная работа № 17 (автор Редозубов А.А.)

Симметричное электрическое профилирование на модели

В электрическом профилировании измерения выполняются с установкой одинакового размера, перемещающейся по пикетам профиля. В этом случае глубина исследования в разных точках примерно одинакова. Результаты измерений позволяют получить информацию об изменении удельного сопротивления горных пород вдоль профиля. По результатам измерений в каждой точке вычисляется кажущееся сопротивление $\rho_к$, а затем строится график $\rho_к$ по профилю.

Область применения электропрофилирования – геологическое картирование и поиски локальных объектов, отличающихся от вмещающей среды по удельному сопротивлению. Наиболее благоприятными для поисков являются крутопадающие пластообразные и линзообразные тела. Иногда электропрофилирование применяют в структурной геофизике для изучения рельефа кровли опорного горизонта.

Существует больше десятка модификаций электропрофилирования, различающихся типом применяющихся установок. Одной из самых простых модификаций по технологии проведения полевых работ и интерпретации результатов является симметричное профилирование. В СЭП, как следует из его названия, используется симметричная установка. В этой установке питающие заземления А и В и приемные электроды М и N располагаются симметрично относительно центра О. Результаты измерений относятся к центру установки, который является точкой записи. Симметричное профилирование может применяться как с одним размером установки, так и с двумя, а иногда и с тремя разносами питающих заземлений. Результаты измерений с несколькими разносами питающих электродов при благоприятных условиях позволяют раделить выявленные аномалии по относительной глубине залегания вызвавших их объектов (получается минизондирование) (рис. 1).

Порядок измерений

В лабораторной работе предлагается выполнить моделирование симметричного профилирования с двумя разносами питающей линии в ванне, заполненной влажным песком. В песке помещены модели проводящих и плохо проводящих объектов, расположенных на различной глубине. На перемещающейся по направляющей рейке каретке установлены две пары питающих электродов (линии АВ и А′В′) и электроды общей приемной линии MN (рис. 2). Результаты измерений относятся к центру приемной линии. Для привязки точек измерений на рейке нанесены деления – "пикеты".

Для измерений можно использовать любую аппаратуру постоянного или низкочастотного переменного тока. На рис. 2 показана схема измерений с аппаратурой АНЧ-3. Чтобы избежать переключения генератора на каждой точке с одной питающей линии на другую, в лабораторных условиях целесообразно выполнить измерения по всему профилю сначала с одним, а затем с другим разносом питающих электродов.

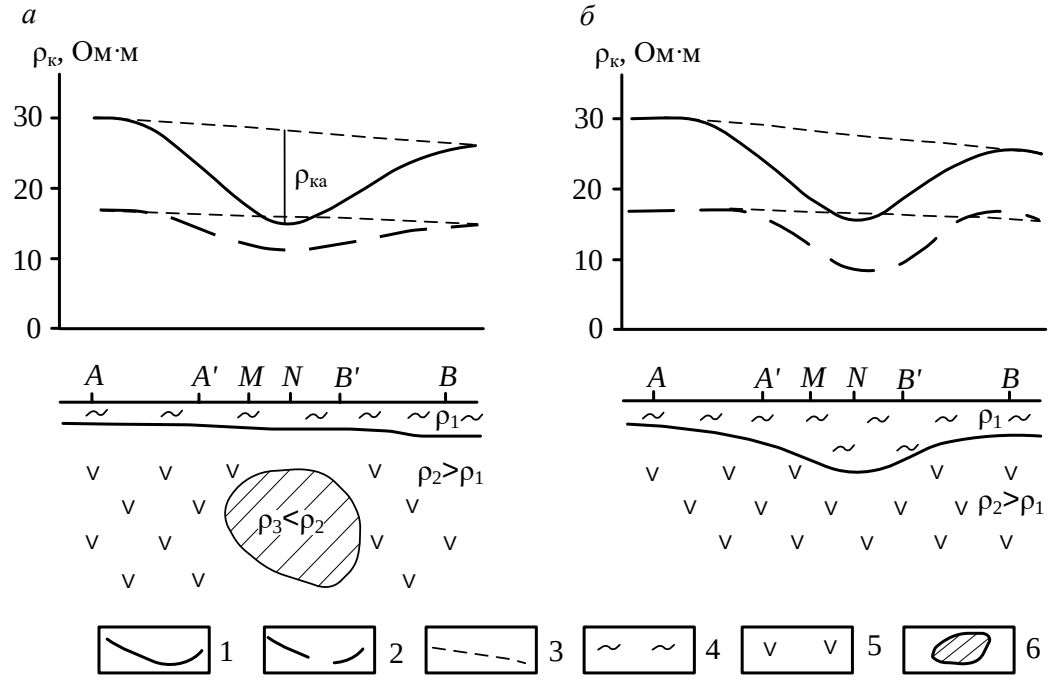


Рис. 1. Вид аномалий $\rho_к$ в двухразносном профилировании над глубинным проводящим объектом (*а*) и карманом наносов (*б*): 1 – графики $\rho_к$ для установки *AMNB*; 2 – то же для установки *A'MNB'*; 3 – графики $\rho_к$ нормального поля (фоновые); 4 – рыхлые отложения; 5 – коренные породы; 6 – локальный проводящий объект

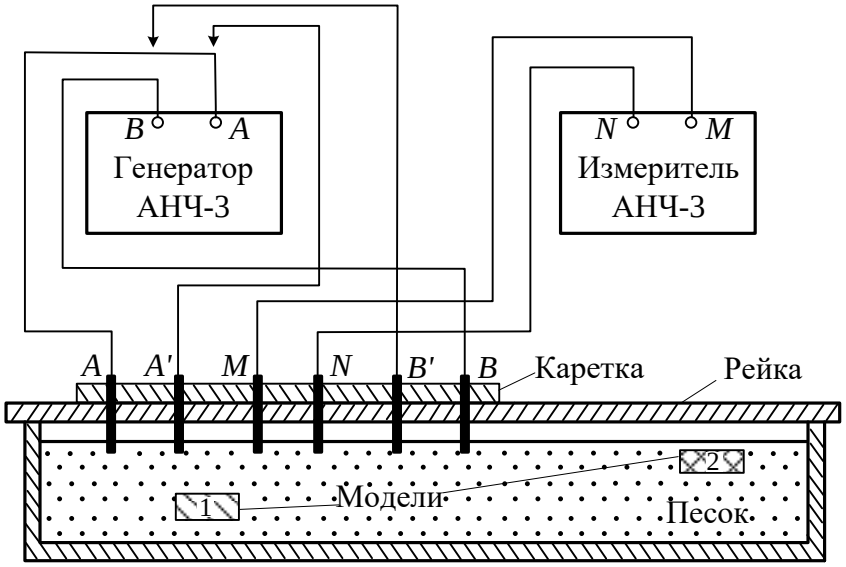


Рис. 2 Схема лабораторной установки по методу СЭП

Если используется аппаратура ЭРА-В-ЗНАК или другая подобная аппаратура переменного тока, схема измерений аналогична схеме с АНЧ-3. Схема измерений с аппаратурой постоянного тока приведена на рис. 2.

Поставив установку на начальную точку профиля, измеряют разность потенциалов ΔU для разноса, к которому подключен генератор. Сила тока I генератора АНЧ-3 стабилизирована, поэтому измерять ее не нужно. Если используется аппаратура, ток которой не стабилизирован, измеряют силу тока в питающей линии.

Выполнив измерения на точке, рассчитывают кажущееся сопротивление:

$$\rho_к = K\frac{\Delta U}{I} = \pi\frac{(AB/2)^2 - (MN/2)^2}{MN}\cdot\frac{\Delta U}{I}. \quad (1)$$

Затем перемещают установку на следующую точку и снова выполняют измерения. Закончив измерения с одной установкой, переключают генератор на другую питающую линию и повторяют измерения по профилю.

Если в процессе измерений наблюдаются резкие незакономерные изменения $\rho_к$, выполняют повторные измерения. В случае расхождения результата второго измерения с первым более, чем на 5%, выполняют третье измерение и принимают среднее значение из двух сходящихся результатов. Результаты повторных измерений записывают в отдельных строках журнала, отмечая в графе "примечания", что это повторные измерения.

После окончания измерений на 2–3 точках, расположенных в разных частях профиля, выполняют контрольные измерения. Результаты контрольных измерений записывают в отдельных строках журнала с отметкой в графе "примечания", что это контрольные измерения.

Порядок обработки и интерпретации результатов

Результаты измерений представляются в виде графиков кажущегося сопротивления по профилю. Для обоих размеров установки графики следует строить в одной системе координат в одинаковом масштабе.

По графикам $\rho_к$ выделяют аномалии от локальных объектов. По знаку аномалий определяют сопротивление объектов по отношению к вмещающей среде. Приближенное положение контактов объектов определяют по полумаксимуму $\rho_к$.

Задание:

5) Собрать установку СЭП.
6) Выполнить измерения ΔU на точках профиля.
7) Рассчитать $\rho_к$ для каждой точки профиля и построить кривую $\rho_к$.
8) По кривой $\rho_к$ определить положение объектов различного сопротивления и глубину их залегания.
9) С помощью щупа определите реальное положение объектов и глубину их залегания. Фактическое положение объектов покажите под графиками $\rho_к$ и сравните его с результатами интерпретации.

Лабораторная работа № 18

Изучение геологического разреза по данным симметричного электропрофилирования на двух разносах

Симметричное электрическое профилирование (СЭП) представляет собой одну из наиболее простых и распространенных модификаций электроразведки постоянным током. Для работ методом СЭП применяется 4-х электродная симметричная установка *AMNB*, состоящая из двух питающих электродов *A* и *B* и двух приемных *M* и *N*, расположенных по одной линии симметрично относительно центра установки. В процессе измерений расстояние между электродами не меняется, а вся установка переносится по профилю на определенный интервал, называемый шагом профилирования. Шаг профилирования чаще всего берут кратным *MN*.

Установка *AA'MNB'B* состоит из двух четырехэлектродных установок *AMNB* и *A'MNB'*, имеющих один разнос приемных электродов *MN*. Наличие второй пары питающих электродов позволяет на каждой точке профиля получать значение $\rho_к$ для двух разных глубин. Это дает возможность делать заключение не только об изменении $\rho_к$ по горизонтальному направлению, но и по вертикали.

Влияние двух геологических структур в разрезе на особенности распределения сопротивления, полученного установкой *AA'MNB'B* показано на рис. 1. Одна структура типа синклинали заполнена хорошо проводящими породами, другая (антиклиналь) имеет хорошо проводящие породы в ядре.

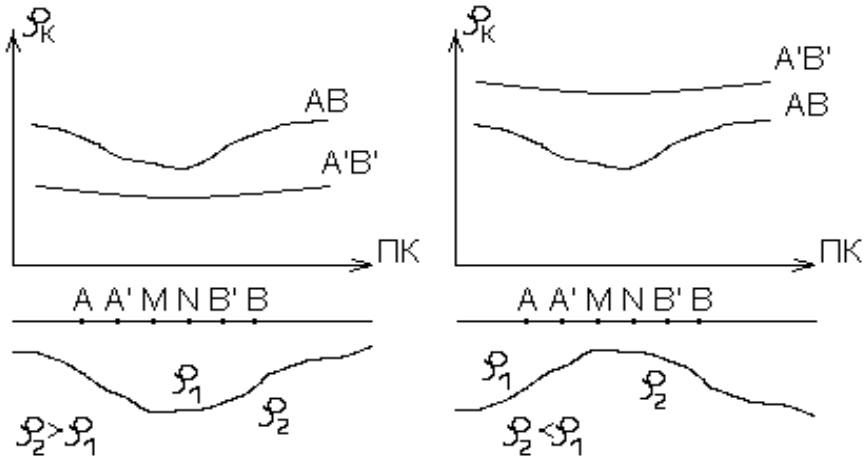


Рис. 1. Графики электропрофилирования установкой AA'MNB'B над синклиналью и антиклиналью

Над этими структурами графики $\rho_к$, полученные установкой *AMNB* (сплошная линия) одинаковы. Местоположение синклинали и антиклинали отмечаются минимумами $\rho_к$. Эта неоднозначность решения обратной задачи исчезает, если провести профилирование с установкой *AA'MNB'B*. Над синклиналью значение $\rho_к$. для малого разноса *A'B'* будут меньше $\rho_к$. для большого разноса *AB*. Над антиклиналью будет отмечаться обратное соотношение величин $\rho_к$. для

разносов *A'B'* и *AB*. Таким образом, применение установки с двумя разносами питающей линии в данном случае исключает неоднозначность интерпретации результатов профилирования.

Задание

Вариант 1

Исходные данные

На одном из участков выполнено симметричное электрическое профилирование *AA'MNB'B*. Разнос питающих электродов *A*, *B* большой установки равен 1000 м, разнос электродов *A'* и *B'* малой установки равен 200 м. Шаг наблюдения по профилю – 50 м. Протяженность профиля 2,5 км. Линия профиля проходит в направлении предполагаемой антиклинальной структуры, сложенной известняками. Предполагается, что профиль пересекает погребенную долину, выполненную аллювием. Эта долина обнаружена на соседнем участке с мощностью аллювия до 60 м. Верхняя часть разреза представлена суглинками и глинами. Удельное сопротивление этих пород, полученное по данным параметрических измерений, составляет 20-30 Ом*м. Результаты измерений с установкой *AA'MNB'B* представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения $\rho_к$. при *AB* = 1000 м и *A'B'* = 200 м

Номера пикетов	$\rho_к$., Ом*м.		Номера пикетов	$\rho_к$., Ом*м.	
	AB = 1000 м	*A'B'* = 200 м		*AB* = 1000 м	*A'B'* = 200 м
0	25	23	26	25	28
1	26	25	27	25	27
2	27	24	28	23	26
3	27	28	29	26	26
4	29	30	30	31	27
5	28	26	31	37	35
6	30	28	32	57	56
7	32	30	33	95	78
8	37	36	34	122	105
9	41	48	35	158	114
10	47	65	36	190	139
11	60	100	37	212	147
12	88	124	38	214	150
13	105	139	39	206	142
14	121	165	40	175	130
15	127	195	41	155	89
16	115	188	42	125	64
17	100	128	43	105	48
18	92	100	44	80	40
19	81	70	45	50	35
20	60	55	46	32	28
21	40	37	47	26	26
22	35	32	48	26	25
23	32	30	49	25	24
24	30	28	50	26	26
25	28	25			

Требуется *определить* геологическую природу выявленных аномалий и построить схематический разрез вдоль профиля.

Порядок выполнения задачи

1. По данным табл. 1 построить на миллиметровке графики $\rho_к$. для разноса AB = 1000 м (сплошная линия) и $A'B'$ = 200 м (пунктирная линия). Масштаб построения графиков: горизонтальный 1:10000, вертикальный 1 см – 20 Ом*м.
2. Определить соответствие аномалий на графиках $\rho_к$. геологическим особенностям строения разреза (переуглубление с аллювием или антиклинальное поднятие, выполненное известняками).
3. Построить под графиком схематический геологический разрез.

Вариант 2

Исходные данные.

В пределах одного участка, сложенного карбонатными породами (известняки, доломиты) предполагается наличие в разрезе двух геологических объектов. Первый из них связан с поверхностными карстовыми проявлениями. В этом случае в карбонатных породах образуются депрессии, заполненные рыхлыми отложениями (пески, глины, суглинки). Второй – подземные карстовые полости, залегающие на глубинах 20-30 м, заполненные обводненным глинистым материалом с обломками карбонатных пород.

Проведенные работы методом электропрофилирования по схеме *AMNB* показали, что оба объекта отмечаются на графиках минимума $\rho_к$. Для однозначной геологической интерпретации аномалий были выполнены измерения установкой *AA'MNB'B* с разносами питающих линий AB = 100м, $A'B'$ = 20 м. Шаг наблюдения по профилю – 10 м.

Удельное сопротивление карбонатных пород, полученное по данным бокового каротажного зондирования, изменяется от 1000 до 2000 Ом*м. Удельное сопротивление пород, заполняющих карстовые полости варьируется от 100 до 200 Ом*м. Результаты измерений с установкой *AA'MNB'B* представлены в таблице 2.

Требуется *определить* геологическую природу выявленных аномалий и построить схематический разрез вдоль профиля.

Порядок выполнения задачи

1. По данным табл. 4 построить на миллиметровке графики $\rho_к$. для разноса AB = 100 м и $A'B'$ = 20 м. Масштаб построения графиков: горизонтальный 1:2000, вертикальный 1 см – 200 Ом*м.
2. Определить, какие из выявленных аномалий обусловлены погребенной карстовой полостью и какие – поверхностными карстовыми образованиями.
3. Построить под графиком схематический геологический разрез.

Таблица 2

Значения $\rho_к$. при AB = 1000 м и $A'B'$ = 200 м

Номера пикетов	$\rho_к$., Ом*м.		Номера пикетов	$\rho_к$., Ом*м.	
	АВ = 100 м	А'В' = 20 м		АВ = 100 м	А'В' = 20 м
0	1700	1600	26	1680	1550
1	1650	1590	27	1740	1690
2	1680	1610	28	1700	1600
3	1700	1600	29	1650	1600
4	1720	1650	30	1700	1650
5	1730	1690	31	1800	1750
6	1690	1700	32	1750	1700
7	1750	1750	33	1700	1600
8	1650	1700	34	1650	1400
9	1200	1450	35	1500	1200
10	1000	1400	36	1490	900
11	970	1350	37	1400	730
12	900	1300	38	1200	700
13	850	1200	39	1070	650
14	800	1180	40	1100	780
15	830	1000	41	1150	800
16	840	1050	42	1300	980
17	800	1100	43	1450	1200
18	900	1200	44	1600	1450
19	1000	1400	45	1580	1600
20	1100	1430	46	1650	1550
21	1180	1500	47	1700	1600
22	1600	1600	48	1700	1650
23	1700	1650			
24	1700	1650			
25	1600	1580			

Лабораторная работа № 19

Интерпретация результатов полевых наблюдений по методу заряженного тела

Метод заряженного тела (МТЗ) основан на изучении потенциала или градиента потенциала постоянного (или низкочастотного) поля, создаваемого точечным источником, заземленным в скважине или горной выработке.

Метод применяется для прослеживания и оконтуривания ранее выявленных хорошо проводящих рудных объектов, а также для решения гидрогеологических задач.

Гидрогеологический вариант метода предназначен для определения направления и скорости движения подземных вод при наличии одной скважины. Данные полевых наблюдений в этом случае представляются в виде плана изолиний потенциала, полученного в результате измерений вдоль лучевых профилей над скважиной, в которую до водоносного горизонта опущен один из питающих электродов с электролитом. Пример плана изолиний показан на рис. 1.

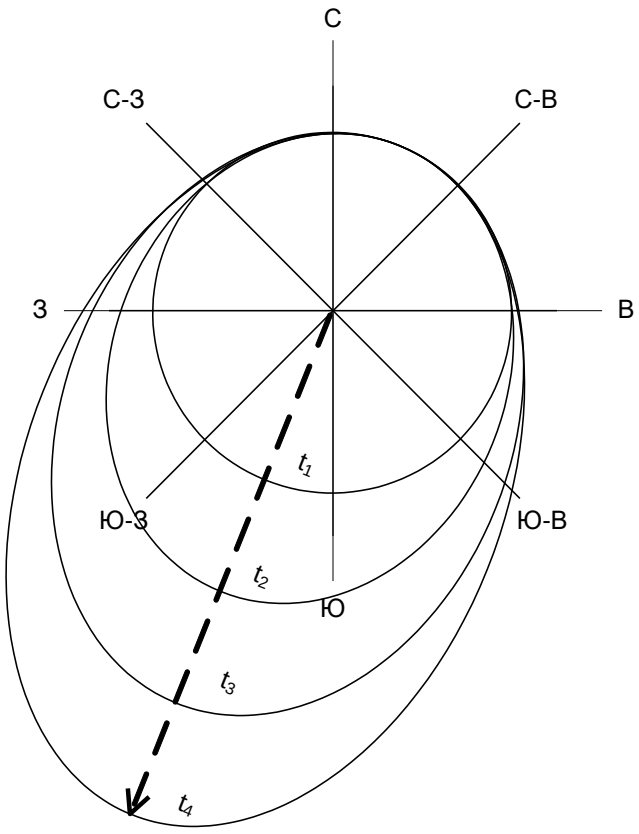


Рис. 1. План изолиний потенциала над засоленной скважиной

Определение направления движения подземного потока и его скорости производится следующим образом:

1) По плану изолиний определяется направление (азимут) максимального смещения изолиний. Для этого можно построить график, по оси абсцисс которого откладывается азимут в градусах, а по оси ординат – приращение радиусов изолиний в метрах (ΔR) по отношению к исходной изолинии, наблюденной непосредственно после засоления скважины и представляющей собой, как правило, фигуру, близкую к окружности. Число кривых ΔR соответствует числу наблюденных изолиний. Пример такого графика приведен на рис. 2. Азимут направления движения подземного потока определяется как средняя абсцисса для максимумов кривых ΔR.

2) Для определения скорости подземного потока V вычисляется отношение максимального смещения изолинии ΔR_{max} по направлению пото-

ка ко времени Δt, за которое это смещение произошло:

$$V = \Delta R / \Delta t \qquad (1)$$

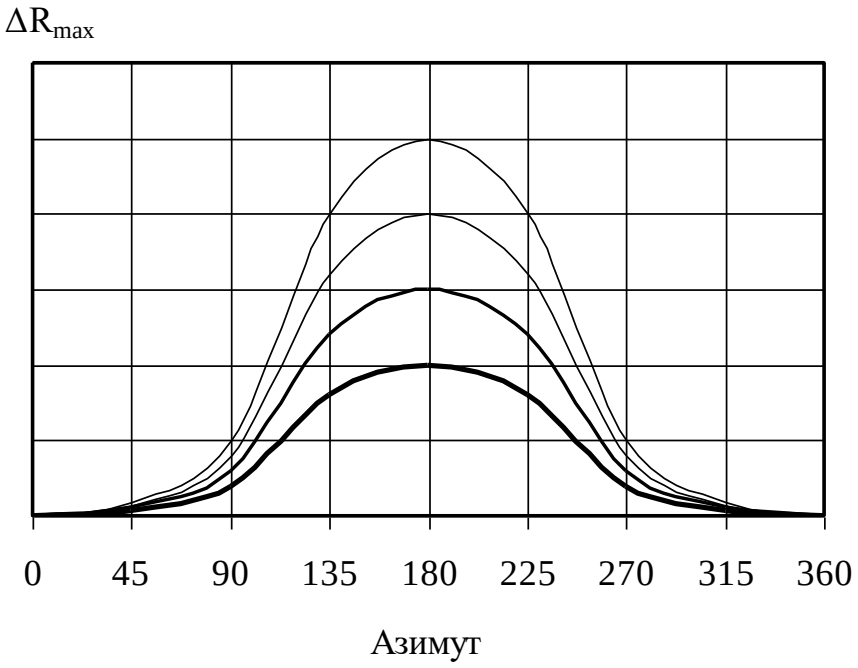


Рис.2. Графики смещения изолиний ΔR в зависимости от азимута профиля наблюдений

Среднее значение V можно получить, построив график зависимости ΔR_{max} от времени t. При малых временах ΔR_{max} меняется в зависимости от времени не линейно, возрастая с увеличением t, что объясняется постепенностью растворения соли в воде. При больших временах график зависимости ΔR_{max} от времени выходит на линейную асимптоту, соответствующую скорости переноса засоленной области потоком подземных вод. Эту часть графика и используют для расчета скорости по формуле (1).

Задание

По выданным преподавателем результатам полевых наблюдений методом заряженного тела над засоленной скважиной определить в соответствии с вышеизложенной методикой направление и скорость движения подземного потока.

Построить график смещения изолиний в зависимости от азимута профиля наблюдений (рис. 2).

Интервал времени между измерениями Δt принять равным 2 часа.

Масштаб плана изолиний потенциала над засоленной скважиной 1:2000.

Учебное издание

Александрова Жанна Николаевна

ПРАКТИКУМ ПО РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

Руководство по выполнению практических работ
по дисциплине «Разведочная геофизика» для студентов
специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки»
очной и заочной формы обучения

Часть 1

Редактор _____
Компьютерная верстка автора

Подписано в печать ___ . ___ . 2018 г.
Бумага писчая. Формат 60 х 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. _____. Уч.-изд. л. _____. Тираж 100. Заказ _____

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Упоров

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА
ПО РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

Специальность:

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Александрова Ж. Н.

Екатеринбург

2020

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

Ж. Н. Александрова

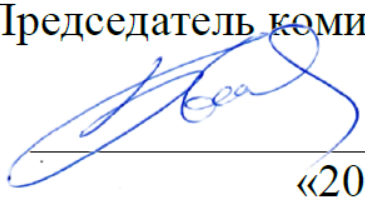
КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

Руководство по выполнению контрольной работы
по дисциплине «Разведочная геофизика» для студентов
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Екатеринбург
2020

ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

Ж. Н. Александрова

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

Руководство по выполнению контрольной работы
по дисциплине «Разведочная геофизика» для студентов
специальности 21.05.03 Технология геологической разведки
очной и заочной формы обучения

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

УДК 550.83
А46

Рецензент: Писецкий В.Б., д-р геол.-мин. наук, профессор,
заведующий кафедрой геоинформатики УГГУ

Александрова Ж.Н.

А46 Контрольная работа по разведочной геофизике: руководство по выполнению контрольной работы по дисциплине «Разведочная геофизика» для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки очной и заочной формы обучения. / Ж.Н. Александрова; Уральский гос. горный ун-т. – Екатеринбург: изд-во УГГУ, 2020. – 29 с.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Технология геологической разведки»

© Александрова Ж.Н., 2018
© Уральский государственный горный университет, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1. **Общие указания** ……..… 5

2. **Требования к содержанию и оформлению контрольной работы .....**… 6

3. **Критерии оценки контрольной работы** …….....…… 8

4. **Варианты заданий** …… 9

5. **Список рекомендованной литературы** …….. 29

1. Общие указания

Учебным планом специальности «Технология геологической разведки» предусматривается написание контрольной работы по дисциплине «Разведочная геофизика».

Перечень заданий разрабатывается преподавателем. Задание во всех вариантах направлено на выбор способа (способов) решения конкретной геологической задачи. В качестве исходных данных каждому студенту выдается краткое описание геологического строения месторождения полезного ископаемого, его геологический разрез и таблица физических свойств горных пород, слагающих разрез.

Формулировка задания:

для поиска месторождения указанного типа (согласно варианту), определения его размеров и глубины залегания

1. выбрать рациональный комплекс геофизических методов и привести его обоснование;
2. сформулировать задачи, которые будут решены выбранными методами и привести обоснование;
3. определить ориентировочный шаг съемки для каждого метода и привести расчеты;
4. выбрать аппаратуру для проведения измерений, обосновать ее выбор, представить краткое описание устройства и принципа действия приборов.

К выполнению контрольной работы можно приступить только тогда, когда будет усвоена определенная часть курса. Контрольная работа выполняется студентами исключительно самостоятельно, согласно настоящей методической инструкции. Ее выполнение способствует углублённому изучению пройденного материала.

Цель выполняемой работы:

проверка способности студентов использовать свои знания, умения и навыки для решения конкретных практических задач.

Основные задачи выполняемой работы:

1) закрепление полученных ранее теоретических знаний;

2) выработка навыков самостоятельной работы;

3) выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Весь процесс написания контрольной работы можно условно разделить на следующие этапы:

- получение задания и составление предварительного плана работы;
- сбор научной информации, изучение литературы;
- анализ составных частей проблемы, выполнение расчетов;

- обработка материала в целом;
- письменное оформление работы.

Подготовку контрольной работы следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций, прочитанных ранее. Приступать к выполнению работы без изучения основных положений и понятий дисциплины не следует, так как в этом случае студент, как правило, плохо ориентируется в материале, не может отграничить смежные вопросы и сосредоточить внимание на основных моментах предложенного задания.

После получения задания необходимо внимательно изучить методические рекомендации по выполнению контрольной работы, составить план работы.

2. Требования к содержанию и оформлению контрольной работы

Оформление текстовой части производится согласно ГОСТ 2.105–95 «Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам».

Все иллюстрации нумеруются сквозной нумерацией (рис. 1, рис. 2, рис. 3 и т.д.). На все рисунки в тексте должны быть сделаны ссылки.

В содержании контрольной работы необходимо показать знание рекомендованной литературы по данной теме, но при этом следует правильно пользоваться первоисточниками, избегать чрезмерного цитирования. При использовании цитат необходимо указывать точные ссылки на используемый источник: указание автора (авторов), название работы, место и год издания, страницы.

Кроме рекомендованной специальной литературы, можно использовать любую дополнительную литературу, которая необходима для выполнения контрольной работы.

В конце контрольной работы приводится полный библиографический перечень использованных источников. Данный список условно можно подразделить на следующие части:

2. Учебники, учебные пособия, методические указания

3. Монографии.

4.Официальные интернет-источники.

Первоисточники даются по алфавиту. Список литературы оформляется согласно ГОСТ 7.1-2003. На все источники, указанные в списке литературы, в тексте должны быть сделаны ссылки. В списке литературы должны приводиться только опубликованные источники. *Не допускается указывать в списке литературы конспект лекций по предмету*!

Оформление библиографических ссылок осуществляется в следующем порядке:

1. Фамилия и инициалы автора (коллектив авторов) в именительном падеже. При наличии трех и более авторов допускается указывать фамилии и инициалы первых двух и добавить «и др.». Если книга написана авторским коллективом, то ссылка делается на название книги и её редактора. Фамилию и инициалы редактора помещают после названия книги.

2. Полное название первоисточника в именительном падеже.

3. Место издания.

4. Год издания.

5. Общее количество страниц в работе.

При использовании цитат необходимо правильно и точно делать внутритекстовые ссылки на первоисточник. Ссылки на используемые первоисточники можно делать в конце цитаты в квадратных скобках.

Структура контрольной работы должна выглядеть следующим образом:

1. Титульный лист.
2. Содержание.
3. Задание.
4. Пояснительная записка с разбивкой на подразделы (по выбору автора):
   а) Введение.
   б) …….
   в) …….
   г) …….
5. Выводы.
6. Список литературы.

Контрольная работа излагается логически последовательно, грамотно и разборчиво. Она обязательно должна иметь титульный лист. Он содержит название высшего учебного заведения, название темы, фамилию, инициалы, учёное звание и степень научного руководителя, фамилию, инициалы автора, номер группы.

На следующем листе приводится содержание контрольной работы с указанием страниц.

Введение должно быть кратким, не более 1 страницы. В нём необходимо отметить цель и задачи, которые ставятся в работе, значение полезного ископаемого, указанного в задании, области его использования, достижения геофизики в области поисков и разведки данного полезного ископаемого и т.д.

Изложение каждого подраздела пояснительной записки необходимо начать с написания заголовка, соответствующему оглавлению, который должен отражать содержание текста. Заголовки от текста следует отделять интервалами. Каждый заголовок обязательно должен предшествовать непосредственно своему тексту. В том случае, когда на очередной страни-

це остаётся место только для заголовка и отсутствует место хотя бы для одной строчки текста, заголовок нужно писать на следующей странице.

Излагая вопрос, каждый новый смысловой абзац необходимо начать с красной строки. Закончить изложение вопроса следует выводом, итогом по содержанию данного подраздела.

Изложение содержания всей контрольной работы должно быть завершено заключением, в котором необходимо дать выводы по написанию работы в целом.

Страницы контрольной работы должны иметь сквозную нумерацию. Номер страницы ставится снизу в правом углу. На титульном листе номер страницы не ставится. Оптимальный объём контрольной работы 8-10 страниц машинописного текста (размер шрифта 12-14) через полуторный интервал на стандартных листах формата А-4, поля: верхнее –20 мм, нижнее –20 мм, левое –30 мм, правое –10 мм.

В тексте контрольной работы не допускается произвольное сокращение слов, кроме общепринятых.

По всем возникшим вопросам студенту следует обращаться за консультацией к преподавателю.

Срок выполнения контрольной работы определяется преподавателем и она должна быть сдана не позднее, чем за неделю до экзамена.

3. Критерии оценки контрольной работы

По результатам проверки контрольная работа оценивается на 0 - 5 баллов.

Списывание контрольной работы даже при правильности ее написания и оформления оценивается на 0 баллов.

Критерий оценки	Количество баллов
Правильность выбора рационального комплекса геофизических методов и убедительность его обоснования	0 – 1 балл
Правильность формулировки перечня задач, которые будут решены выбранными методами и его обоснованность	0 – 1 балл
Правильность определения ориентировочного шага съемки для каждого метода	0 – 1 балл
Правильность выбора аппаратуры для проведения измерений, его обоснованность и краткое описание устройства и принципа действия приборов	0 – 1 балл
Оформление работы	0 – 1 балл

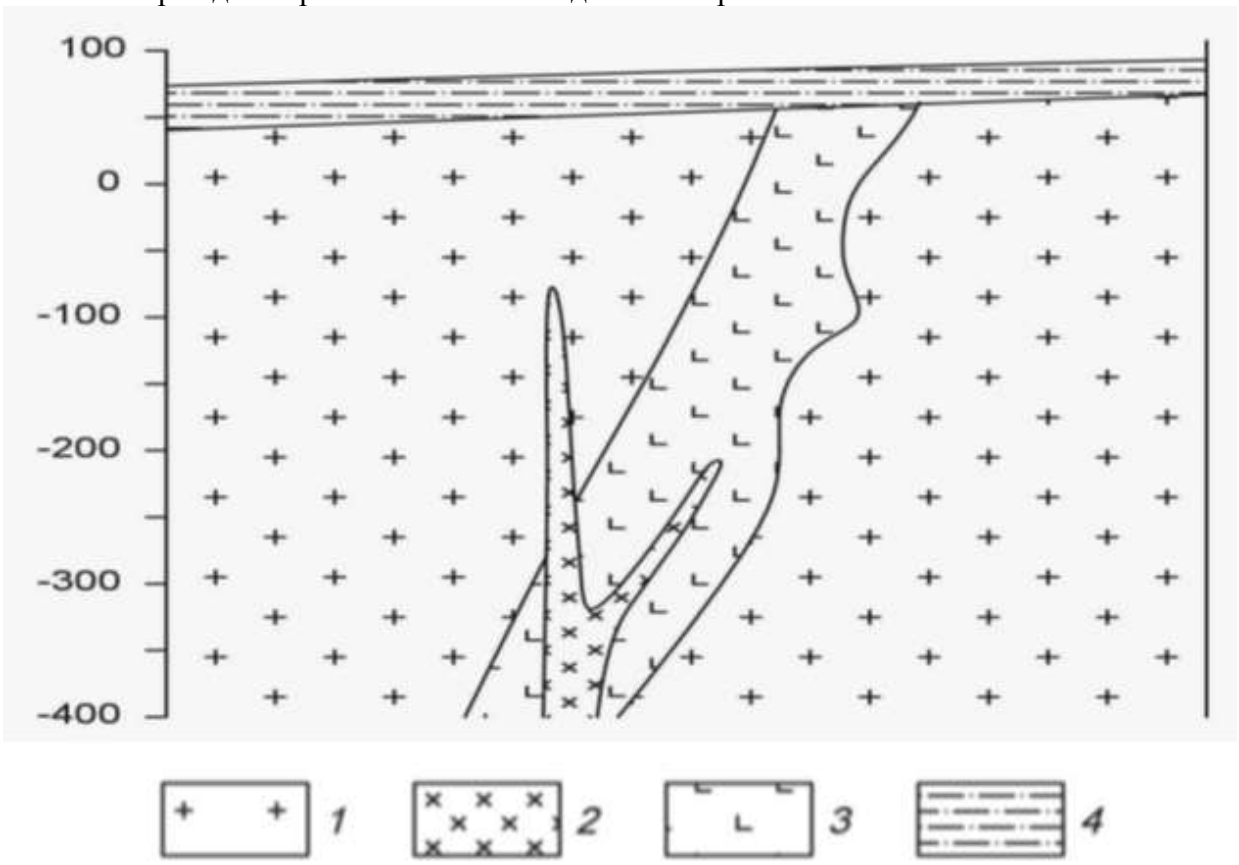
4. Варианты заданий

Вариант 1. **Золото**

Месторождение Красное приурочено к интрузивным образованиям раннего протерозоя, являющимся вмещающими породами для эксплозивных структур, выполненных жерловыми и субвулканическими фациями раннетриасового возраста (см. рис.).

Распределение полезных компонентов в ней имеет неравномерный, столбообразный, линзообразный и гнездовый характер, с наличием раздувов, пережимов и прослоев слабо золотоносных пород в контуре кондиционных руд. Наиболее богатые руды тяготеют к осевой части зоны метасоматитов, где они концентрируются в виде согласных полос. Четких геологических границ обогащенные участки не имеют и выделяются только по данным опробования.

Месторождение расположено в Западной Сибири.



Схематический геологический разрез золоторудного месторождения Красное.
1 – раннепротерозойский среднезернистые порфировидные грани-тоиды, *2* – позднеюрские дайки диоритов, *3* – раннетриасовые гидротермаль-но измененные эруптивные брекчии гранодиорит-порфиров, *4* – четвертич-ные отложения, представленные суглинками.

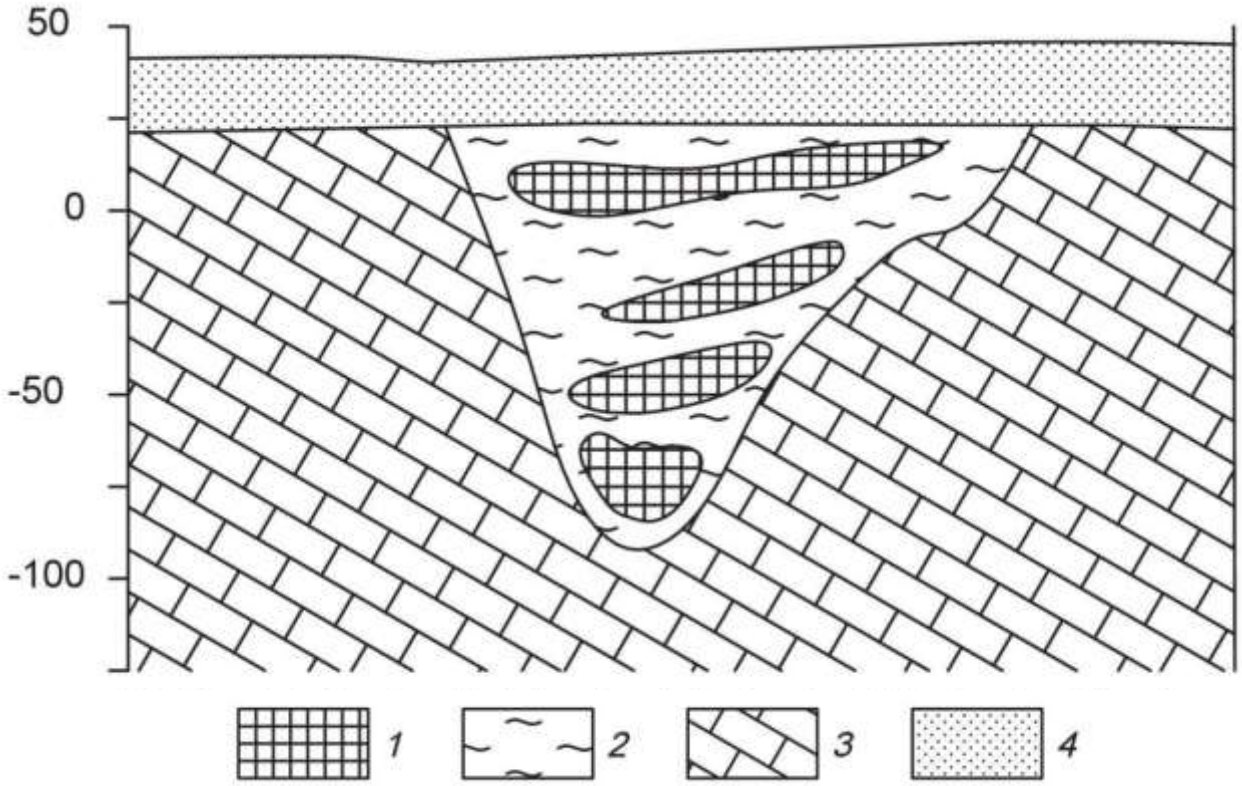
Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Порфировидные гранитоиды	200	2,69	3000
2.	Диориты	3000	2,81	4000
3.	Эруптивные брекчии грано-дирорит-порфиров	350	2,45	100
4.	Суглинки	85	1,97	180

Вариант 2. **Бокситы**

Месторождение бокситов относится к карстовому типу. Тела бокситов приурочены к древним карстовым воронкам в карбонатных породах верхнего протерозоя, и состоят из нескольких разностей (см. рис.). Карстовые воронки заполнены рыхлыми и глинистыми бокситами, в которых встречаются каменистые разности. Каменистые бокситы имеют небольшие размеры и линзообразную, гнездовидную форму. Сверху залегают четвертичные перекрывающие отложения, представленные песками и супесями.

Месторождения данного типа развиты на Енисейском кряже.



Схематический геологический разрез месторождения бокситов.
1 – бокситы каменистые, *2* – глинистые бокситы, *3* – известняки, *4* – пески, супеси.

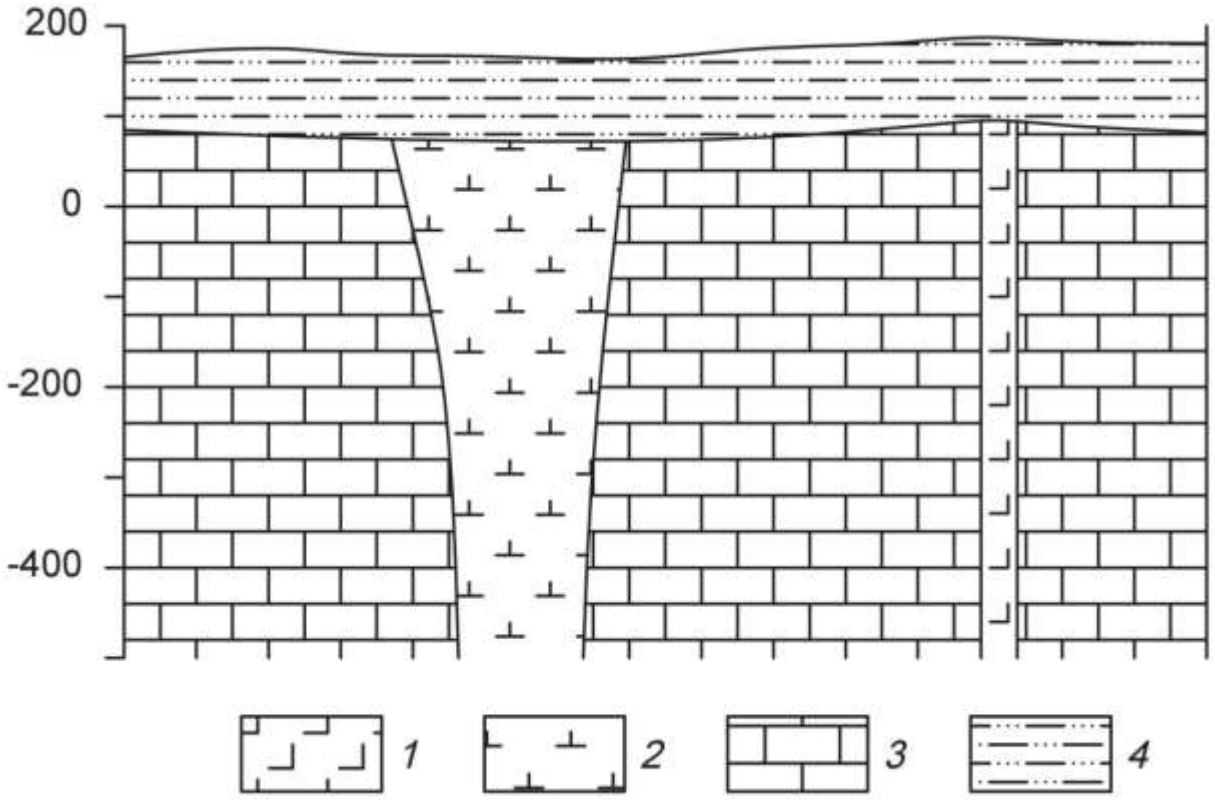
Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Бокситы каменистые	200	3,1	240
2.	Бокситы глинистые	150	2,22	120
3.	Известняки	30	2,62	1000
4.	Пески, супеси	27	1,80	450

Вариант 3. **Алмазы**

Коренные месторождения алмазов связаны с кимберлитовыми трубка-ми взрыва. Кимберлитовые тела локализуются в зонах растяжения, связанных с узлами пересечения разломов. Вмещающими для кимберлитов породами являются карбонатные отложения кембрия и ордовика (см. рис.). На площади широко распространены дайки долеритов. Кимберлиты и вмещающие породы перекрыты юрскими песчано-глинистыми отложениями.

Кимберлитовое тело находится в Мало-Ботуобинском алмазоносном районе на западе Якутии.



Схематический геологический разрез кимберлитовой трубки.
1 – долериты, *2* – кимберлиты, *3* – известняки, *4* – песчано-глинистые отложения.

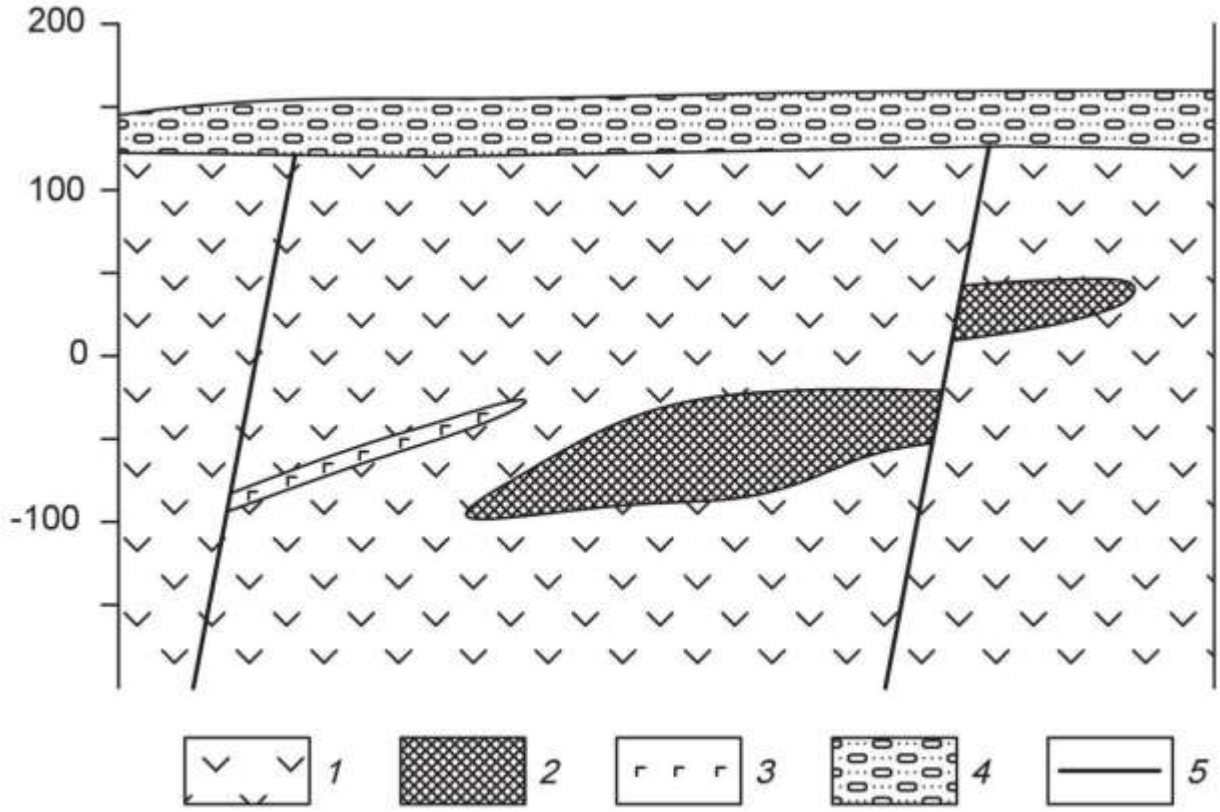
Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Долериты	2800	2,95	8000
2.	Кимберлиты	90	2,40	200
3.	Известняки	20	2,60	2000
4.	Глины, суглинки	45	2,00	80

Вариант 4. **Хром**

Рудные тела сложены густовкрапленными, почти сплошными хромитами (см. рис.). Они имеют субмеридиональное простирание и пологое субгоризонтальное залегание. Тела пересекаются сбросовыми тектонически-ми нарушениями, круто падающими на юг и юго-запад под углами 70-80°. Амплитуда сбросов составляет 5 – 30 м. Непосредственно вмещающие поро-ды представлены серпентинизированные дуниты или серпентиниты, разви-тые по дунитам. Контакты рудных тел с вмещающими породами резкие. Вмещающие породы и рудные тела перекрыты мезо-кайнозойскими конгломератами.

Месторождение приурочено к Кемпирсайскому хромитоносному мас-сиву (Республика Казахстан).



Схематический геологический разрез хромитового месторождения.
1 – дуниты, *2* – хромитовые руды, *3* – габбро-диабазы, *4* – конгломераты.

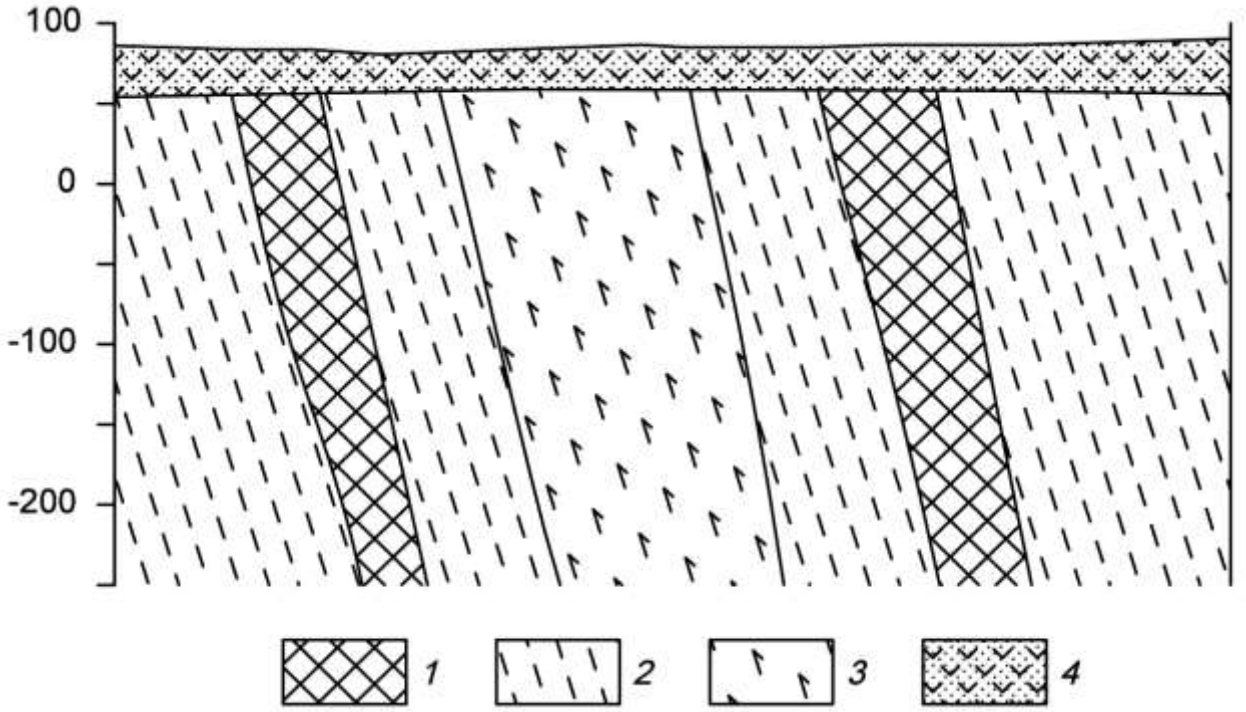
Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см3	ρ, Ом·м
1.	Дуниты	900	2,96	980
2.	Хромитовые руды	270	3,80	300
3.	Габбро-диабазы	300	3,00	580
4.	Конгломераты	50	2,21	900

Вариант 5. **Железо**

Месторождение железных руд имеет моноклинальную структуру (см. рис.). Рудная зона представлена двумя параллельными вытянутыми линзообразными телами железистых кварцитов, расположенных друг от друга на небольшом расстоянии. Простирание рудных тел и вмещающей их толщи гнейсов северо-восточное. Протяженность рудных тел по простиранию достигает 2 – 2,5 км. Перекрывающие отложения представлены туфо-песчаниками.

Месторождение находится на юге Якутии.



Схематический геологический разрез железорудного месторождения.
1 – железистые кварциты, *2* – гнейсы, *3* – амфиболиты, *4* – туфопесчаники.

Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Железистые кварциты	10000	3,45	300
2.	Гнейсы	2150	2,72	1000
3.	Амфиболиты	1900	3,06	4000
4.	Туфопесчаники	900	2,15	500

Вариант 6. Медь

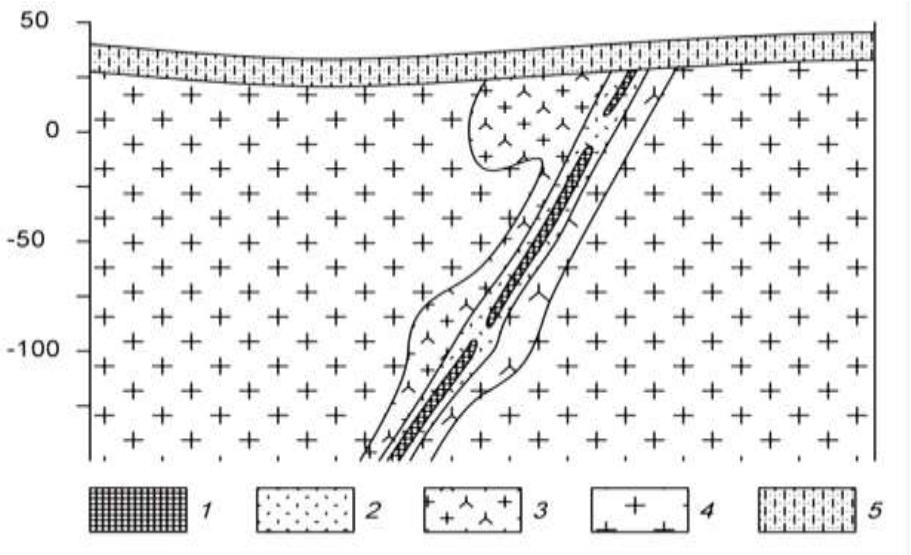
Кварц-сульфидное месторождение меди расположено в северо-западной части атиклинория, в эндоконтакте крупного батолита, сложенного гранитоидами. Основными структурными элементами месторождения являются, так называемые, рудные зоны – сложно построенные рудовмещающие трещинные структуры субмеридионального или северо-восточного простирания, секущие гранитоиды. Длина таких зон колеблется от нескольких сотен метров до первых километров.

Строение всех рудных зон однотипно. В осевой части проходит главный тектонический шов, выраженный милонитом мощностью от 5 – 10 см до 1 – 2 м. Шов состоит из ряда параллельных, часто кулисообразно расположенных трещин сложной формы.

Основные, наиболее крупные и выдержанные промышленные рудные тела располагаются вдоль главных швов рудных зон. Длина рудных тел по простиранию и падению колеблется от первых сотен метров до километра, мощность от первых до десятков метров.

Внутреннее строение рудных тел сложное. В пределах их выделяются жилы и линейные прожилково-вкрапленные зоны (см. рис.). В осевой части тел, как правило, располагаются жилы, сложенных кварц-магнетит-халькопиритовыми рудами, представляющими основную ценность. Жилы имеют четки контакты, часто ветвятся и имеют раздувы и пережимы. Линейные прожилково-вкрапленные зоны представляют собой гидротермально измененные гранитоиды, разбитые гутой сетью различно ориентированных кварц-кальцит-халькопиритовых и кварц-магнетит-халькопиритовых прожилков. В промежутках между прожилками наблюдается неравномерно распределенная вкрапленность.

Месторождение находится на юге Казахстана.



Схематический геологический разрез кварц-сульфидного медного месторождения.
1 – кварц-магнетит-халькопиритовые руды, *2* – прожилково-вкрапленные руды, *3* – гидротерамально измененные граниты, *4* – биотитовые граниты, 5 – известковистые песчаники.

Петрофизические свойства

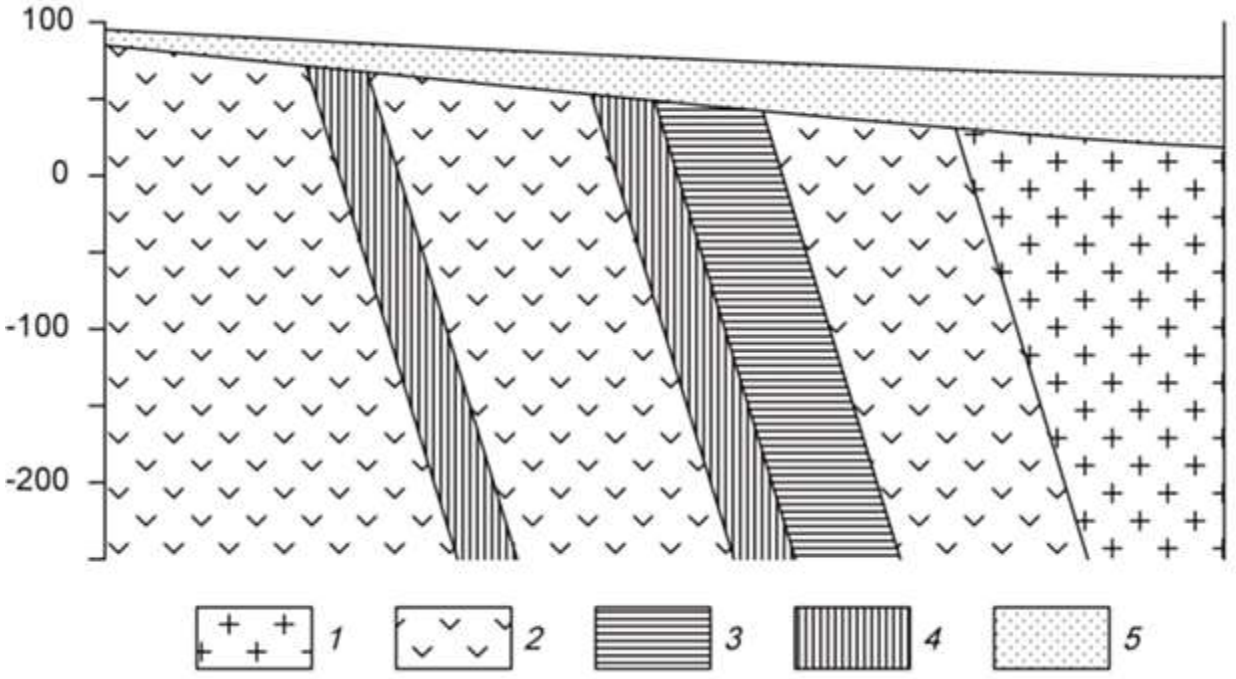
№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Кварц-магнетит-халькопиритовые руды	1300	2,68	1000
2.	Прожилково-вкрапленные руды	500	2,60	1300
3.	Гидротерамально измененные граниты	400	2,55	2300
4.	Биотитовые граниты	370	2,59	2500
5.	Известковистые песчаники	50	2,53	1300

Вариант 7. **Титан**

Месторождение титана магматического типа приурочено к массиву габбро северо-восточного простирания. Согласно с полосчатостью габбро залегают ильменитовые и титано-магнетитовые руды (см. рис.). Преобладают вкрапленные руды, для которых характерна сидеронитовая структура. Внутри зон вкрапленных руд встречаются линзочки сплошных. Границы рудных тел не четкие, переходы от рудных участков к безрудным – постепенные. Рудные тела и вмещающие породы перекрыты элювиальными отложениями песчано-глинистого состава.

Титаномагнетит в сплошных и вкрапленных рудах обогащен титаном (до 13,4 % TiO_2), также в нем встречаются пластинчатые включения ильменита. В сплошных рудах в основном присутствует титаномагнетит, а количество зерен ильменита не превышает 3-5%.

Месторождение расположено на Южном Урале.



Схематический геологический разрез месторождения титана.
1 – граниты, *2* – габбро мезо- и меланократовое, *3* – вкрапленные ильменитовые руды, *4* – вкрапленные титаномагнетитовые руды, 5 – элювиальные отложения.

Петрофизические свойства

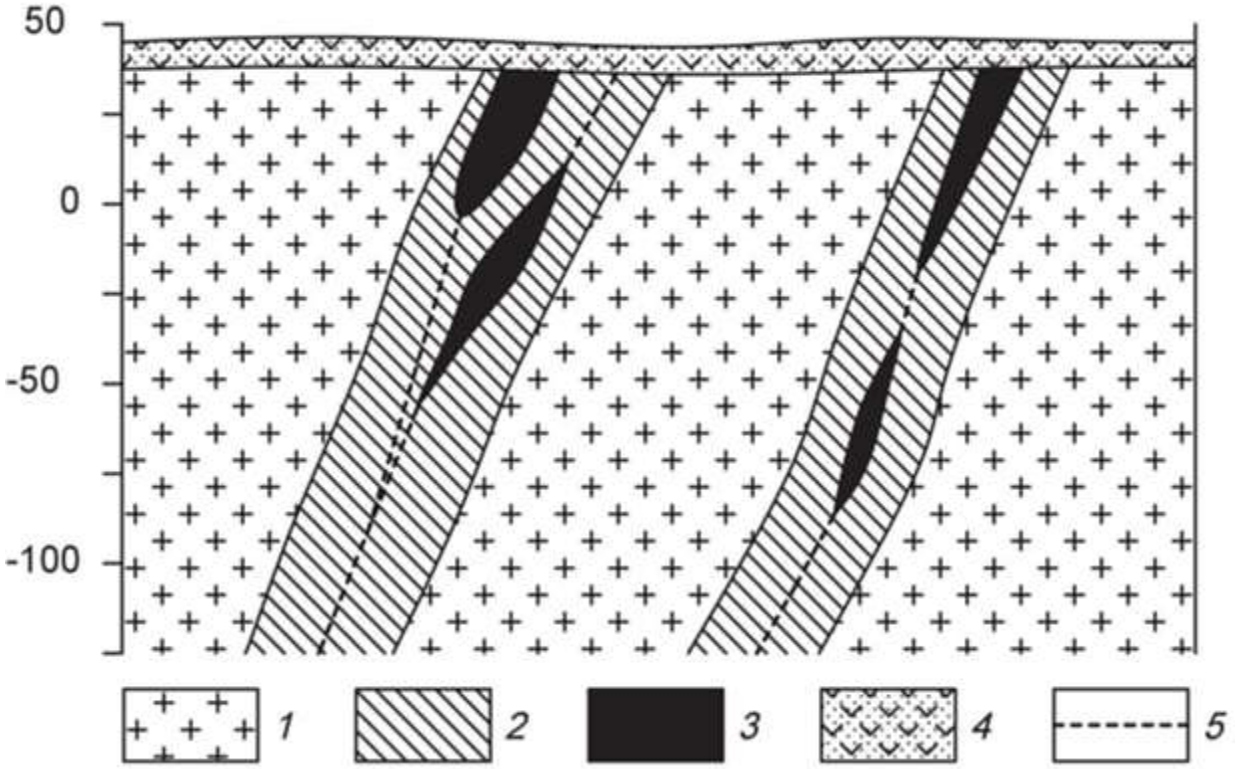
№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Граниты	370	2,58	3000
2.	Габбро	1800	2,95	5000
3.	Вкрапленные ильменитовые руды	1900	3,51	2000
4.	Вкрапленные титаномагнетитовые руды	2400	3,45	1500
5.	Элювиальные отложения	120	2,00	800

Вариант 8. **Вольфрам**

Скарновое месторождение вольфрама приурочено к зонам альбитиза-ции в гранодиоритах. Рудные тела представляют собой зоны метасоматически преобразованных силикатных пород (см. рис.). Альбитизация либо наложена на более ранние скарны, либо образует самостоятельные зоны. Рудные тела приурочены к системам крутопадающих минерализованных трещин, среди которых выделяется основной разлом и оперяющие нарушения.

Полезным компонентом в метасоматически преобразованных породах является шеелит. Шеелит образует неравномерную вкрапленность, прожилки и гнезда.

Месторождение находится в Таджикистане.



Схематический геологический разрез месторождения вольфрама.
1 – гранодиориты, *2* – зона интенсивной альбитизации, *3* – рудные тела, *4* – перекрывающие вулканогенно-осадочные толщи, 5 – тектонические нарушения.

Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Гранодиориты	300	2,71	4000
2.	Скарноиды альбитизированные	270	2,65	3500
3.	Рудные тела	320	2,74	1500
4.	Вулканогенно-осадочные породы	320	2,35	1000

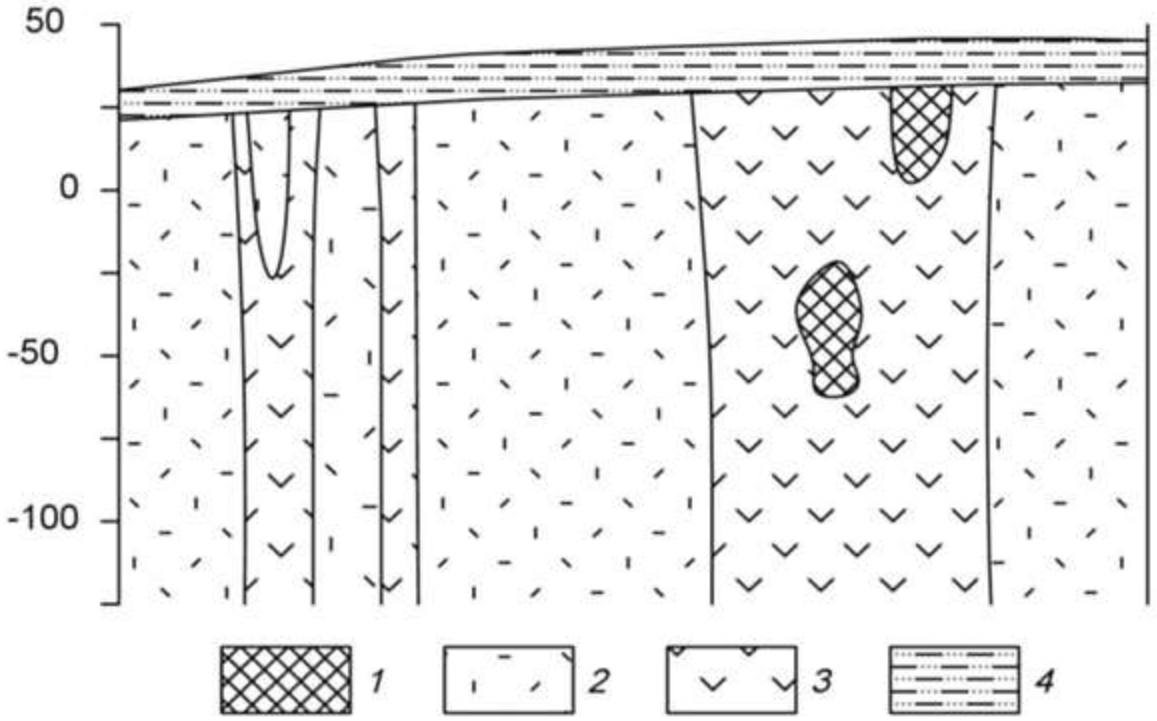
Вариант 9. **Хром**

Ультраосновной массив сложен разностями перидотитов, он вытянут в широтном направлении и имеет протяженность около 3 км. Массив сложен в главной массе гарцбургитами, среди которых обособляются неправильные линзообразные тела дунитов, вытянутые согласно простиранию массива. Каких либо закономерностей в размещении дунитовых обособлений среди гарцбургитов не устанавливается. Все ультраосновные породы массива в разной степени затронуты серпентинизацией (см. рис.).

Все хромитовые тела приурочены к обособлениям дунитов и, как правило, залегают согласно с ними. Рудные тела в основном субширотного про-стирания, обладают крутым северными или южным падением. Рудные тела имеют форму линз и гнезд.

Взаимоотношения рудных тел с смещающими дунитами различны. Известны постепенные переходы вкрапленных хромитовых руд к вмещающим дунитам, также рудные тела часто обладают резкими границами.

Месторождение находится в Армении.



Схематический геологический разрез хромитового месторождения.
1 – хромитовые руды, *2* – перидотиты, *3* – дуниты, *4* – песчано-глинистые отложения.

Петрофизические свойства

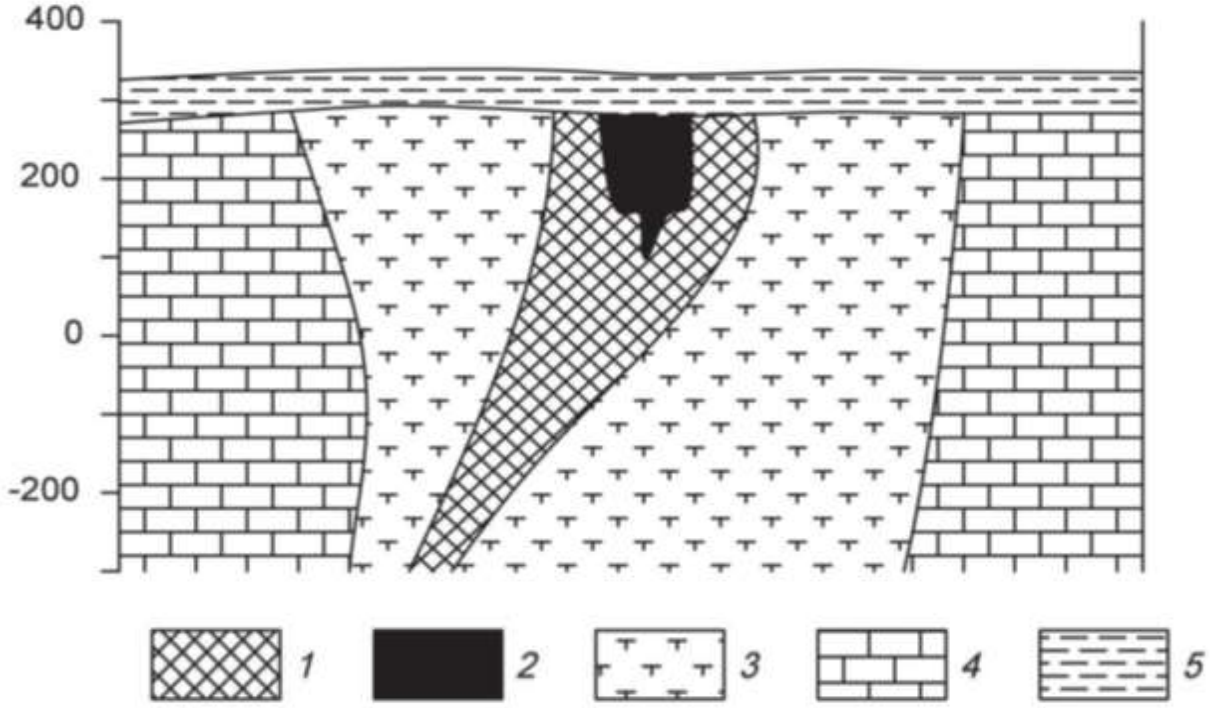
№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см3	ρ, Ом·м
1.	Хромитовые руды	1050	4,11	1100
2.	Перидотиты	1500	3,22	2800
3.	Дуниты	1100	2,96	3400
4.	Суглинки, супеси	120	2,22	300

Вариант 10. **Железо**

Железорудное месторождение гидротермального типа локализовано в карбонатных породах нижнего кембрия, слагающих чехол платформы. Рудоносная трубкообразная структура сложена эксплозивными брекчиями (см. рис.). Эксплозивные брекчии превращены в метасоматиты различного состава. Среди метасоматитов преобладают хлорит-серпентин-кальцитовые и кальцитовые, реже встречаются скарноподобные метасоматиты гранатового и пироксенового состава.

Среди промышленных типов руд брекчеевидные, вкрапленные и массивные магнетитовые руды, в коре выветривания – глинистые и сыпучие марит-магнетитовые и гематит-гидрогётитовые.

Месторождение находится в Красноярском крае.



Схематический геологический разрез железорудного месторождения.
1 – магнетитовые руды с содержанием железа 20-50%, *2* – магнетитовые руды с содержанием железа более 50%, *3* – частично метасоматически измененные эксплозивные брекчии или метасоматиты, *4* – известняки, *5* – глинистые перекрывающие отложения.

Петрофизические свойства

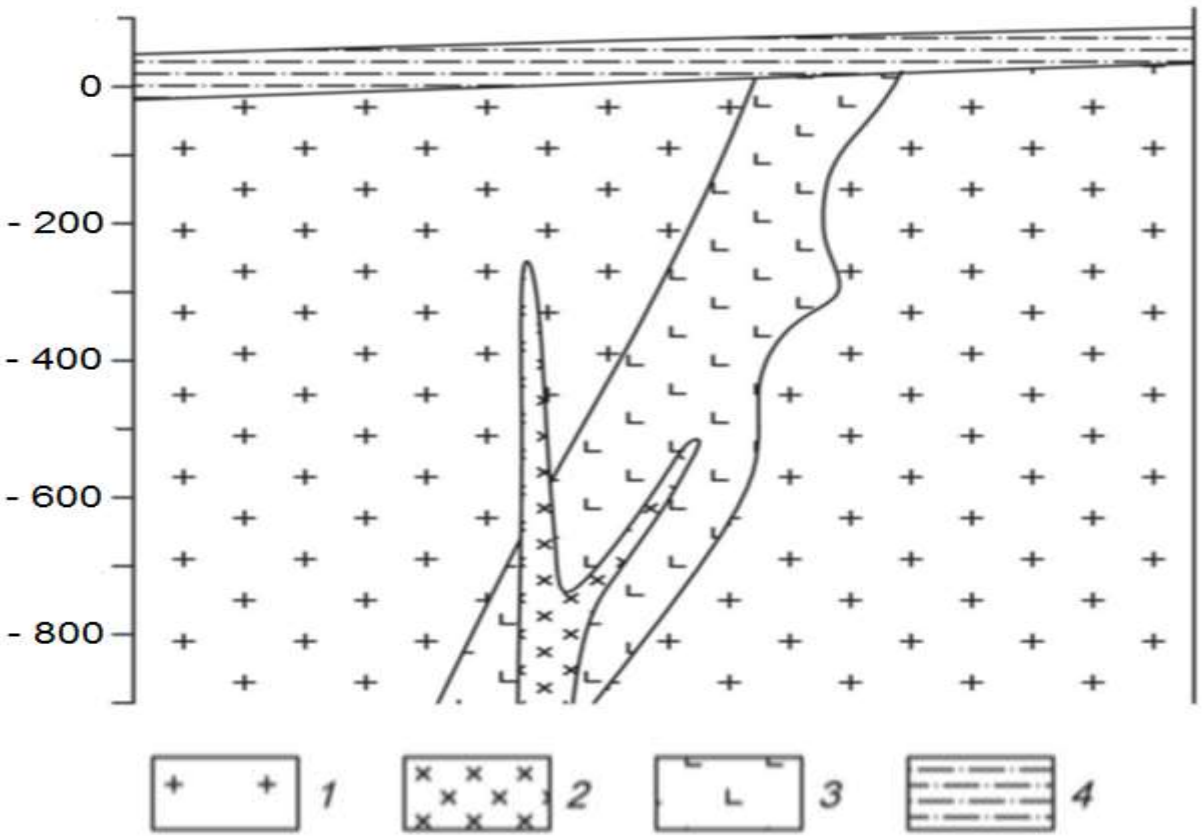
№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед. СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Магнетитовые руды с содержанием железа 20-50%	8000	2,74	500
2.	Магнетитовые руды с содержанием железа более 50%	11000	2,91	300
3.	Метасоматически измененные эксплозивные брекчии или метасоматиты	340	2,51	1000
4.	Известняки	170	2,63	2300
5.	Глины	250	2,02	120

Вариант 11. **Золото**

Месторождение Вишневое приурочено к интрузивным образованиям раннего протерозоя, являющимся вмещающими породами для эксплозивных структур, выполненных жерловыми и субвулканическими фациями раннетриасового возраста (см. рис.).

Распределение полезных компонентов в ней имеет неравномерный, столбообразный, линзообразный и гнездовый характер, с наличием раздувов, пережимов и прослоев слабо золотоносных пород в контуре кондиционных руд. Наиболее богатые руды тяготеют к осевой части зоны метасоматитов, где они концентрируются в виде согласных полос. Четких геологических границ обогащенные участки не имеют и выделяются только по данным опробования.

Месторождение расположено в Западной Сибири.



Схематический геологический разрез золоторудного месторождения Красное.
1 – раннепротерозойский среднезернистые порфировидные грани-тоиды, *2* – позднеюрские дайки диоритов, *3* – раннетриасовые гидротермально измененные эруптивные брекчии гранодиорит-порфиров, *4* – четвертич-ные отложения, представленные суглинками.

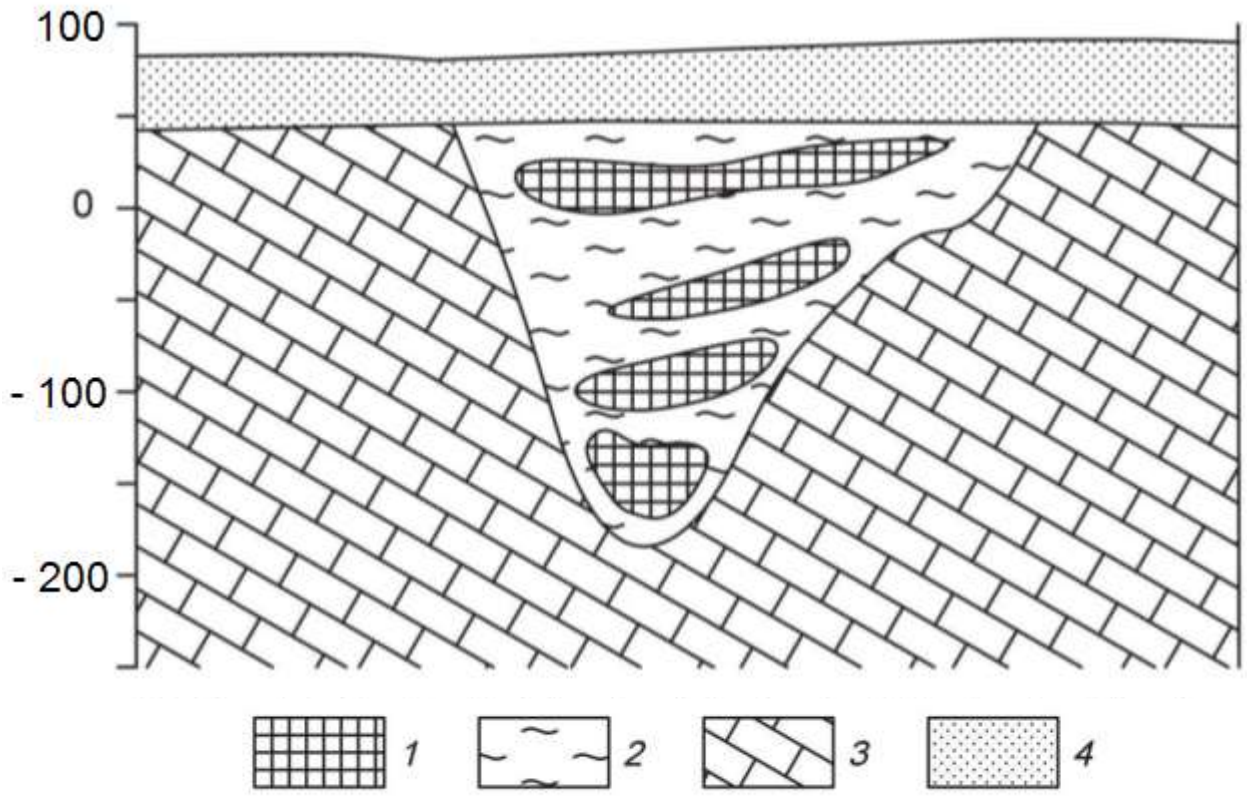
Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Порфировидные гранитоиды	150	2,68	2200
2.	Диориты	2500	2,75	5000
3.	Эруптивные брекчии грано-дирорит-порфиров	480	2,57	1500
4.	Суглинки	70	1,95	200

Вариант 12. **Бокситы**

Месторождение бокситов относится к карстовому типу. Тела бокситов приурочены к древним карстовым воронкам в карбонатных породах верхнего протерозоя, и состоят из нескольких разностей (см. рис.). Карстовые воронки заполнены рыхлыми и глинистыми бокситами, в которых встречаются каменистые разности. Каменистые бокситы имеют небольшие размеры и линзообразную, гнездовидную форму. Сверху залегают четвертичные перекрывающие отложения, представленные песками и супесями.

Месторождения данного типа развиты на Енисейском кряже.



Схематический геологический разрез месторождения бокситов.
1 – бокситы каменистые, *2* – глинистые бокситы, *3* – известняки, *4* – пески, супеси.

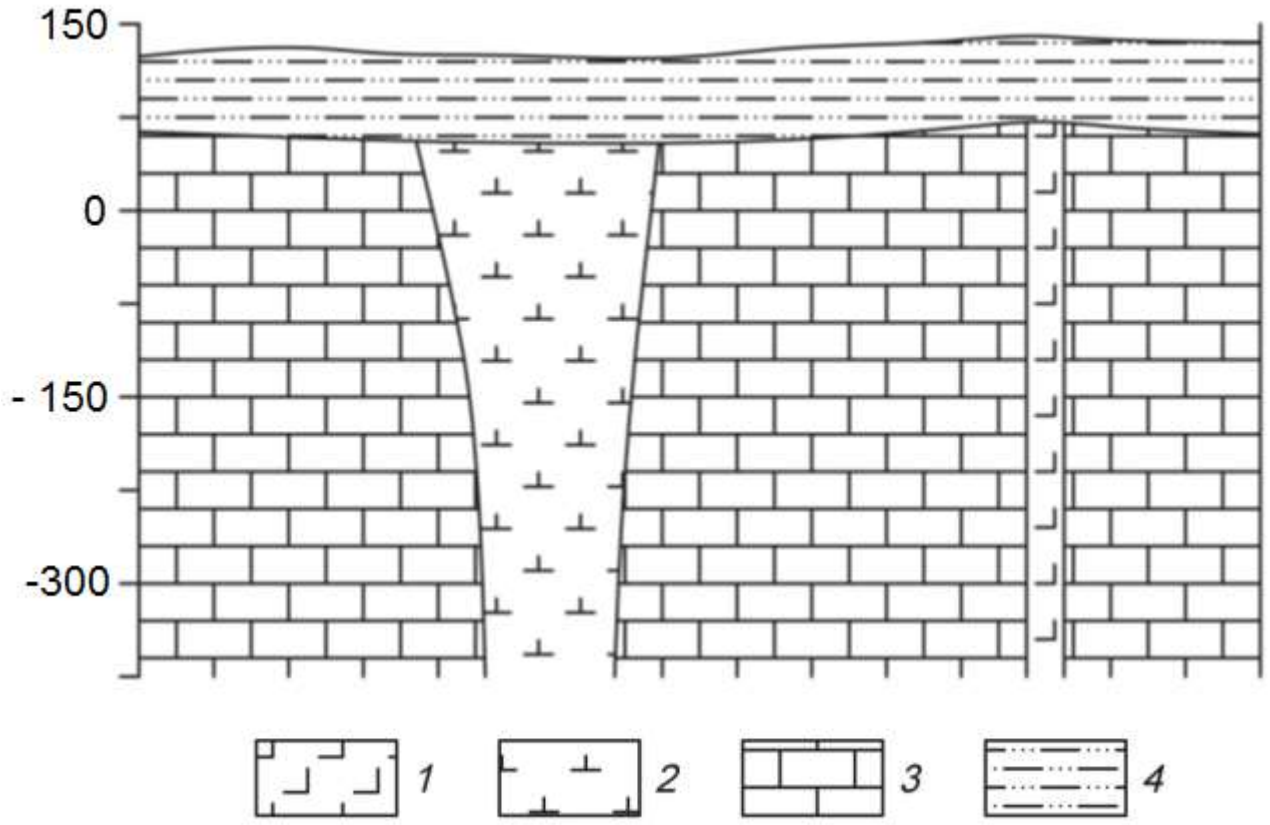
Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Бокситы каменистые	300	3,0	280
2.	Бокситы глинистые	189	2,27	290
3.	Известняки	400	2,68	2000
4.	Пески, супеси	100	1,81	500

Вариант 13. **Алмазы**

Коренные месторождения алмазов связаны с кимберлитовыми трубка-ми взрыва. Кимберлитовые тела локализуются в зонах растяжения, связанными с узлами пересечения разломов. Вмещающими для кимберлитов поро-дами являются карбонатные отложения кембрия и ордовика (см. рис.). На площади широко распространены дайки долеритов. Кимберлиты и вмещающие породы перекрыты юрскими песчано-глинистыми отложениями.

Кимберлитовое тело находится в Мало-Ботуобинском алмазоносном районе на западе Якутии.



Схематический геологический разрез кимберлитовой трубки.
1 – долериты, *2* – кимберлиты, *3* – известняки, *4* – песчано-глинистые отложения.

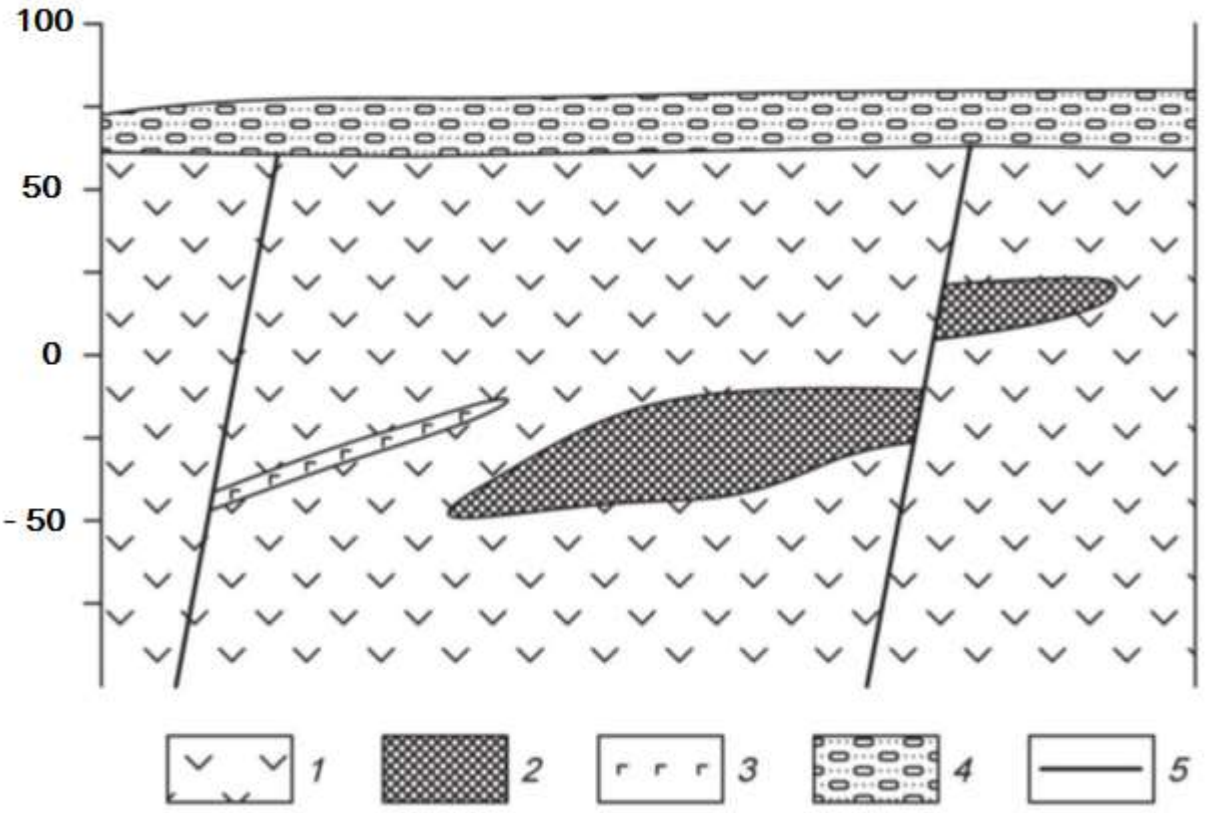
Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Долериты	2500	2,92	16000
2.	Кимберлиты	300	2,35	120
3.	Известняки	20	2,68	900
4.	Глины, суглинки	30	2,09	150

Вариант 14. **Хром**

Рудные тела сложены густовкрапленными, почти сплошными хроми-тами (см. рис.). Они имеют субмеридиональное простирание и пологое субгоризонтальное залегание. Тела пересекаются сбросовыми тектонически-ми нарушениями, круто падающими на юг и юго-запад под углами 70-80°. Непосредственно вмещающие породы представлены серпентинизированные дуниты или серпентиниты, развитые по дунитам. Контакты рудных тел со вмещающими породами резкие. Вмещающие породы и рудные тела перекрыты мезо-кайнозойскими конгломератами.

Месторождение приурочено к Кемпирсайскому хромитоносному мас-сиву (Республика Казахстан).



Схематический геологический разрез хромитового месторождения.
1 – дуниты, *2* – хромитовые руды, *3* – габбро-диабазы, *4* – конгломераты.

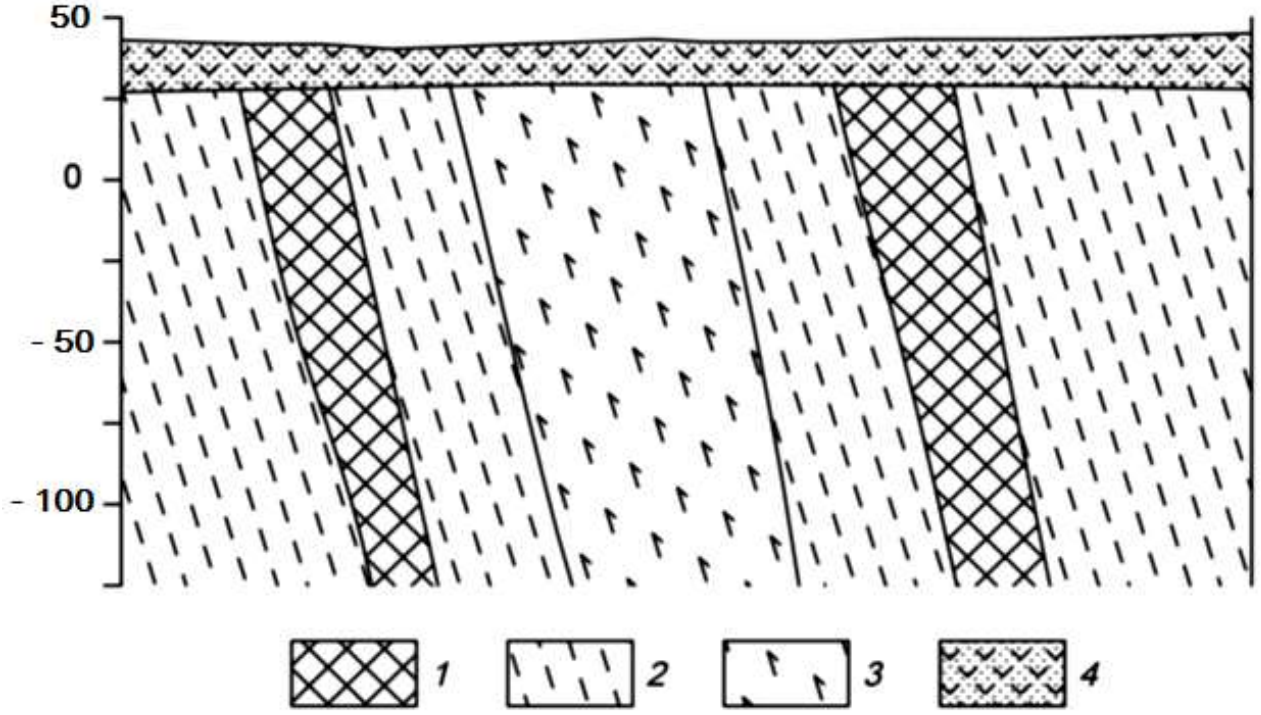
Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см3	ρ, Ом·м
1.	Дуниты	700	3,04	1000
2.	Хромитовые руды	140	3,90	200
3.	Габбро-диабазы	800	2,94	1000
4.	Конгломераты	90	2,03	1000

Вариант 15. **Железо**

Месторождение железных руд имеет моноклинальную структуру (см. рис.). Рудная зона представлена двумя параллельными вытянутыми линзообразными телами железистых кварцитов, расположенных друг от друга на небольшом расстоянии. Простирание рудных тел и вмещающей их толщи гнейсов северо-восточное. Протяженность рудных тел по простиранию достигает 2 – 2,5 км. Перекрывающие отложения представлены туфо-песчаниками.

Месторождение находится на юге Якутии.



Схематический геологический разрез железорудного месторождения.
1 – железистые кварциты, *2* – гнейсы, *3* – амфиболиты, *4* – туфопесчаники.

Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Железистые кварциты	9000	3,84	500
2.	Гнейсы	1600	2,68	1500
3.	Амфиболиты	1500	2,88	2000
4.	Туфопесчаники	450	2,10	200

Вариант 16. **Медь**

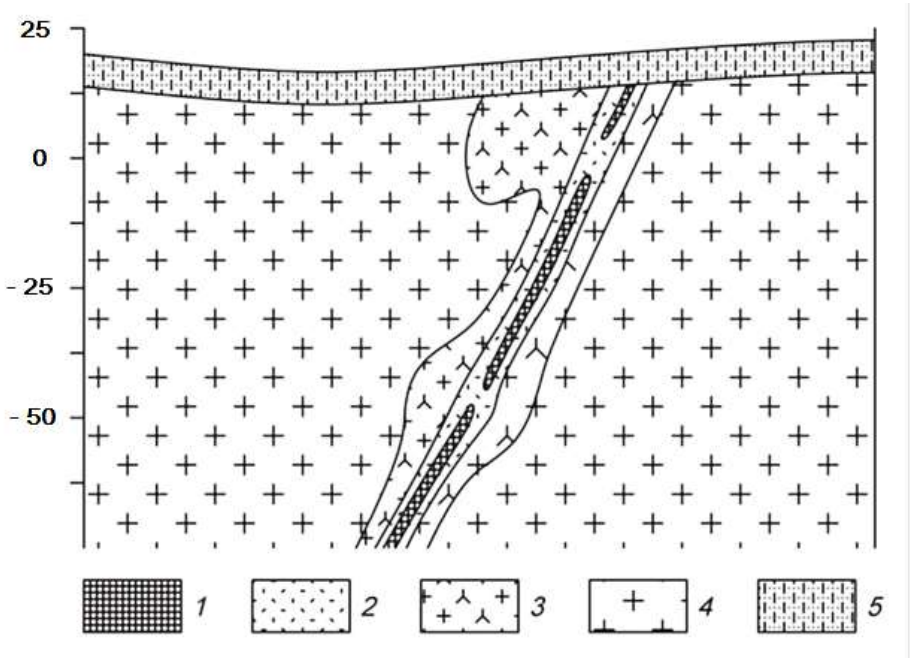
Кварц-сульфидное месторождение меди расположено в северо-западной части антиклинория, в эндоконтакте крупного батолита, сложенного гранитоидами. Основными структурными элементами месторождения являются, так называемые, рудные зоны – сложно построенные рудовмещающие трещинные структуры субмеридионального или северо-восточного простирания, секущие гранитоиды. Длина таких зон колеблется от нескольких сотен метров до первых километров.

Строение всех рудных зон однотипно. В осевой части проходит глав-ной тектонический шов, выраженный милонитом мощностью от 5 – 10 см, до 1 – 2 м. Шов состоит из ряда параллельных, часто кулисообразно расположенных трещин сложной формы.

Основные, наиболее крупные и выдержанные промышленные рудные тела располагаются вдоль главных швов рудных зон. Длина рудных тел по простиранию и падению колеблется от первых сотен метров до километра, мощность от первых до десятков метров.

Внутреннее строение рудных тел сложное. В пределах их выделяются жилы и линейные прожилково-вкрапленные зоны (см. рис.). В осевой части тел, как правило, располагаются жилы, сложенных кварц-магнетит-халькопиритовыми рудами, представляющими основную ценность. Жилы имеют четки контакты, часто ветвятся и имеют раздувы и пережимы. Линейные прожилково-вкрапленные зоны представляют собой гидротермально измененные гранитоиды, разбитые гутой сетью различно ориентированных кварц-кальцит-халькопиритовых и кварц-магнетит-халькопиритовых прожилков. В промежутках между прожилками наблюдается неравномерно распределенная вкрапленность.

Месторождение находится на юге Казахстана.



Схематический геологический разрез кварц-сульфидного медного месторождения.
1 – кварц-магнетит-халькопиритовые руды, *2* – прожилково-вкрапленные руды, *3* – гидротерамально измененные граниты, *4* – биотито-вые граниты, 5 – известковистые песчаники.

Петрофизические свойства

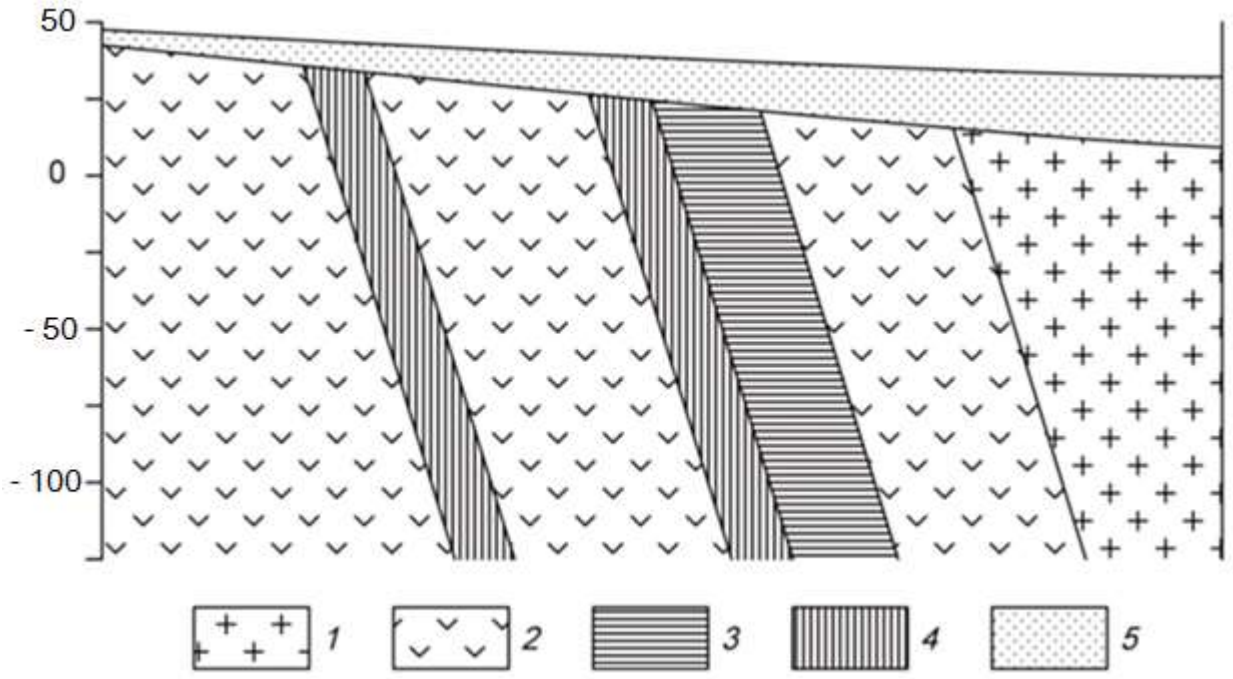
№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Кварц-магнетит-халькопиритовые руды	1870	2,71	1100
2.	Прожилково-вкрапленные руды	1000	2,61	1300
3.	Гидротерамально измененные граниты	700	2,62	2500
4.	Биотитовые граниты	890	2,57	2800
5.	Известковистые песчаники	70	2,48	1000

Вариант 17. **Титан**

Месторождение титана магматического типа приурочено к массиву габбро северо-восточного простирания. Согласно с полосчатостью габбро залегают ильменитовые и титано-магнетитовые руды (см. рис.). Преобладают вкрапленные руды, для которых характерна сидеронитовая структура. Внутри зон вкрапленных руд встречаются линзочки сплошных. Границы рудных тел не четкие, переходы от рудных участков к безрудным – постепенные. Рудные тела и вмещающие породы перекрыты элювиальными отложениями песчано-глинистого состава.

Титаномагнетит в сплошных и вкрапленных рудах обогащен титаном (до 13,4 % TiO_2), также в нем встречаются пластинчатые включения ильменита. В сплошных рудах в основном присутствует титаномагнетит, а количество зерен ильменита не превышает 3-5%.

Месторождение расположено на Южном Урале.



Схематический геологический разрез месторождения титана.
1 – граниты, *2* – габбро мезо- и меланократовое, *3* – вкрапленные ильменитовые руды, *4* – вкрапленные титаномагнетитовые руды, *5* – элювиальные отложения.

Петрофизические свойства

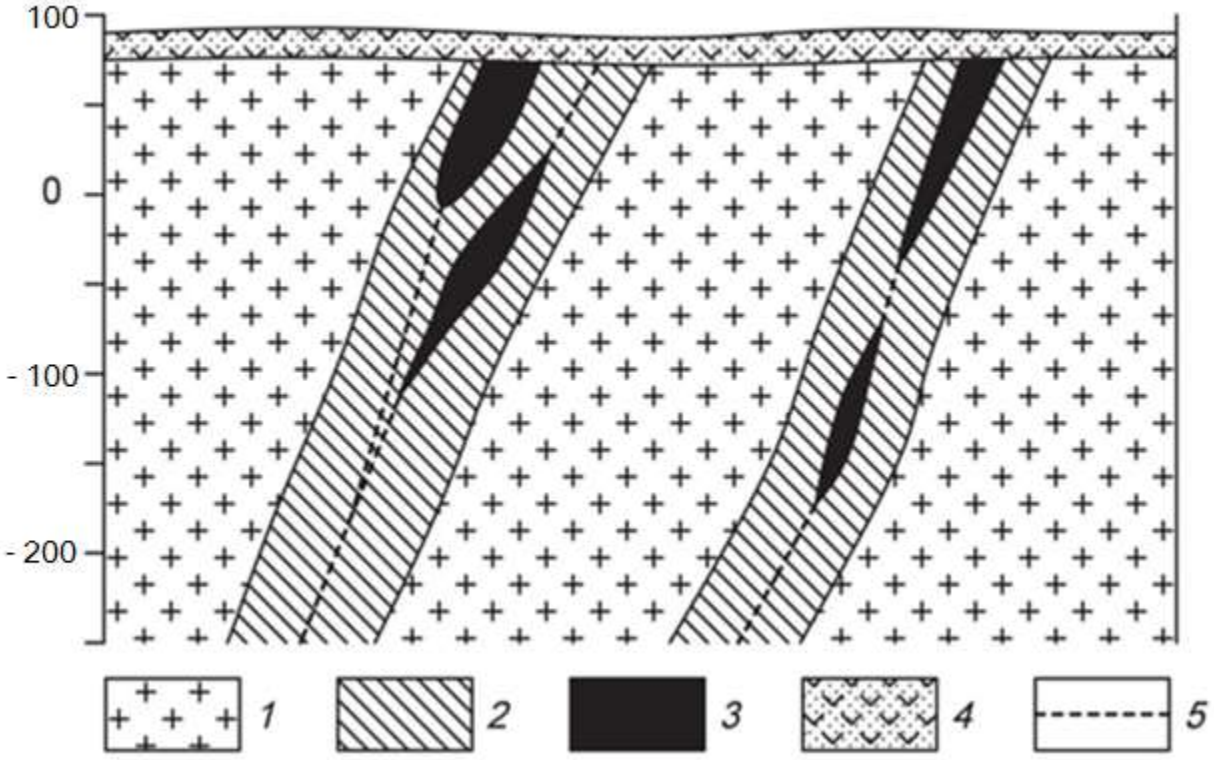
№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Граниты	250	2,55	4000
2.	Габбро	1300	2,93	6000
3.	Вкрапленные ильменитовые руды	1500	3,60	2500
4.	Вкрапленные титаномагнетитовые руды	2500	3,37	1900
5.	Элювиальные отложения	200	1,93	1000

Вариант 18. **Вольфрам**

Скарновое месторождение вольфрама приурочено к зонам альбитиза-ции в гранодиоритах. Рудные тела представляют собой зоны метасоматически преобразованных силикатных пород (см. рис.). Альбитизация либо наложена на более ранние скарны, либо образует самостоятельные зоны. Рудные тела приурочены к системам крутопадающих минерализованных трещин, среди которых выделяется основной разлом и оперяющие нарушения.

Полезным компонентом в метасоматически преобразованных породах является шеелит. Шеелит образует неравномерную вкрапленность, прожилки и гнезда.

Месторождение находится в Таджикистане.



Схематический геологический разрез месторождения вольфрама.
1 – гранодиориты, *2* – зона интенсивной альбитизации, *3* – рудные тела, *4* – перекрывающие вулканогенно-осадочные толщи, 5 – тектонические нарушения.

Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед.СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Гранодиориты	300	2,68	3000
2.	Скарноиды альбитизированные	270	2,58	3200
3.	Рудные тела	310	2,92	1200
4.	Вулканогенно-осадочные породы	340	2,29	900

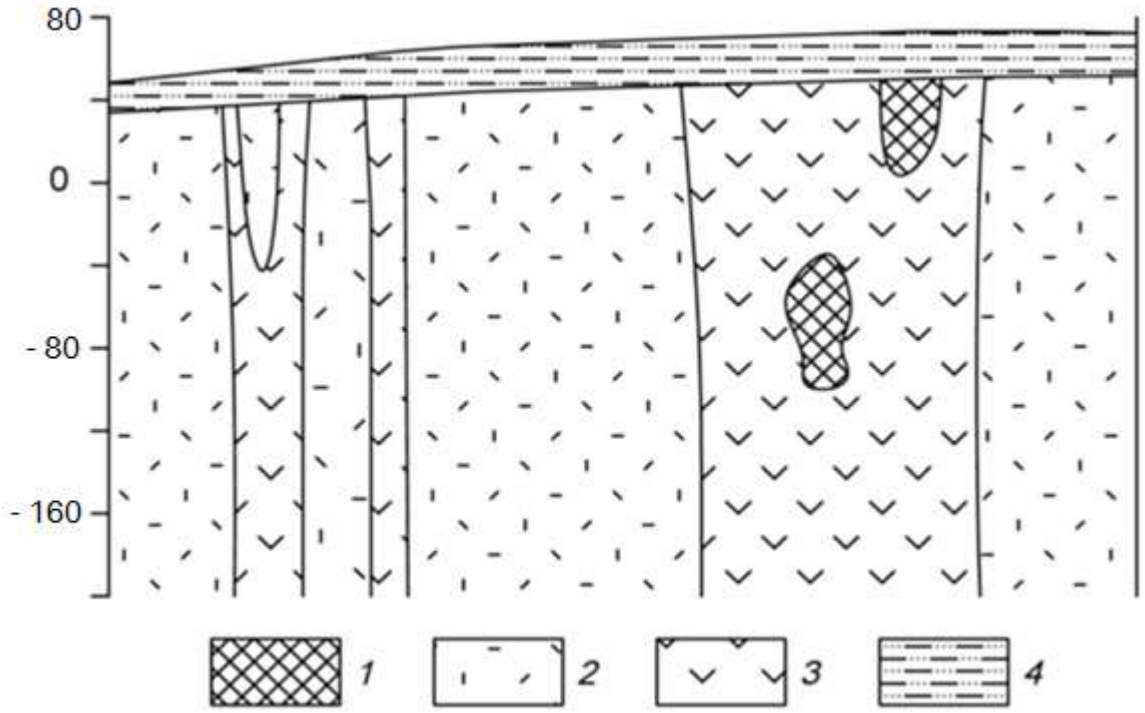
Вариант 19. Хром

Ультраосновной массив сложен разностями перидотитов, он вытянут в широтном направлении и имеет протяженность около 3 км. Массив сложен в главной массе гарцбургитами, среди которых обособляются неправильные линзообразные тела дунитов, вытянутые согласно простиранию массива. Каких либо закономерностей в размещении дунитовых обособлений среди гарцбургитов не устанавливается. Все ультраосновные породы массива в разной степени затронуты серпентинизацией (см. рис.).

Все хромитовые тела приурочены к обособлениям дунитов и, как правило, залегают согласно с ними. Рудные тела в основном субширотного про-стирания, обладают крутым северными или южным падением. Рудные тела имеют форму линз и гнезд.

Взаимоотношения рудных тел с смещающими дунитами различны. Известны постепенные переходы вкрапленных хромитовых руд к вмещающим дунитам, также рудные тела часто обладают резкими границами.

Месторождение находится в Армении.



Схематический геологический разрез хромитового месторождения.
1 – хромитовые руды, *2* – перидотиты, *3* – дуниты, *4* – песчано-глинистые отложения.

Петрофизические свойства

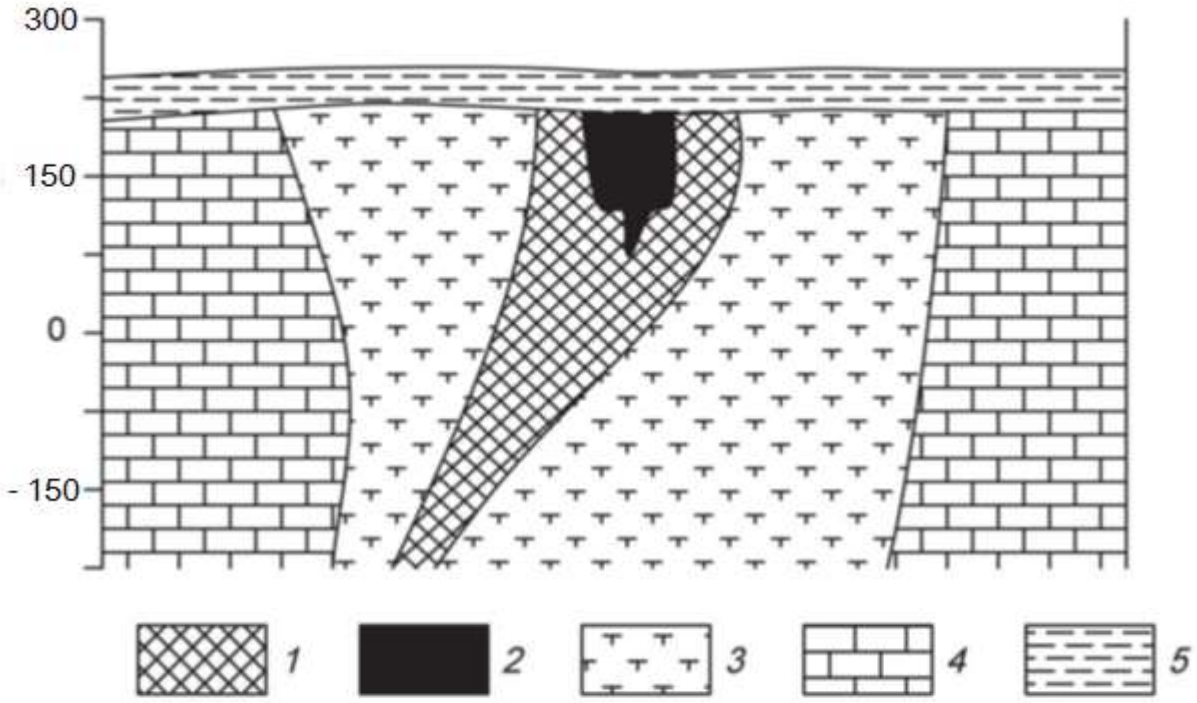
№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед. СИ	σ, г/см^3	ρ, Ом·м
1.	Хромитовые руды	1300	4,30	900
2.	Перидотиты	2100	3,27	3200
3.	Дуниты	1200	2,84	3000
4.	Суглинки, супеси	200	2,15	280

Вариант 20. **Железо**

Железорудное месторождение гидротермального типа локализовано в карбонатных породах нижнего кембрия, слагающих чехол платформы. Рудоносная трубкообразная структура сложена эксплозивными брекчиями (см. рис.). Эксплозивные брекчии превращены в метасоматиты различного соста-ва. Среди метасоматитов преобладают хлорит-серпентин-кальцитовые и кальцитовые, реже встречаются скарноподобные метасоматиты гранатового и пироксенового состава.

Среди промышленных типов руд брекчеевидные, вкрапленные и мас-сивные магнетитовые руды, в коре выветривания – глинистые и сыпучие ма-рит-магнетитовые и гематит-гидрогётитовые.

Месторождение находится в Красноярском крае.



Схематический геологический разрез железорудного месторождения.
1 – магнетитовые руды с содержанием железа 20-50%, *2* – магнетитовые руды с содержанием железа более 50%, *3* – частично метасоматически измененные эксплозивные брекчии или метасоматиты, *4* – известняки, *5* – глинистые перекрывающие отложения.

Петрофизические свойства

№ п/п	Разности пород	æ, $\times 10^{-5}$ ед. СИ	σ, г/см3	ρ, Ом·м
1.	Магнетитовые руды с содержанием железа 20-50%	6500	2,78	400
2.	Магнетитовые руды с содержанием железа более 50%	12000	3,05	200
3.	Метасоматически измененные эксплозивные брекчии или метасоматиты	210	2,64	900
4.	Известняки	120	2,71	2000
5.	Глины	270	1,98	180

5. Список рекомендованной литературы

Основная литература:

№ п/п	Наименование	Кол-во экз. в библиотеке
1.	*Соколов А.Г.* Полевая геофизика: учебное пособие / А.Г. Соколов, О.В. Попова, Т.М. Кечина. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 160 с. — 978-5-7410-1182-9. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/33649.html	Электронный ресурс
2.	*Хмелевской В.К.* Основы геофизических методов: учебник для вузов / В.К. Хмелевской, В.И. Костицын; Перм. ун-т. – Пермь, 2010. – 400 с.: ил. SBN 978-5-7944-1428-8. — Режим доступа: http://www.psu.ru/nauka/elektronnye-publikatsii/uchebnye-posobiya-i-metodicheskie-materialy/v-k-khmelevskoj-v-i-kostitsyn-osnovy-geofizicheskikh-metodov	Электронный ресурс
3.	*Соколенко Е.В.* Общий курс полевой геофизики. Часть 1: лабораторный практикум / Е.В. Соколенко, А.-Г.Г. Керимов. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 107 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/63108.html	Электронный ресурс

Дополнительная литература:

№ п/п	Наименование	Кол-во экз. в библиотеке
1.	Полевая геофизика: учебник для вузов / *Ю. Н. Воскресенский*; РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. - Москва: Недра, 2010. - 479 с.	10
2.	Геофизика: учебник / В. А. Богословский [и др.]; ред. *В. К. Хмелевской.* - Москва: КДУ, 2007. - 320 с.	15
3.	Геофизические методы исследования: учебное пособие / *В.К. Хмелевской, М.Г. Попов, А.В. Калинин.* - Москва: Недра, 1988. - 396 с	18
4.	Разведочная геофизика: лабораторный практикум / *Ю.Б. Давыдов, Н.В. Блинкова*; Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург: УГГУ, 2011. - 170 с.	20
5.	Электроразведка: учебное пособие. Ч. 1. Электроразведка постоянным током. Поляризационные методы электроразведки / *А. А. Редозубов*; Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург: УГГУ, 2007. - 328 с.	98
6.	Электроразведка: учебное пособие. Ч. 2. Электроразведка переменным током / *А.А.Редозубов*; Уральский государственный горный университет. - Екатеринбург: УГГУ, 2008. - 188 с.	97
7.	*Возженников Г. С., Белышев Ю. В.* Радиометрия и ядерная геофизика: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГГУ, 2011. – 406 с.	12
8.	*Бондарев В.И., Крылатков С.М.* Сейсморазведка: учебник для вузов. Издание второе. В двух томах. - Екатеринбург, Изд-во УГГУ, 2011.	10
9.	Гравиразведка: справочник геофизика / под ред.: *Е.А. Мудрецовой, К Е. Веселова*. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Недра, 1990. - 607 с.	50
	Магниторазведка : учебник / Уральская государственная горно-геологическая академия. - Екатеринбург : УГГГА, 2001. - 308 с.	2

Учебное издание

Александрова Жанна Николаевна

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ

Руководство по выполнению контрольной работы
по дисциплине «Разведочная геофизика» для студентов
специальности 21.05.03 − «Технология геологической разведки»
очной и заочной формы обучения

Редактор _____
Компьютерная верстка автора

Подписано в печать ___ . ___ . 2018 г.
Бумага писчая. Формат 60 х 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. ____. Уч.-изд. л. ____. Тираж 100. Заказ _____

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ

МИНОБРНАУКИ РФ
ФГБОУ ВО

«Уральский государственный
горный университет»

И. Г. Сковородников

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ

Екатеринбург
2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие…….5
1. Назначение первичных преобразователей, их характеристики и классификация…….5
Контрольные вопросы……...11
2. Преобразователи параметрического типа……...12
2.1. Резистивные преобразователи……...12
2.1.1. Контактные преобразователи……12
2.1.2. Реостатные преобразователи……..13
2.1.3. Тензометрические преобразователи……..16
2.1.4. Электролитические преобразователи……19
2.1.5. Терморезистивные преобразователи……21
2.1.6. Магниторезистивные преобразователи……23
2.1.7. Фотоэлектрические преобразователи……25
2.2. Индуктивные преобразователи……26
2.2.1. Индуктивные преобразователи с изменяемым воздушным зазором…….27
2.2.2. Магнитоупругие преобразователи……29
2.2.3. Магнитомодуляционные преобразователи……...30
2.3. Емкостные преобразователи……..34
Контрольные вопросы……..35
3. Преобразователи генераторного типа …...……36
3.1. Преобразователи индукционной э.д.с……..36
3.1.1. Преобразователи индукционной э.д.с. со взаимным перемещением магнита и катушки индуктивности……..36
3.1.2. Преобразователи индукционной э.д.с. со стационарным размещением магнита и катушки индуктивности……..38
3.2. Преобразователи гальваномагнитной э.д.с……..41
3.2.1. Преобразователи Холла……..41
3.2.2. Преобразователи Виганда……...42

3.3. Преобразователи пьезоэ.д.с……...44
3.4. Преобразователи термоэ.д.с……..45
3.5. Преобразователи фотоэ.д.с……46
Контрольные вопросы……...49
4. Радиационные преобразователи……...49
4.1. Газоразрядные детекторы……..50
4.2. Сцинтилляционные детекторы……..53
4.3. Полупроводниковые детекторы……56
Контрольные вопросы……...56
Литература……..57

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель данного пособия – познакомить студентов с применением различных электрических датчиков в геофизической аппаратуре, облегчить им усвоение соответствующих разделов курса «Геофизическая аппаратура» и выполнение курсового проектирования по нему.

Необходимость издания пособия обусловлена тем, что в опубликованных работах по первичным преобразователям рассматриваются датчики общетехнического применения, в то время, как датчики разнообразной геофизической аппаратуры имеют ряд особенностей, связанных со спецификой условий их эксплуатации.

В пособии рассмотрены физические основы и устройство датчиков всех типов, входные и выходные параметры, указаны их достоинства и недостатки и приведены примеры применения в конкретной геофизической аппаратуре.

В качестве примеров в ряде случаев использованы оригинальные разработки автора.

В конце каждой главы приведен перечень контрольных вопросов для самостоятельной проверки усвоения материала студентами.

1. НАЗНАЧЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Первичные преобразователи в геофизической аппаратуре (ГА) являются теми элементами, которые вырабатывают сигнал информации об измеряемой величине. По этой причине первичные преобразователи ГА называются также измерительными преобразователями. Другими синонимами термина «первичный преобразователь» являются «датчик», «детектор», «чувствительный элемент», «сенсор», «трансмиттер» [4,15,23]. Правда, в специальной литературе существуют различные толкования термина «датчик», наиболее распространенного из перечисленных терминов. Так, например, в монографии К. Бриндли [4], датчик рассматривается как пассивный преобразователь, т.е. преобразователь получающий энергию для своей работы от измеряемой величины. В других источниках [1,16] под датчиком понимается конструктивно законченное устройство, которое, кроме первичного преобразователя, может содержать и другие элементы (усилитель сигнала, источник питания и т.п.) и которое устанавливается на удалении от наблюдателя. В данном пособии, как и в большей части специальной литературы, термин «датчик» будет использоваться как синоним первичного или измерительного преобразователя.

Важнейшими характеристиками датчиков служат: чувствительность, точность (достоверность) информации об измеряемой величине, надежность и долговечность, стабильность работы при изменении внешних условий, быстродействие, вид зависимости выходного сигнала от измеряемой величины (линейная, нелинейная, реверсивная, нереверсивная и т.п.).

Поясним некоторые из перечисленных характеристик.

Чувствительность преобразователя, которую также называют **коэффициентом передачи**, представляет собой отношение изменения

выходного сигнала *y,* к изменению входного сигнала *x.* Различают три вида коэффициентов передачи: статический, относительный и дифференциальный.

Статический коэффициент передачи используется для определения свойств преобразователей с линейной характеристикой: $K_{ст}=y/x$.

Дифференциальный коэффициент передачи применяется для датчиков с нелинейной характеристикой: $K_{диф}=\lim\Delta y/\Delta x\approx dy/dx$. Значение этого коэффициента непостоянно и зависит от величины входного сигнала *x*.

Относительный коэффициент передачи равен отношению относительного изменения сигнала на выходе датчика к относительному изменению сигнала на его вход $K_{отн}=(\Delta y/y)/(\Delta x/\Delta x)$. Этот коэффициент является величиной безразмерной и удобен для сравнения свойств преобразователей, различных по принципу действия и конструкции.

У некоторых измерительных преобразователей вследствие трения покоя, шумов измерительной схемы, гистерезиса и др. причин изменение выходного сигнала появляется только тогда, когда измеряемая величина достигает определенного уровня. Этот уровень называется порогом **чувствительности** x_n.

Во время работы первичного преобразователя на него, кроме измеряемой величины, воздействуют и другие сигналы – помехи, например, изменения температуры, внешнего давления, вибрации, изменения напряжения питания и пр. Результаты воздействия помех проявляются в виде погрешностей измерений: абсолютных, относительных, приведенных.

Абсолютная погрешность – это разность между измеренным *y* и действительным (расчетным) значениями выходной величины y_0: $\Delta y=y_{изм}-y_0$.

Относительная погрешность – это отношение абсолютной погрешности к действительному значению выходной величины в процентах: $\delta=(\Delta y/y_0)\cdot 100$.

Приведённая погрешность – это отношение абсолютной погрешности к наибольшему действительному значению выходной величины: $\varepsilon=\Delta y/y_{max}$. Для измерительных приборов приведенная погрешность определяет их класс точности.

В зависимости от режима, для которого определяется абсолютная или относительная погрешность, различаются **статические** и **динамические** погрешности (ошибки). Приведенная погрешность определяется только для установившегося (статического) режима [10].

Характер зависимости выходного сигнала от измеряемой величины $y=f(x)$ в установившемся режиме называется **статической** характеристикой преобразователя.

Наиболее удобными в работе и потому наиболее распространенными являются датчики, имеющие линейную характеристику. Если характеристика датчика нелинейна, то для формирования выходного сигнала могут применяться системы линеаризации. В некоторых случаях, например, если измеряемая величина изменяется нелинейным образом, удобнее использовать преобразователи с нелинейной статической характеристикой.

В зависимости от того, как на выходную величину влияет изменение знака измеряемой величины, статические характеристики бывают: **нереверсивными** (когда знак выходного сигнала остается постоянным во всем диапазоне измерений) и **реверсивными** (когда выходной сигнал изменяет свой знак вслед за измерявшейся величиной).

Следует упомянуть еще одну из характеристик измерительных преобразователей – **гистерезис**, который проявляется в несовпадении значений выходного сигнала при одном и том же значении измеряемой величины в зависимости от уменьшения или увеличения последней в момент измерения.

Надежность преобразователя – это способность работать в течение определенного периода времени при заданных условиях эксплуатации.

Надежность преобразователей, так же, как надежность, сложных электронных или механических устройств вообще, характеризуется вероятностью безотказной работы, средним временем безотказной работы и интенсивностью отказов – отношением числа отказавших устройств в определяемый промежуток времени к числу работоспособных в начале этого промежутка.

График зависимости интенсивности отказов от времени эксплуатации имеет характерную корытообразную форму. Первый участок графика (0 – t_1) называется "временем приработки", в этот период интенсивность отказов велика из-за того, что здесь проявляются дефекты сборки, выходят из строя некондиционные детали и т. п. Второй участок $t_1 – t_2$ называется "периодом условной долговечности», здесь отказы могут быть связаны, в основном, со случайными причинами. Третий участок $t_2 – \infty$ называется "периодом старе-

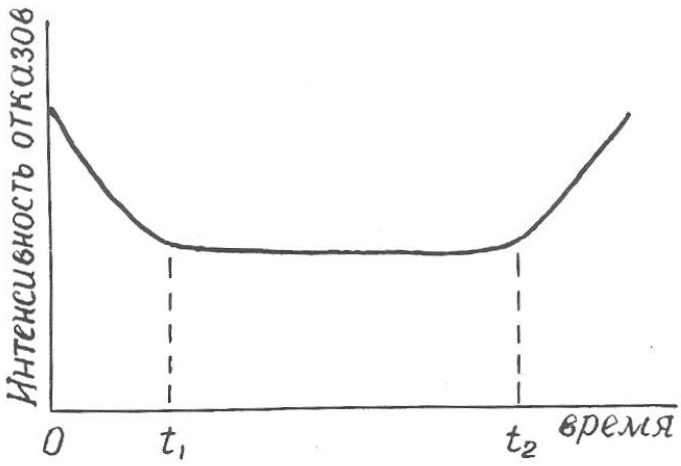


Рис. 1.1. Зависимость и интенсивности отказов от времени эксплуатации преобразователя

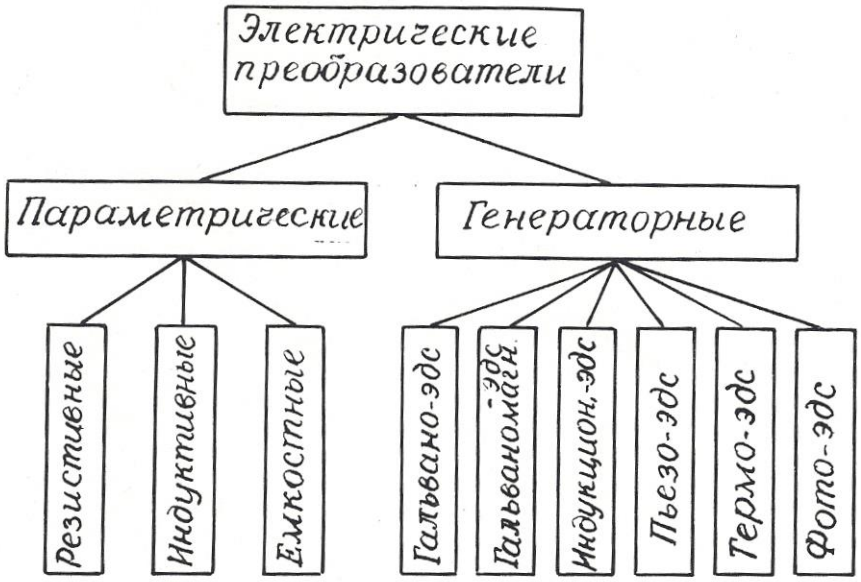


Рис. 1.2. Классификация электрических преобразователей

ния», здесь интенсивность отказов растет из-за того, что детали преобразователя вырабатывают свой ресурс (рис. 1.1).

Пути повышения надежности преобразователей – это упрощение их устройства, использование элементов с большой вероятностью безотказной работы, «разгруженный» режим эксплуатации.

Подавляющее большинство датчиков геофизической аппаратуры преобразуют измеряемую величину в электрический сигнал, хотя имеются датчики, например, в гравиразведочных приборах, выходная величина которых не является электрической.

Электрические преобразователи, применяемые в геофизической аппаратуре, крайне разнообразны по принципу действия и конструкции.

Основными признаками, позволяющими классифицировать датчики, являются: назначение, принцип действия, вид входного и выходного сигналов, наличие или отсутствие источников питания.

По назначение электрические датчики делятся на преобразователи неэлектрических величин в электрические и преобразователи одних электри-

ческих величин в другие. Соответственно входные величины измерительных преобразователей могут иметь как электрическую, так и неэлектрическую природу. Это могут быть характеристики различных физических полей (например, магнитная индукция, температура, сила тяжести, э.д.с. естественных электрических полей), разнообразные свойства горных пород, руд и растворов (плотность, электрическое сопротивление, магнитная восприимчивость, радиоактивность), геометрические и технические параметры буровых скважин (их диаметр, углы искривления), скорость перемещения, механические усилия и т. д.

Выходными величинами электрических датчиков могут, быть: э.д.с., сила тока, частота тока, импульсы тока или комбинации импульсов различной длительности и амплитуды, а также сопротивление, емкость или индуктивность электрической цепи.

По принципу действия электрические преобразователи делятся на **параметрические**, изменяющие пассивные элементы электрической цепи (сопротивление, емкость, индуктивность), и **генераторные**, вырабатывающие э.д.с. различной физической природы. В свою очередь, среди параметрических датчиков выделяются: резистивные, емкостные и индуктивные, а среди генераторных: датчики гальванической, гальваномагнитной, индукционной, фото-, пьезо- и термоэ.д.с. (рис. 1.2).

Особняком стоят радиационные преобразователи (детекторы радиоактивных излучений), которые имеет сложную структуру.

Каждый из видов датчиков, изображенных на рис. 1.1, имеет свои разновидности, отличающиеся по конструктивному исполнению.

По наличию или отсутствию специальных источников питания датчики подразделяются на **пассивные**, получающие энергию от измеряемой величины, и активные, питающиеся от внешнего источника.

В следующих разделах пособия будут рассмотрены физические свойства, особенности конструкции, достоинства и недостатки, а также примеры

применения в конкретных образцах геофизической аппаратуры всех видов датчиков, представленных на рис. 1.2.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение измерительного преобразователя.
2. Какие синонимы существуют у термина «измерительный преобразователь»?
3. Что такое чувствительность преобразователя?
4. Назовите виды коэффициентов передачи датчика.
5. Назовите виды погрешностей преобразователей, укажите, какие причины их вызывают.
6. Что такое статическая характеристика преобразователя?
7. Что такое надежность преобразователя?
8. Поясните график зависимости интенсивности отказов от времени (рис. 1.1).
9. По каким признакам производят классификацию электрических преобразователей?
10. Назовите входные и выходные величины электрических преобразователей в геофизической аппаратуре.
11. На какие две большие группы делятся электрические преобразователи по принципу действия?
12. Поясните классификацию преобразователей, приведенную на рис. 1.2.

2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

2.1. Резистивные преобразователи

В преобразователях этого вида изменения измеряемого параметра преобразуются в изменения **активного сопротивления** электрической цепи.

В соответствии с выражением $R=\rho \cdot l/S$ (2.1) изменения сопротивления R могут происходить за счет изменения геометрических размеров проводника (длины l и поперечного сечения S) или его удельного сопротивления ρ. К

преобразователям с изменяемыми размерами относятся контактные, реостатные, потенциометрические, тензометрические, угольные и электролитические датчики. К преобразователям с изменяемым удельным сопротивлением – электролитические, терморезистивные и некоторые фотоэлектрические датчики.

2.1.1. Контактные преобразователи

Контактные преобразователи представляют собой простейшую разновидность преобразователей резистивного типа. В одном крайнем положении их сопротивление равно бесконечности, в другом близко к нулю. Работой контактных преобразователей могут управлять механические (линейное или угловое перемещение) или различные физические параметры (температура, магнитное поле, электрический ток).

Контактные преобразователи составляют основу большинства реле, широко применяемых в системах автоматического управления [8,11]. В последнее время широкое распространение получили **герконы** – миниатюрные герметизированные контактные преобразователи, управляемые магнитным полем.

Достоинства контактных преобразователей составляют их простата и малая стоимость, универсальность (они могут работать в цепях как постоянного, так и переменного тока); недостатки – искрение и «дребезг» контактов, возможность ложных срабатываний контактов от тряски.

В геофизической аппаратуре контактные преобразователи используются в различных измерителях постоянных напряжений для преобразования этих напряжений в переменные, которые потом подвергаются усилению на электронных усилителях. Примером могут служить электроразведочные измерители ЭСК-1, АТ-72, самопишущие каротажные потенциометры ПАСК-8 и ПАСК-9. Контактные преобразователи используются также в схемах

управления многочисленных скважинных приборов (в пластовом наклономере НП-3, расходомерах с раскрывающимся пакером и др.).

Герконы используются в скважинных расходомерах РСМ, РГД, ДГД и др. [21].

2.1.2. Реостатные преобразователи

Простейший реостатный преобразователь – это переменный резистор, подвижный контакт которого перемещается вследствие изменения измеряемой величины – линейного перемещения, давления, угла наклона, направления магнитного поля и т.п.

Реостатный преобразователь (рис. 2.1, а) может быть включен по потенцио-метрической схеме (рис. 2.1, б), в этом случае он должен быть отнесен к преобразователям генераторного типа.

Как правило, реостатные преобразователи выполняют в виде намотки из изолированной проволоки высокого сопротивления (из манганина, константана, вольфрама) на каркасе из изоляционного материала. Форма каркаса может быть различной: прямоугольной, кольцевой или более сложной конфигурации в зависимости от входного параметра и необходимой зависимости $R= f(x)$.

Проволочные реостатные преобразователи являются дискретными, т.к. непрерывному изменению входной величины x соответствует скачкообразное изменение сопротивления R определяемое переходом подвижного контакта с одного витка провода на другой. Это обуславливает и погрешность измерений, которая уменьшается с уменьшением диаметра проволоки и увеличением числа витков W. Статический коэффициент передачи реостатного датчика $K_{ст}=z\cdot W/l$, где z – сопротивление одного витка, l – длина намотки.

Обычная относительная погрешность датчиков $\delta= 0{,}2 – 0{,}5$ %.

Преимущества реостатных датчиков: простота конструкции, малый вес и габариты, возможность включения в цепь как постоянного, так и переменного тока, возможность получения необходимой статической характеристики

R=f(x), недостатки: наличие подвижного механического контакта, что уменьшает надежность датчика, необходимость какого-то усилия для перемещения этого контакта, влияние температуры.

Благодаря своей простоте и универсальности реостатные преобразователи широко используются в геофизической аппаратуре для исследования скважин: в каверномерах (КФ, КМ, СКП-1 и др.), в инклинометрах (ИК-1, ИК-2, МИР-36, ИГ-36 и др.) [2,9,12], в датчиках натяжения кабеля, в некоторых уровнемерах. Так, например, в скважинном уровнемере конструкции УГИ [18,26], изменение уровня жидкости над прибором, точнее, гидростатическое давление столба жидкости над ним преобразуется в изменение уровня токопроводящей жидкос-

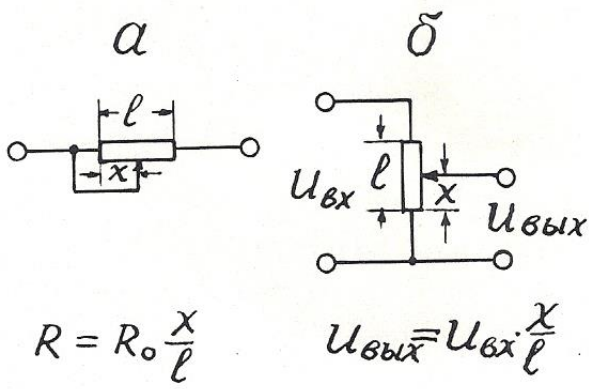


Рис. 2.1. Реостатный преобразователь (а) и его включение по потенциометрической схеме (б).

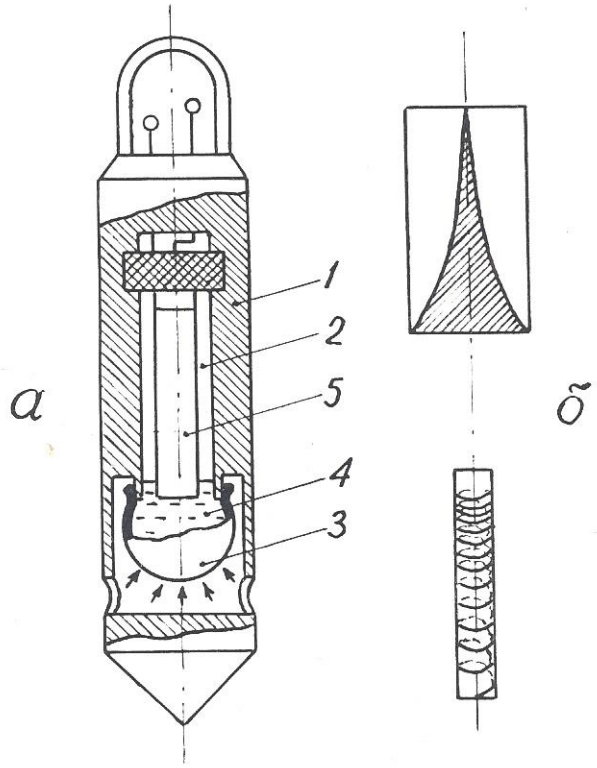


Рис. 1.2. Пример применения реостатного преобразователя в скважинном уровнемере с линейной входной характеристикой: а – конструкция уровнемера; б – варианты выполнения реостата; 1 – корпус уровнемера; 2 – измерительная камера; 3 – гибкий резервуар; 4 – токопроводящая жидкость; 5 – реостат.

ти в измерительной камере, отделенной от внешней среды гибкой оболочкой (рис. 2.2). Вдоль продольной оси камеры располагается реостатный преобразователь, подвижным контактом которого служит токопроводящая жидкость. Поскольку давление P в измерительной камере и ее объем V при постоянной температуре связаны соотношением PV=const [7], то одинаковые приращения давления P .(уровня жидкости) вызывают неодинаковые перемещения уровня токопроводящей жидкости в измерительной камере. Для получения линейной статической характеристики реостатный преобразователь в данном уровнемере выполнен в виде неравномерной намотки или высокоомной пленки переменной ширины таким образом, чтобы приращение сопротивления реостата было обратно пропорционально квадрату перемещения подвижного контакта, т.е. уровня токопроводящей жидкости.

2.1.3. Тензометрические преобразователи

Действие тензопреобразователей основано на изменении сопротивления проводников и полупроводников при их растяжении или сжатии [15].

Тензоэлементы (или тензорезисторы) состоят из тонкой проволоки или фольги, сложенной несколько раз в форме меандра и вклеенной между эластичными бумажными, пленочными или фетровыми подкладками. Толщина проволоки (или фольги) от 0,02 до 0,05 мм. Основные конструктивные формы тензоэлементов представлены на рис. 2.3.

Изменение электрического сопротивления тензоэлемента пропорционально относительной деформации детали в месте наклейки последнего. Относительный коэффициент передачи тензодатчика $K_{отн}=(\Delta R/R)/(\Delta l/l)$. Материал для тензоэлементов должен характеризоваться возможно большей тензочувствительностью и возможно меньшим температурным коэффициентом. Обычно используются сплавы: константан, манганин, нихром, а также чистые металлы: никель, висмут. Очень высокую тензочувствительность, в 60-80 раз выше, чем у металлов, имеют полупроводники: германий, кремний и др. Полупроводниковые тензоэлементы получают выращиванием кристаллов полупроводника на мембране из диэлектрического металла (например, датчики «кремний на сапфире»).

Достоинства тензорезисторных преобразователей: простота конструкций, малые габариты, высокая точность, безинерционность; недостатки: невысокая чувствительность, зависимость сопротивления от температуры.

Низкая чувствительность тензорезисторных преобразователей требует применения усилителей выходного сигнала, а термозависимость – применения специальных мер для устранения влияния температуры.

Тензопреобразователи находят применение в датчиках силы натяжения каротажного кабеля с подвесным роликом ДНТ-033 ($\delta \leq 1{,}5\%$ при усилии до 500 *Н*) [2,17], в некоторых опробователях пластов в качестве измерителей

пластового давления (например, в ОПД-7-10), в некоторых скважинных уровнемерах типа погружных манометров [2].

Автором тензорезисторный преобразователь применен в расходомере РГЖ-1, не содержащем вращающихся деталей [19]. Чувствительным элементом этого прибора служат две гибкие пластины, установленные вдоль измеряемого потока. Поскольку давление в движущемся флюиде понижается, пластины прогибаются навстречу друг другу тем больше, чем выше скорость потока (рис. 2.4). Прогиб пластин преобразуется в электрический сигнал с помощью наклеенных на них тензоэлементов. Для устранения влияния температуры на пластине наклеены 4 тензоэлемента (2 вдоль нее и 2 поперек), соединенные по мостовой схеме. В одну диагональ моста подается переменный ток питания (частота I кГц), к другой диагонали подключен усилитель. Чувствительность описанного расходомера составляет 0,05 л/с.

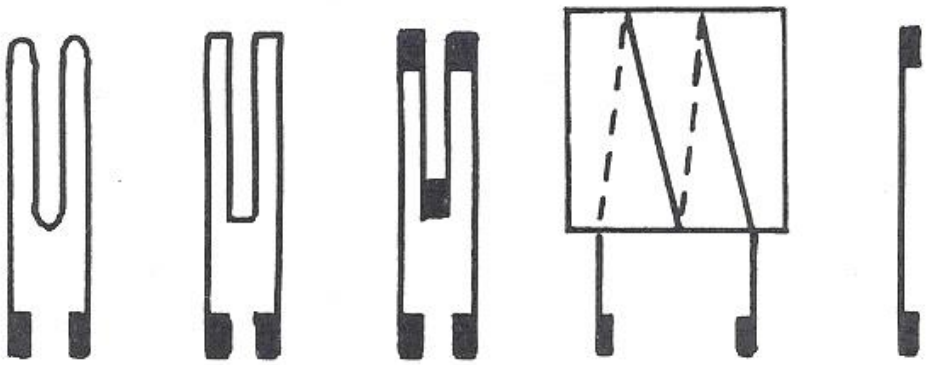


Рис. 2.3. Разновидности тензорезисторов

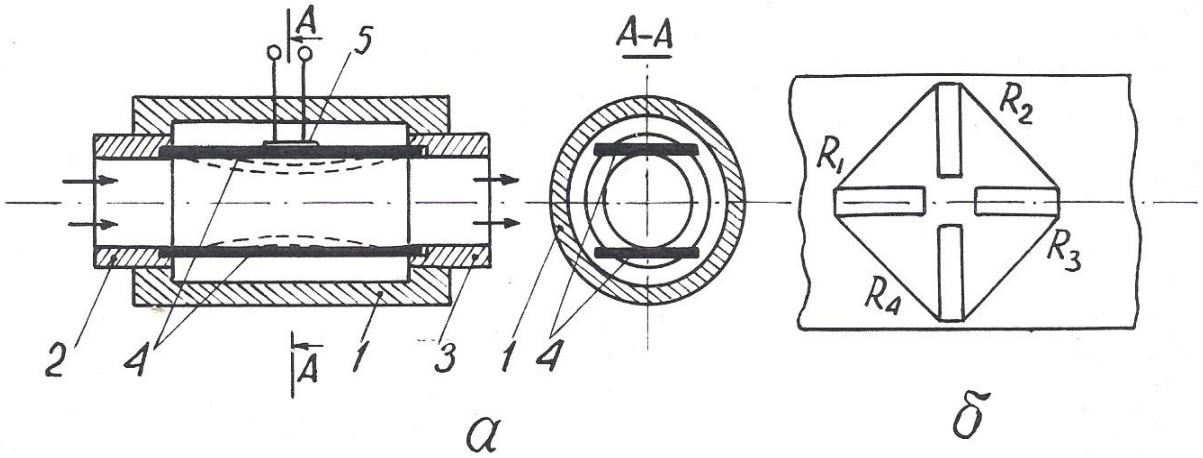


Рис. 2.4. Принцип действия расходомера РГЖ-1 (а) и размещение тензорезисторов на упругой пластине (б): 1 – корпус расходомера; 2 – входной канал; 3 – выходной канал; 4 – упругие пластины; 5 – тензометрический преобразователь прогиба пластины в электрический сигнал

2.1.4. Электролитические преобразователи

Преобразователи этого типа основаны на изменении электрического сопротивления между помещенными в электролит электродами в зависимости от расстояния между ними, площади соприкосновения с электролитом или проводимости последнего (2.1). Электролитические датчики используются для измерения угловых и линейных перемещений, а также для определения сопротивления электролита. Во избежание погрешностей, связанных с электролизом и электродной поляризацией, их включают, как правило, в цепь переменного тока.

Достоинства датчиков этого типа заключаются в простоте конструкции и способности пропускать большие токи; недостатки – в зависимости сопротивления электролита от температуры (при изменении последней на 1° электропроводность растворов изменяется на 1,5-2,5%).

В геофизической аппаратуре электролитические датчики используются в резистивиметрах всех видов: скважинных и переносных (например, в приборе ПР-1).

Еще один пример применения датчик этого типа устройство для определения направления и скорости потока подземных вод [20]. Это устройство содержит цилиндрическую измерительную камеру с перфорированными стенками, по окружности которой размещены радиальные электроды а в середине – центральный (рис. 2.5). Каждый из электродов подсоединен к своей жиле многожильного каротажного кабеля (например, кабеля КГ17-60-180ШМ. Внутри камеры располагается также магнитная стрелка с экраном из изоляционного материала на северном конце. Измерительная камера закрывается крышкой и заполняется электролитом через специальные отверстия в ней. Затем устройство опускают в скважину и устанавливают напротив исследуемого водоносного горизонта. По кабелю

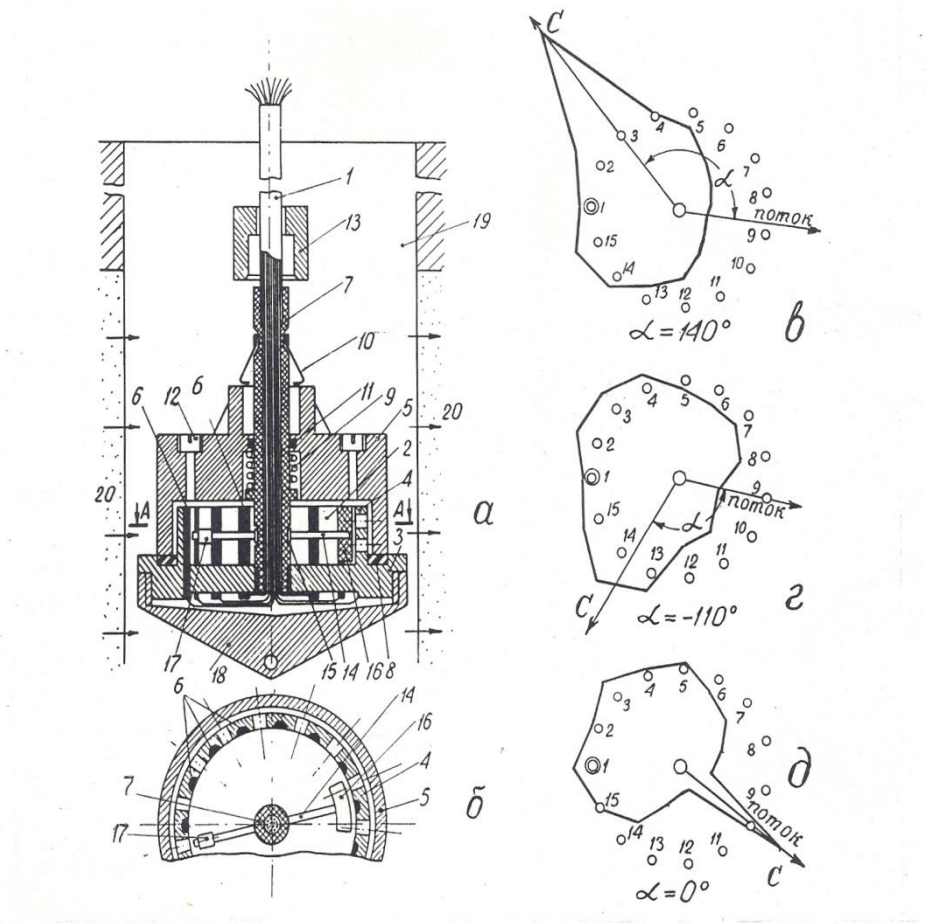


Рис. 2.5. Устройство для определения направления и скорости потока (а, б) и результаты измерений магнитного азимута потока (в-д): 1 – многожильный каротажный кабель; 2 – измерительная камера; 3 – изоляционный диск; 4 – перфорированные стенки камеры; 5 – крышка; 6 – радиальные электроды; 7 – центральный электрод; 8 – резиновая прокладка; 9 – сжатая спиральная пружина; 10 – пружинные защелки; 11 – резиновое кольцо; 12 – заливная пробка; 13 – сбивающий грузик; 14 – магнитная стрелка; 15 – скользящий подшипник; 16 – изоляционный экран; 17 – противовес; 18 – нижний наконечник.

опускают сбивающий грузик, который приводит в действие пружину, отбрасывающую крышку вверх по кабелю. Движением подземных вод электролит из измерительной камеры вымывается по направлению потока через перфорацию в стенках. Магнитная стрелка ориентируется по направлению магнитного меридиана, а экран на ее северном конце перекрывает один из

радиальных электродов. На поверхности производят измерения электрического сопротивления между центральным и каждым из радиальных электродов. Минимальное сопротивление указывает направление потока подземных вод, а максимальное – направление на север. Скорость потока определяют по скорости вымывания электролита из измерительной камеры, повторяя измерения через определенные интервалы времени. При использовании 17-жильного кабеля устройство обеспечивает абсолютную погрешность в измерении направления потока, не превышающую ±12°.

2.1.5.Терморезистивные преобразователи

Терморезистивные преобразователи основаны на свойстве металлов и полупроводников изменять свое сопротивление под действием температуры Т.

Зависимость сопротивления металлов от температуры в общем случае нелинейна, однако, для ограниченных интервалов температур ее можно представить в виде линейной двучленной функции $R_т=R_0[1+\alpha(T-T_0)]$, где R_0 – сопротивление при начальной температуре T_0, а α – температурный коэффициент сопротивления для интервала $T – T_0$.

Основным материалом для терморезисторов являются чистые металлы: платина, медь, никель, которые обладают в интервале от О до 100°С положительным α=0,0030–0,0068 (град.С)$^{-1}$.

Известны также объемные полупроводниковые терморезисторы (термисторы). Их сопротивление уменьшается с повышением температуры по экспоненте, в среднем для них α=0,03-0,04 (град. С)$^{-1}$, но значение α сильно зависит от температуры. Чувствительность (статический коэффициент передачи) терморезисторов $K_{ст}=\Delta R/\Delta T=\alpha R_0$.

Достоинства терморезистивных преобразователей: простота конструкции, малые габариты, возможность установки в труднодоступных местах. Однако им присущи и важные недостатки. Во-первых, это постоянство α лишь в ограниченном диапазоне температур и, во-вторых, инерционность, приводящая

к большим динамическим погрешностям. Как известно, термопреобразователь приобретает температуру среды по закону $\Delta T=\Delta T_0 \cdot e^{-t/\tau}$ где ΔT_0 - начальная разность температур, t – время, τ – постоянная времени преобразователя, зависящая от его конструкции и теплопроводности, а также тепловых свойств среды.

В геофизическом приборостроении преобразователи этого типа находят применение в скважинных термометрах электрических (СТС-2, ЭТМИ-55 и др.) и электронных (ТЭГ-36, ТЭГ-60 и др.).

Чувствительный элемент всех скважинных термометров представляет собой тонкую (0,02-0,03 мм) медную проволочку, сложенную в несколько раз и помещенную в тонкостенную медную трубку длиной около 30 см, омываемую скважинным флюидом [9].

Точно так же устроен чувствительный элемент скважинных расходомеров типа термоанемометров СТД-2, СТД-4 [2]. Этот термоэлемент включается в мостовую измерительную схему и нагревается до температуры, превышающей температуру исследуемого потока. Мостовая схема балансируется при размещении чувствительного элемента в неподвижной жидкости. Когда жидкость приходит в движение, она охлаждает нагретый термоэлемент, тем сильнее, чем выше скорость ее движения.

В газокаротажных станциях (АГКС-64, АГКС-4 и др. для определения суммарного газосодержания в газовоздушной смеси эта смесь подается на термочувствительный элемент в виде тонкой платиновой проволочки, нагретой до 850° С и включенной в сбалансированную мостовую схему. Если в анализируемой смеси имеются углеводородные газы, то при 850°С они сгорают, выделяющееся тепло повышает температуру проволочки, увеличивая ее сопротивление и нарушая баланс мостовой схемы [17].

Аналогичным образом действуют приборы для определения содержания СО в выхлопных газах автомобиля [6].

Известны также устройства для определения направления потока подземных вод [24], содержащие нагреватель и расположенные вокруг него

термисторы. По измерениям температуры последних определяют, в каком направлении идет перенос тепла, т.е. происходит движение подземных вод.

2.1.6. Магниторезистивные преобразователи

Эти преобразователи основаны на свойстве некоторых материалов изменять свое электрическое сопротивление под действием магнитного поля (эффект Гаусса). Таким свойством обладает, например, сплав пермаллой (80% никеля, 20% железа). Степень изменения сопротивления магниторезистора зависит от магнитной индукции поля B и угла θ между ее направлением и направлением тока [6,16,22].

Магниторезисторы изготавливаются по тонкопленочной технологии в форме меандров (рис. 2.6).

Еще большим магнитоэлектрическим эффектом, чем сплавы металлов, обладают полупроводники (антимонид индия InSb и арсенид индия InAs).

Увеличение сопротивления магниторезисторов объясняется увеличением пути движения электронов и дырок под действием силы Лоренца. Чувствительность магниторезистивных датчиков $K_{диф}=\Delta R/\Delta B$ зависит от величины магнитной индукции: $\Delta R=R_0 \cdot A(vB)^n$, где A – так называемый «коэффициент формы», v – подвижность электронов: n – постоянный коэффициент (n=1–2), зависящий от B.

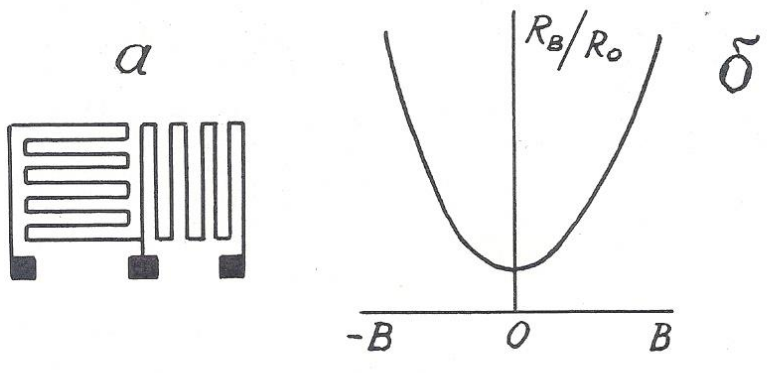


Рис. 2.6. Форма магниторезистора (а) и зависимость приращения его сопротивления от магнитной индукции (б)

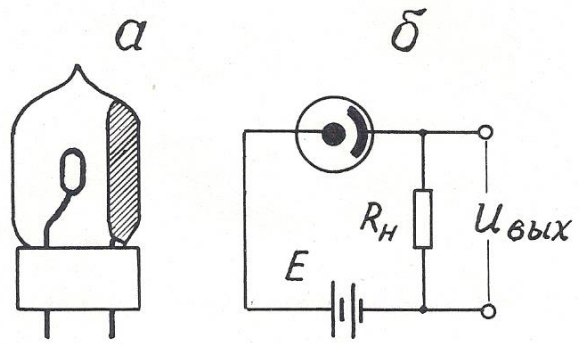


Рис. 2.7. Конструкция фотоэлемента с внешним эффектом (а) и включение его в измерительную схему (б)

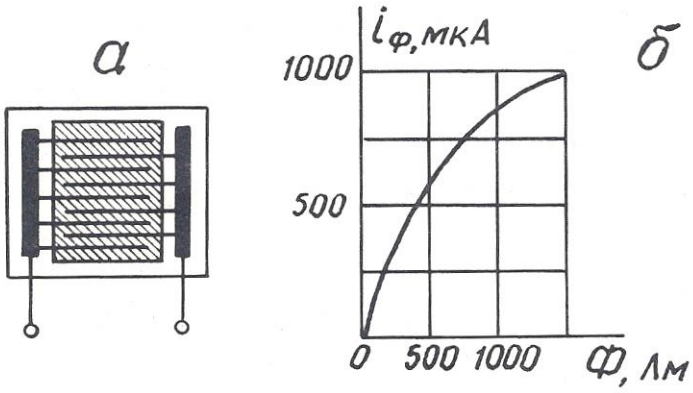


Рис. 2.8. Конструкция фотоэлемента с внутренним фотоэффектом (а) и зависимость фототока от светового потока (б)

При больших B значение n=1, поэтому при использовании магниторезисторов применяют магнитное смещение, помещая их в поле электромагнита с B=0,3 – 0,5 Тл.

Недостатки магниторезисторов: наличие температурного влияния и потребность в сильных магнитных полях.

Магниторезисторы в геофизике могут быть использованы в скважинных расходомерах и магнитных меткоуловителях каротажных станций.

2.1.7. Фотоэлектрические преобразователи

Фотоэлектрические преобразователи (фотоэлементы) основаны на явлении внешнего (электровакуумные и газонаполненные) или внутреннего (полупроводниковые) фотоэффекта.

Фотоэлемент с внешним фотоэффектом представляет собой электронную лампу с двумя электродами, один из которых (фотокатод) покрыт светочувствительным слоем (рис. 2.7). Возрастание фототока при увеличении приложенного напряжения происходит до величины тока насыщения, при котором все электроны, испускаемые фотокатодом под действием светового потока, достигают анода.

Фотоэлемент с внутренним фотоэффектом (фоторезистор) состоит из стеклянной пластины, на которой вытравлены входящие друг в друга гребневидные системы штрихов, заполненные электропроводным веществом (платина, золото). Пластина покрывается тонким слоем полупроводникового светочувствительного материала (рис. 2.8).

Чувствительность фотоэлементов $K_{диф}=\Delta R/\Delta Ф$ непостоянна и нелинейно зависит от светового потока Ф. Кроме того, фотоэлементы обладают еще и спектральной избирательностью» т.е. чувствительностью к световому излучению определенной длины волны.

Фотоэлементы могут быть использованы и в режиме источников тока, т.е. как генераторные преобразователи фотоэ.д.с.

Фотопреобразователи находят применение в приборах фотокаротажа, предназначенных для дифференциации разрезов скважин по цвету пород, в скважинных расходомерах (например, в ТСР-70Ф) в некоторых инклинометрах. Так, автором совместно с профессором. А.В.Давыдовым предложен датчик угла наклона буровой скважины для непрерывных измерений [27]. Этот датчик содержит измерительную камеру 1, частично заполненную жидкостью 2 с высоким коэффициентом поверхностного отражения, например, ртутью или сплавом Вуда, а над жидкостью соосно размещены источник света 3 и кольцевой фотопреобразователь 4 (рис. 2.9). При вертикальном положении датчика весь свет источника, отраженный от поверхности жидкости, попадает

на фотопреобразователь, и сигнал на его выходе максимален. При отклонении датчика от вертикали поверхность жидкости наклоняется относительно оси камеры, и часть отраженного света уходит за пределы фотопреобразователя. Выходной сигнал уменьшается тем сильнее, чем больше зенитный угол скважины.

2.2. Индуктивные преобразователи

Принцип действия индуктивных преобразователей основан на изменении электрического сопротивления *z* катушки индуктивности при изменении магнитного сопротивления ее сердечника. В свою очередь, магнитное сопротивление сердечника может быть изменено либо за счет изменения величины воздушного зазора в нем, либо за счёт изменения магнитных свойств материала, из которого он состоит.

2.2.1. Индуктивные преобразователи с изменяемым воздушным зазором

Входной величиной преобразователей этого типа обычно служат линейные или угловые перемещения. Чувствительность датчика $K_{диф}=\Delta z/\Delta x$.

Конструкции датчиков весьма разнообразны, некоторые из них, наиболее распространенные, представлены на рис. 2.10.

Независимо от конструкции датчика, его индуктивное сопротивление $z=j\,\omega\,L$, где ω – круговая частота тока в катушке; L – ее индуктивность. $L=W^2/R_\mu$, где W – число витков в катушке; R_μ – магнитное сопротивление сердечника. $R_\mu=R_ж+R_в$, где $R_ж$ – магнитное сопротивление железа сердечника; $R_в$ – магнитное сопротивление воздушного зазора. $R_в>>R_ж$. $R_в=\delta/(\mu_0\cdot S)$, где δ – длина воздушного зазора; S – его площадь; μ_0 – абсо-

лютная магнитная проницаемость воздуха. Таким образом, $z=-j\,\omega\,W^2\mu_0 S/\delta$, т.е. z обратно пропорционально δ и зависимость $z=f(\delta)$ нелинейна.

Линеаризовать эту зависимость удается в конструкции так называемых «дифференциальных» индуктивных преобразователей (рис. 2.11). В этих преобразователях, используются, две катушки индуктивности, включенные в мостовую схему и расположенные таким образом, что, когда индуктивное сопротивление одной увеличивается, сопротивление другой падает.

Достоинства индуктивных: преобразователей: отсутствие открытых электрических контактов, большая мощность вырабатываемого сигнала; недостаток – наличие электромагнитного взаимодействия между катушкой и сердечником (или его подвижной частью), отсюда – так называемая «реакция преобразователя».

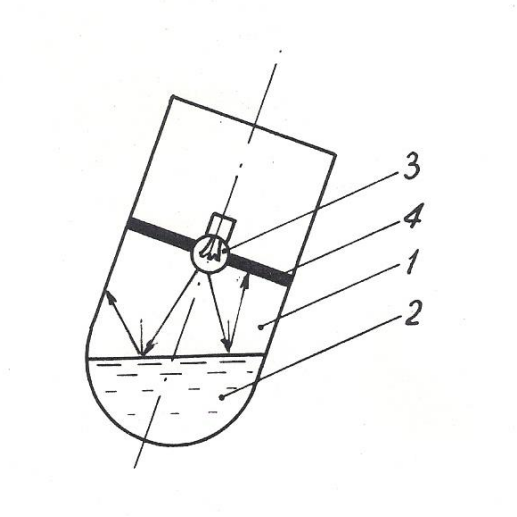


Рис. 2.9. Датчик угла наклона буровой скважины: 1 – измерительная камера; 2 – жидкость с высоким коэффициентом поверхностного отражения; 3 – источник света; 4 – кольцевой фотоприемник

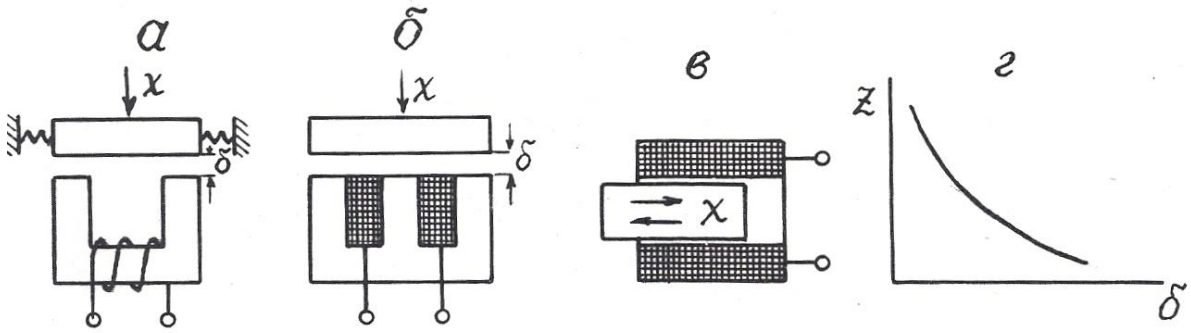


Рис. 2.10. Варианты выполнения индуктивных преобразователей с изменяемым воздушным зазором (*а-в*) и их статическая характеристика (*г*).

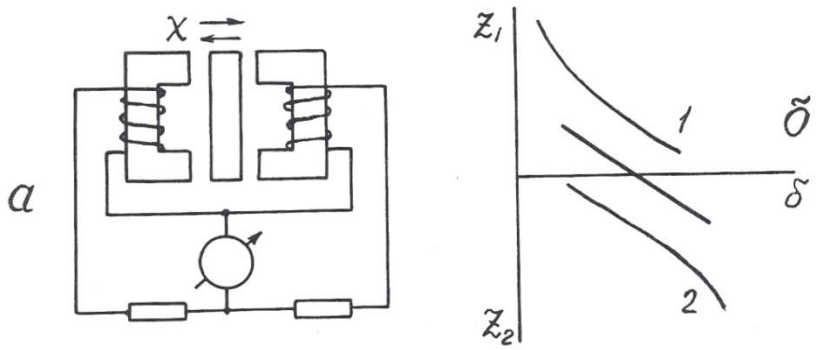


Рис. 2.11. Дифференциальный индуктивный преобразователь (а) и его статическая характеристика (б)

В геофизической аппаратуре индуктивные преобразователи находят применение в некоторых каверномерах и профилемерах (например, в профилемере ПМ-50) [2], в скважинных расходомерах ДАУ-3, РСИ-3 и ГЕО-В-600 (последний венгерского производства) [21], в индуктивных дефектомерах обсадных колонн.

2.2.2. Магнитоупругие преобразователи

Эти преобразователи основаны на взаимосвязи между магнитным и механическим состоянием ферромагнитных материалов.

Различают собственно **магнитоупругий эффект**, т.е. изменение магнитных свойств, в частности, магнитной проницаемости под воздействием меха-

нических деформаций, и обратное явление – **магнитострикционный эффект**, т.е. изменение формы и размеров ферромагнитных тел под воздействием внешнего магнитного поля.

В качестве материала для изготовления магнитоупругих датчиков используют сплавы: пермаллой, пермендюр, альсифер, ферриты, а также чистые металлы, например, никель. Конструкции преобразователей изображены на рис. 2.12.

Относительный коэффициент передачи магнитоупругого датчика $K_{отн}=(\Delta\mu/\mu)/(\Delta l/l)$ составляет около 200 и не остается постоянным при изменении размеров датчика (см. рис. 2.12, д).

Достоинства магнитоупругих датчиков: простота конструкции, прочность, удобство герметизации; недостатки: нелинейная статическая характеристика, наличие резонансной частоты.

Для стержневых датчиков (см. рис. 2.12, а, б) резонансная частота $f_0=V/2l$, где V – скорость упругих волн в материале сердечника, l – его длина; для кольцевого (см. рис. 2.12, в) – $f_0=V/2d$, где d – диаметр датчика.

Магнитоупругие преобразователи находят применение в аппаратуре акустического каротажа в качестве источников (магнито-стрикционные излучатели) упругих волн [12,17], в некоторых прихватоопределителях, а также в буровой технике – в измерителях нагрузки МКМ-2 буровых станков и в измерителях давления промывочной жидкости МИД-1, МИД-1А [5].

2.2.3. Магнитомодуляцнонные преобразователи

Эти преобразователи основаны на изменении магнитных свойств ферромагнитных материалов под действием магнитного поля.

Сердечники магнитомодуляционных преобразователей изготавливают в форме стержня с большим отношением длины l к диаметру d: $l/d>100$. При этом условии коэффициент размагничивания сердечника $N=0$ и даже в слабом магнитном поле, направленном вдоль его оси, сердечник намагничивается до

насыщения. При этом его относительная магнитная проницаемость падает до 1, хотя при ненасыщенном состоянии она очень велика – до 10000. Для того, чтобы намагнитить сердечник до насыщения, на него наносят обмотку возбуждения, по которой пропускают переменный ток.

В моменты как падения магнитной проницаемости (при возрастании намагничивающего поля до H_s), так и восстановления ее (при уменьшении намагничивающего поля ниже H_s) в обмотке индуцируются пики э.д.с. самоиндукции противоположных знаков. Частота этих пиков вдвое превышает частоту возбуждающего тока, как это можно видеть по рис.2.13.

При воздействии на датчик внешнего постоянного магнитного поля, направленного вдоль его оси, в один из полупериодов это поле складывается с магнитным полем катушки возбуждения, и сердечник доходит до насыщения быстрее, чем вне внешнего магнитного поля, в другой полупериод внешнее поле вычитается из поля катушки возбуждения, и сердечник не доходит до

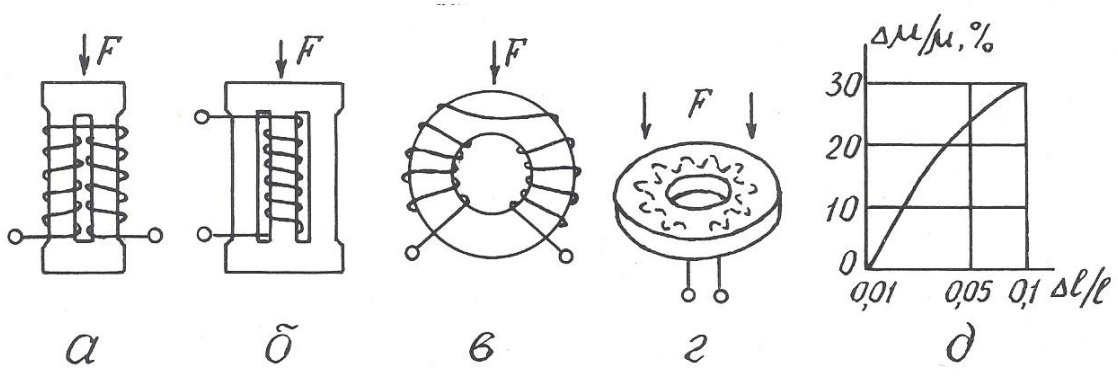


Рис. 2.12. Разновидности магнитоупругих преобразователей (а-г) и зависимость изменения магнитной проницаемости от изменения размеров преобразователя (д)

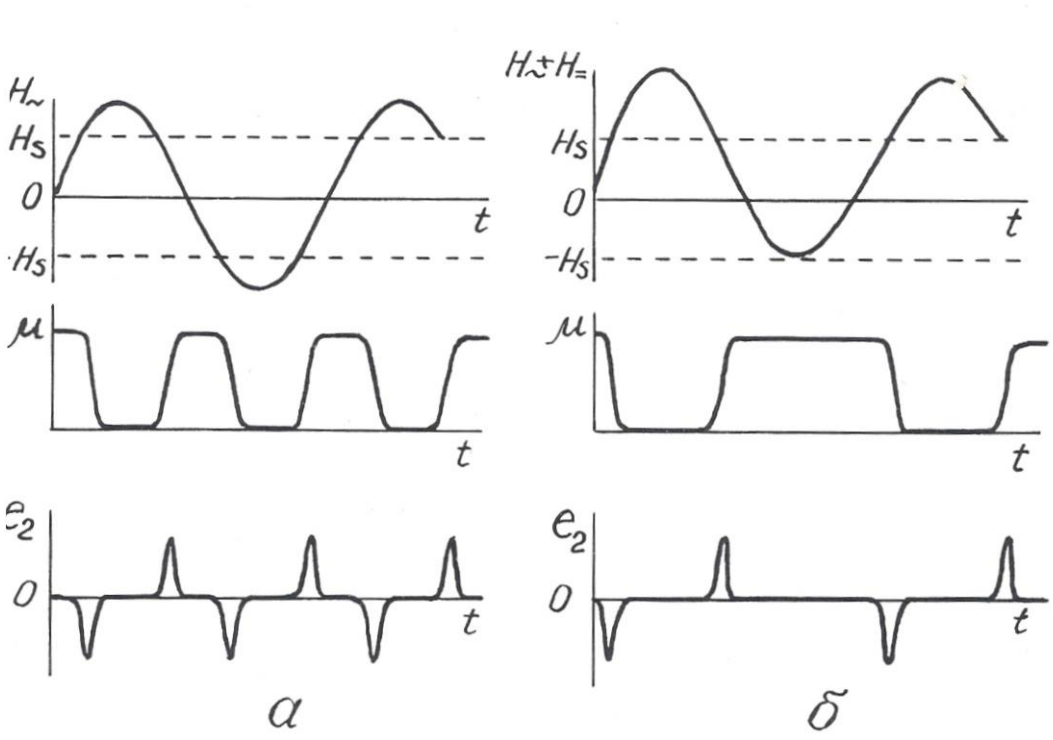


Рис. 2.13. Возникновение э.д.с. второй гармоники в магнитомодуляционном преобразователе в отсутствие (а) и при наличии (б) внешнего магнитного поля

магнитного насыщения, и нарушается симметрия перемагничивания сердечника.

Существуют 2-элементная и 1-элементная конструкции магнитомодуляционных датчиков (рис. 2.14). В 2-элементной имеются 2 параллельных сердечника, обмотки возбуждения на которых намотаны в противоположных направлениях и потому их магнитное поле имеет противоположное направление, а пики э.д.с. второй гармоники противоположны по знаку. По этой причине в сигнальной обмотке, охватывающей оба стержня, при отсутствии внешнего магнитного поля выходной сигнал равен 0. При наличии внешнего магнитного поля в один полупериод исчезает пара импульсов э.д.с. второй гармоники в одной обмотке, когда ее стержень не доходит до насыщения, в другой полупериод – не возникает такая же пара

импульсов в другой обмотке возбуждения и потому на выходе сигнальной обмотки будет существовать э.д.с. второй гармоники, имеющая частоту, удвоенную по сравнению с током возбуждения. Амплитуда этой э.д.с. пропорциональна напряженности внешнего магнитного поля, а фаза определяется направлением последнего.

В одноэлементных датчиках э.д.с. второй гармоники выделяется не с помощью дополнительной сигнальной обмотки, а с помощью фильтров, настроенных на ее частоту.

Достоинства магнитомодуляционных датчиков: простота, надежность, отсутствие открытых электрических контактов, высокая чувствительность; недостаток – необходимость в сложной измерительной схеме, обеспечивающей питание датчика переменным током, а также выделение и усиление сигнала второй гармоники. Дополнительный недостаток 2-элементных датчиков – большое количество выводов.

Магнитомодуляционные преобразователи находят широкое применение в магнитометрической аппаратуре – 2-элементные в полевых (М-17) и аэромагнитометрах (АММ-13, АСГМ-46) [3], 1-элементные – в скважинных

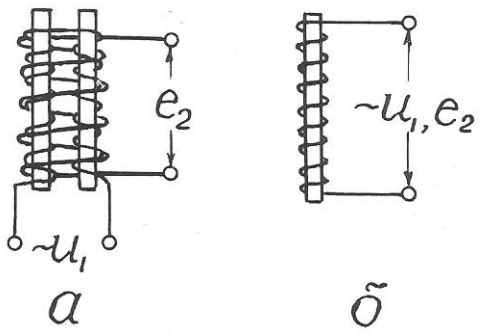


Рис. 2.14. Конструкция 2-элементного (а) и 1-элементного (б) магнитомодуляционного преобразователя

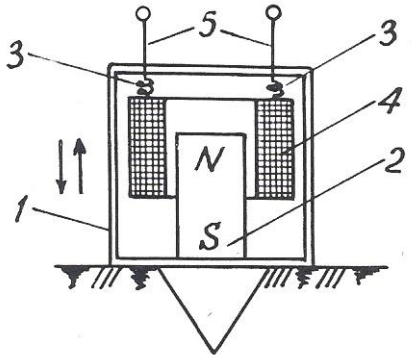


Рис. 3.1. Сейсмоприемник магнитоэлектрического типа: 1 – корпус; 2 – постоянный магнит; 3 – пружинки; 4 – катушка индуктивности; 5 – электрические выводы

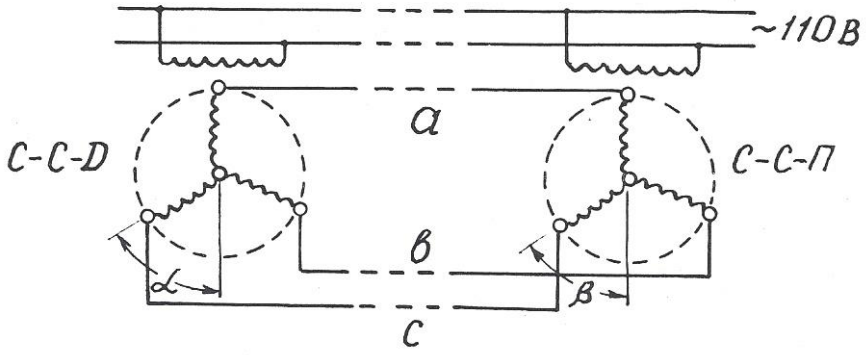


Рис. 3.2. Электрическая схема сельсинной передачи

магнитометрах ТСМ-3, ТСМК-40, ТСМК-30, КСМ-38 и др. [12,17]. Они используются также в скважинных расходомерах РЭТС-2 и магнитных меткоуловителях каротажных станций.

2.3. Емкостные преобразователи

Преобразователи этого вида основаны на изменении емкости C конденсатора под действием измеряемой величины.

Как известно, $C=\varepsilon S/\delta$ (2.2), где S – площадь обкладок конденсатора; δ – расстояние между ними; ε – диэлектрическая проницаемость среды между

обкладками. Следовательно, изменять емкость можно путем воздействия измеряемой величины либо на геометрические размеры датчика, либо на его диэлектрическую проницаемость. При этом очевидно, что датчики с изменяемыми параметрами S и ε имеют линейную статическую характеристику, а датчики с изменяемой величиной δ – нелинейную. В последнем случае для линеаризации характеристики возможно применение дифференциальных емкостных преобразователей, аналогичных по конструкции дифференциальным индуктивным датчикам.

Входными величинами емкостных датчиков могут быть линейные и угловые перемещения, механические усилия, деформации, изменение состава вещества.

Достоинства емкостных датчиков: высокая чувствительность, безинерционность, стабильность; недостаток – малая выходная мощность.

Датчики этого вида используются в аппаратуре диэлектрического каротажа ДК-1.Чувствительный элемент этой аппаратуры представляет собой цилиндрический конденсатор больших размеров, емкость которого зависит от диэлектрической проницаемости окружающих горных пород [2].

В так называемых «аквамерах» – приборах для определения количества воды в смесях «вода-нефть», откачиваемых из буровых скважин, также применяется емкостной датчик. Действие этого прибора основано на том, что у воды $\varepsilon=81$, а у нефти $\varepsilon=2,5$ отн.ед.(при температуре 18^0 С)

В некоторых скважинных термометрах используются в качестве частотозадающего элемента в схеме *RC*-генератора конденсаторы, емкость которых зависит от температуры.

Кроме того, известны скважинные емкостные измерители зенитного угла [25]. Их чувствительный элемент – конденсатор, одна обкладка которого представляет собой металлическую изолированную полусферу, установленную перпендикулярно оси прибора, а другая обкладка – залитую в эту сферу ртуть. При вертикальном расположении датчика емкость его максимальна, при наклоне – уменьшается.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные характеристики контактных преобразователей и приведите примеры их применения в геофизической аппаратуре (ГА).

2. Назовите основные характеристики реостатных преобразователей, приведите примеры их применения в ГА.

3. Назовите основные характеристики тензометрических преобразователей и приведите примеры их применения.

4.Назовите основные характеристики электролитических преобразователей и приведите примеры их применения в ГА.

5. Назовите основные характеристики терморезистивных преобразователей и приведите примеры их применения в ГА.

6. Назовите разновидности и основные характеристики фоторезистивных преобразователей, приведите примеры применения их в ГА.

7. Назовите разновидности индуктивных преобразователей.

8. Поясните принцип действия индуктивных преобразователей с изменяемым воздушным зазором, приведите примеры их применения в ГА.

9. Поясните принцип действия магнитоупругих преобразователей, приведите примеры их применения в ГА.

10. Поясните принцип действия магнитомодуляционных преобразователей, приведите примеры их применения.

11. Назовите основные характеристики емкостных преобразователей и приведите примеры их применения.

3.ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ГЕНЕРАТОРНОГО ТИПА

Во всех генераторных преобразователях выходной величиной является э.д.с., появляющаяся в результате воздействия измеряемой величины.

3.1. Преобразователи индукционной э.д.с.

Эти преобразователи основаны на явлении электромагнитной индукции, возникающей при воздействии на проводник переменного магнитного поля.

Изменение магнитного поля, воздействующего на проводник или, точнее, на катушку индуктивности, достигается либо за счет перемещения катушки относительно постоянного магнита, либо за счет изменения магнитного поля при неизменном расположении магнита и катушки индуктивности.

3.1.1 Преобразователи индукционной э.д.с, со взаимным перемещением магнита и катушки индуктивности

Э.д.с., возникающая в катушке индуктивности, зависит от следующих факторов: $e=BVlW\sin\alpha$, где B – магнитная индукция; V – относительная скорость перемещения; α – угол между векторами V и B, l – длина витка и W – число витков в катушке.

Преобразователи этого вида широко используются в геофизической аппаратуре. Примером могут служить сейсмоприемники магнито-электрического типа (С210, СВ1-30 и др.), принцип действия которых иллюстрируется рис. 3.1 [3]. С корпусом приемника 1 жестко скреплен постоянный магнит 2. Над магнитом на пружинках 3 подвешена катушка индуктивности 4 с электрическими выводами 5. При колебаниях поверхности, на которой установлен сейсмоприемник, происходят взаимные перемещения магнита 2 и катушки индуктивности 4, и в последней наводится э.д.с.

Другой пример использования датчиков этого вида – автосинная (или сельсинная) передача, которая применяется в каротажных станциях для синхронизации движения носителя записи (диаграммной или магнитной ленты) с перемещением, зонда по скважине [12]. Принципиальная схема сельсинной передачи представлена на рис. 3.2. Передача содержит, по меньшей мере, две идентичных электрических машины, у которых статор имеет однофазную обмотку с явно выраженными полюсами, а ротор – трехфазную обмотку с неявно выраженными полюсами. Одна машина, называемая сельсином-

датчиком (ССД), устанавливается на блок-балансе, через который в скважину опускается кабель со скважинным снарядом. При движении кабеля по скважине блок-баланс через зубчатую передачу приводит во вращение ротор сельсина-датчика. Другая машина, называемая сельсином-приемником (ССП), устанавливается в регистрирующем приборе каротажной станции и играет роль привода его лентопротяжного механизма. Обмотки роторов ССД и ССП включены навстречу друг другу, а обмотки статоров питаются переменным током промышленной частоты от одного и того же источника. Переменный ток создает в обмотках статоров пульсирующие магнитные потоки, которые индуцируют в роторных обмотках э.д.с., зависящие от угла поворота ротора относительно статора. Если эти углы у роторов ССД и ССП одинаковы ($\alpha=\beta$), то э.д.с., в их обмотках равны и взаимно компенсируют друг друга. Токи в каждой роторной цепи равны нулю. Если эти углы не равны ($\alpha\neq\beta$), баланс э.д.с. нарушается, и в роторных обмотках возникают токи, которые создают в них магнитные поля, стремящиеся повернуть роторы до положения $\alpha=\beta$.Поскольку ротор ССД механически связан с роликом блок-баланса, находящегося под большой нагрузкой, то поворачивается все время ротор ССП, нагрузка на который меньше и который перемещает носитель записи синхронно с движением скважинного прибора. С одним и тем же ССД могут быть соединены несколько ССП, например, один в регистрирующем приборе, другой на панели лебедчика в блоке счетчика глубин.

Еще один пример применения датчиков этого вида – тахогенераторы – приборы для измерения скорости вращения [5]. В этих приборах ротор генератора вращается в поле постоянного магнита или электромагнита, а индуцируемая в нем э.д.с. выпрямляется и измеряется стрелочным или цифровым прибором. Такие тахогенераторы также используются в каротажных станциях для измерения скорости движения скважинного снаряда. Приводом ротора тахогенератора служит один из сельсинов-приемников автосинной передачи.

3.1.2. Преобразователи индукционной э.д.с. со стационарным размещением магнита и катушки индуктивности

В преобразователях этого вида изменение магнитного поля достигается за счет перемещения ферромагнитных масс в воздушном зазоре между магнитом и катушкой индуктивности. В общем случае э.д.с. индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока Ф и числу витков в катушке: $e=-wd\Phi/dt$.

На рис. 3.3 представлено несколько примеров применения преобразователей этого вида в геофизической аппаратуре.

В скважинном каппаметре Н. А. Иванова (рис. 3.3, а) датчик представляет собой катушку индуктивности с большим количеством витков, намотанную на постоянном стержневом магните. Когда такой датчик перемещается по стволу скважины мимо горных пород с повышенными магнитными свойствами, это вызывает изменение магнитного потока через катушку индуктивности, и в ней

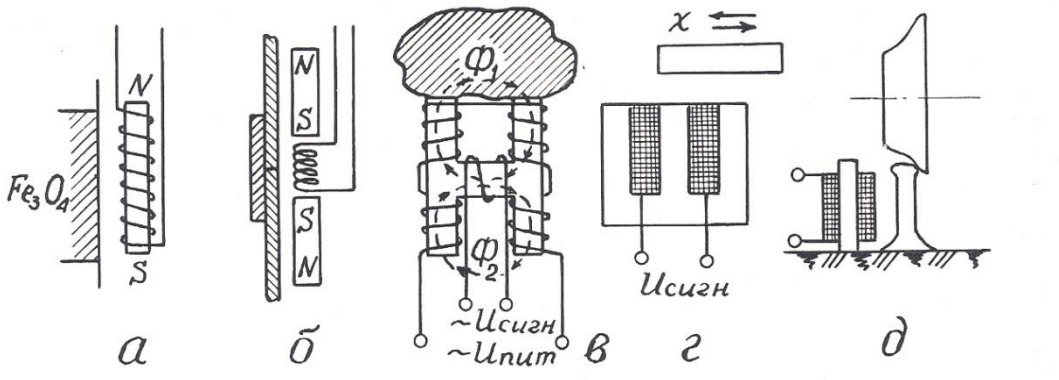


Рис. 3.3. Примеры применения преобразователей индукционной э.д.с.: а – скважинный каппаметр Н. А. Иванова; б – локатор муфт; в – лабораторный измеритель магнитной восприимчивости; г – счетчик количества; д – счетчик вагонеток

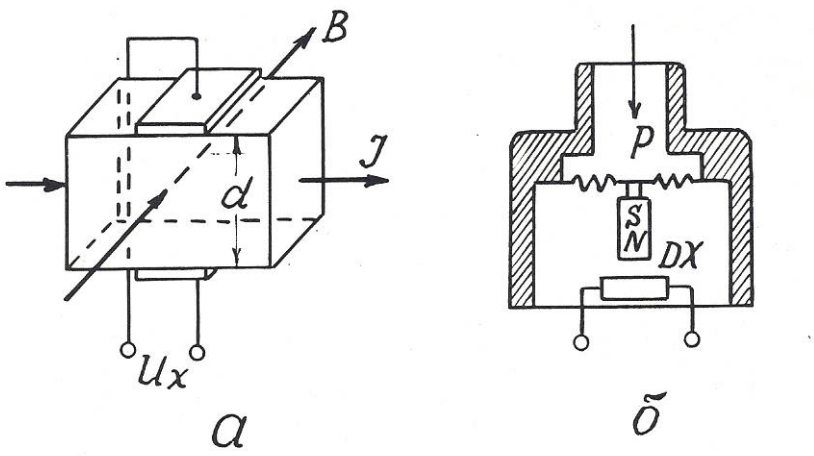


Рис. 3.4. Принцип действия преобразователя Холла (а) и его применение в манометре мембранного типа (б)

возникает э.д.с., пропорциональная магнитной восприимчивости горных пород. В наземном измерительном пульте эта э.д.с., усиливается, выпрямляется и выводится на регистрирующий прибор.

В 50-60 годах каппаметры Н. А. Иванова успешно применялись для исследования скважин на железорудных месторождениях Урала, но потом были заменены более совершенными приборами, поскольку описанный датчик имеет один явный недостаток – сигнал на его выходе зависит не только от магнитных свойств среды, но и от скорости перемещения датчика.

До настоящего времени при исследованиях обсаженных скважин применяются так называемые «локаторы муфт» – приборы, предназначенные для определения положения соединительных муфт обсадных колонн в скважинах [17].

Локатор муфт (рис. 3.3, б) содержит катушку индуктивности и два идентичных постоянных магнита, размещенных выше и ниже нее навстречу друг другу одноименными полюсами. Когда такой прибор перемещается по стальной трубе, имеющей постоянную толщину стенок, магнитные потоки верхнего и нижнего магнитов равны и в области расположения катушки

индуктивности компенсируют друг друга. Когда же прибор проходит через соединительную муфту, то из-за увеличения толщины стали сначала усиливается магнитный поток одного (верхнего), а затем другого (нижнего) магнита. В результате в катушке возникает пара разнополярных импульсов э.д.с., которые и регистрируются на диаграммной ленте.

Еще один пример применения преобразователей данного вида – измерители магнитной восприимчивости образцов горных пород (прибор ИМВ-2) [3]. Датчик измерителя (рис. 3.3, в) представляет собой «Н» – образный сердечник с четырьмя обмотками возбуждения на концах сердечника и одной измерительной обмоткой на его «перекладине». Обмотки возбуждения подключены к источнику переменного тока и соединены таким обрезом, чтобы магнитные потоки, создаваемые ими в «перекладине» сердечника, были направлены навстречу друг другу. Когда датчик находится в воздухе, эти потоки взаимно компенсируются, и сигнал в измерительной обмотке равен нулю. Когда к рабочей поверхности датчика прикладывается образец с повышенной магнитной восприимчивостью, магнитный поток, проходящий через него, увеличивается, и в измерительной обмотке наводится э.д.с., которая затем усиливается и измеряется.

Датчики данного вида находят также применение в технике как счетчики металлических предметов (рис. 3.3, г), счетчики вагонеток (рис. 3.3, д) и т.п. [5].

Общими достоинствами преобразователей индукционной э.д.с. является большая мощность выходного сигнала и отсутствие открытых электрических контактов, недостатком – наличие электромагнитного взаимодействия между магнитом и катушкой индуктивности.

3.2. Преобразователя гальваномагнитной э.д.с.

3.2.1. Преобразователи Холла

Преобразователи этого вида основаны на эффекте Холла, наблюдаемом в полупроводниках. Этот эффект проявляется в возникновении разности потенциалов U_x на обкладках датчика, по которому протекает ток I, при помещении его в магнитное поле, направленное перпендикулярно току. Принцип действия преобразователя Холла поясняется рис. 3.4.

$U_x=K_x \cdot IB/d$, где B – магнитная индукция; d – толщина датчика; K_x – коэффициент Холла, зависящий от характеристики материала и размеров датчика. Эффект Холла наблюдается в таких полупроводниковых материалах, как антимонид индия (InSb), арсенид индия (InAs), арсенид галлия (GaAs), арсенид-фосфат индия ($InAs_{0,8}P_{0,2}$) и др. Чистые полупроводники германий и кремний имеют очень высокое значение коэффициента Холла, но весьма чувствительны к режиму работы.

Датчики Холла используются для измерения перемещений, давления, числа оборотов и скорости вращения.

Достоинство датчиков: высокая чувствительность; недостатки: потребность во внешнем источнике питания, высокое выходное сопротивление и необходимость в высоком внутреннем сопротивлении источника питания, наличие четырех выводов.

В геофизической аппаратуре датчики Холла могут быть использованы для улавливания магнитных меток на каротажном кабеле (патент США № 4709208) или для измерения давления (рис. 3.4, б).

Отечественная приборостроительная промышленность выпускает микросхемы серии К1116 с датчиками Холла для магнитного управления электрическими цепями [16].

3.2.2. Преобразователи Виганда

Магнитобистабильный преобразователь Виганда состоит из специально обработанной проволоки из сплава викаллой (ванадий-10%, кобальт-52%, железо-38%) небольшого диаметра (около 0,3 мм), на которую нанесена

обмотка индуктивности (рис. 3.5). При помещении датчика в магнитное поле в момент превышения напряженностью поля определенного порога направление намагниченности сердечника катушки спонтанно меняется, и в катушке возникает импульс напряжения длительностью около 20 мкс. При длине датчика 15 мм и числе витков w=1300 выходное напряжение достигает 2,5 В [6].

Достоинства датчиков Виганда: большой выходной сигнал, отсутствие внешнего питания, широкий температурный диапазон (от - 196 до + 175° С), искробезопасность.

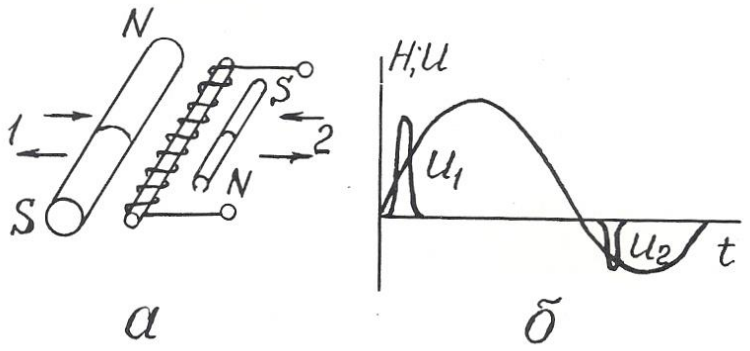


Рис. 3.5. Устройство преобразователя Виганда (а) и осциллограмма его выходного сигнала (б)

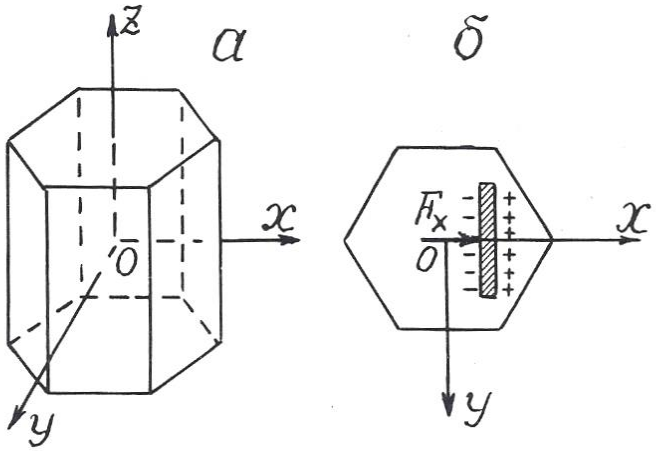


Рис. 3.6. Основные оси кристалла кварца (а) и возникновение пьезоэ.д.с. на кварцевой пластине (б)

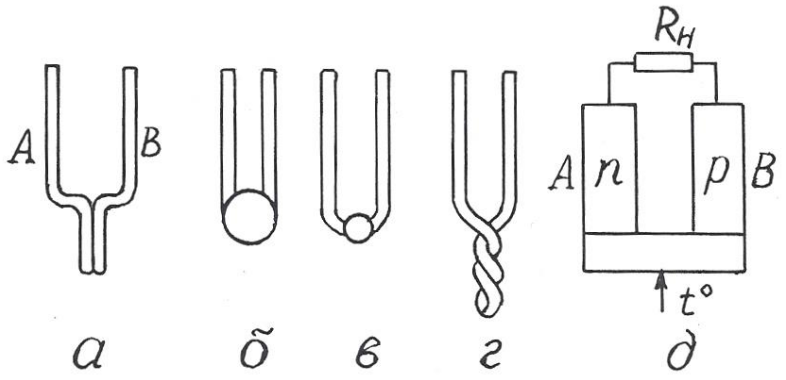


Рис. 3.7. Преобразователи термоэ.д.с. металлические (а-г) и полупроводниковые (д)

Ввиду того, что датчики Виганда были разработаны сравнительно недавно, в конце 80-х годов, они пока еще не используются в геофизической аппаратуре, хотя и могли бы найти применение, например, в магнитных меткоуловителях, устройствах блокировки, каротажных станций и других приборах.

3.3. Преобразователи пьезоэ.д.с.

Действие пьезопреобразователей основано на пьезоэлектрическом эффекте, который возникает в результате взаимосвязи между механическим и электрическим состоянием некоторых диэлектрических материалов, называемых **пьезоэлектриками**.

Различают **прямой пьезоэффект**, заключающийся в возникновении электрических зарядов на гранях кристаллов пьезоэлектриков под действием механических напряжений и исчезновении их после снятия нагрузки, и **обратный пьезоэффект**, проявляющийся в изменении формы и размеров пьезоэлектриков под действием электрического поля.

Способность к пьезоэффекту характеризуется пьезоэлектрической постоянной (пьезомодулем), величина которой определяется электрическим зарядом в Кл, возникающим вод действием внешней силы в 1 Н: $K_{пэ}=Q/F$.

Наиболее сильно пьезоэффект выражен у сегнетоэлектриков – веществ с аномально высокой диалектрической проницаемостью. К ним относиться сегнетовая соль, кварц, турмалин, титанат бария и некоторые другие вещества.

Самая высокая пьезоэлектрическая постоянная у сегнетовой соли ($C_4H_4O_6KNa$): $K_{пэ}=300\cdot10^{-12}$ Кл/Н; у титана бария ($BaTiO_3$) $K_{пэ}= 100\cdot10^{-12}$ Кл/Н; у кварца $K_{пэ}=2{,}1\cdot10^{-12}$ Кл/Н.

Основные свойства пьезоэлектрических датчиков рассмотрим на примере кварца. Кристалл кварц имеет главную оптическую ось *z*, нейтральную или механическую ось *y*, и электрическую ось *x* (рис.3.6). Максимальный пьезоэффект наблюдается при воздействии механических нагрузок вдоль электрической оси *x*, поэтому пластины для пьезопреобразователей вырезают из кристаллов кварца перпендикулярно оси *x*.

Возникновение пьезоэффекта объясняется тем, что под действием механических сил происходит смещение электрических зарядов – одна область кристалла заряжается положительно, другая – отрицательно.

Достоинства преобразователей этого вида: безынерционность, линейная статическая характеристика, высокая собственная частота, малые габариты; недостатки: утечка зарядов с течением времени, необходимость гидроизоляции.

Применяются пьезопреобразователи для измерения динамических нагрузок, деформаций, перемещений.

В геофизической аппаратуре пьезопреобразователи используются в качестве приемников упругих колебаний в скважинных приборах акустического каротажа (СПАК-2, СПАК-4, СПАК-6 и др.). Такой пьезоэлектрический сейсмоприемник изготавливается в виде полой сферы из пьезокерамики, внутренняя и внешняя поверхности которой имеют серебряное покрытие для облегчения снятия с них электрических зарядов. От промывочной жидкости в скважине сейсмоприемник отделен слоем резины [2,17].

В полевой геофизике существует сейсмоэлектрический метод разведки, который заключается в возбуждении с помощью взрыва пьезоэффекта на

кристаллах естественных пьезоэлектриков в условиях их коренного залегания и в измерении этого эффекта с помощью системы электродов [3].

В быту пьезопреобразователи используются в качестве звукоснимателей в электропроигрывателях, в зажигалках для газовых плит (прямой пьезоэффект), в звукоизлучателях электронных часов и ПЭВМ (обратный пьезоэффект) [22].

3.4. Преобразователи термоэ.д.с.

Преобразователи этого вида основаны на термоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что в цепи из двух разнородных проводников при поддержании разных температур в точках их соединения возникает э.д.с., пропорциональная разнице этих температур (эффект Зеебека) [22].

Термоэлектрические преобразователи называют термопарами а проводники А и В, из которых они состоят – термоэлементами (рис. 3.7).

Один **чувствительный спай** термоэлементов подвергают воздействию измеряемой температуры, температуру другого, **опорного**, поддерживают постоянной.

Чувствительность термопреобразователей составляет от 5 до 60 мкВ/К.

Наибольшую чувствительность имеют термопары, составленные из двух полупроводников с различной (электронной и дырочной) природой проводимости.

Достоинства термопреобразователей: отсутствие источников питания, линейная статическая характеристика, большой диапазон измеряемых температур; недостаток: малая мощность сигнала отдельной термопары.

В геофизике используются металлические термопреобразователи в качестве термометров для исследования скважин на месторождениях парогидротерм, полупроводниковые – в качестве датчиков в полевой терморазведке.

В технике термопары используются в системах автоматического регулирования температуры в различных металлургических процессах. В годы

Великой Отечественной войны выпускались батареи полупроводниковых термопреобразователей, которые надевались на стекло керосиновой лампы и вырабатывали электроэнергию, достаточную для питания лампового приемника или рации.

3.5. Преобразователи фотоэ.д.с.

В этих преобразователях используются два полупроводника с разным характером проводимости (рис. 3.8, а). На их контакте происходит взаимная диффузия электронов в *p*-полупроводник, дырок – в *n*-полупроводник. Дырки рекомбинируют с электронами, в результате на контакте полупроводников образуется тонкий запирающий слой – «*p*-*n*-переход». Такие преобразователи могут работать в режиме источника тока и фотодиода.

При отсутствии светового облучения через такой преобразователь проходит очень небольшой, так называемый «темновой ток», соответствующий обратному току диода. При световом облучении *p*-*n* -перехода кванты света образуют добавочные носители тока.

Под действием разности потенциалов потенциального барьера *p*-*n*-перехода электроны перемещаются в зону *n*-полупроводника, а дырки – в зону *p*-полупроводника, создавая фотоэ.д.с., на выводах прибора. На рис. 3.8, а электроны и дырки, прошедшие через *p*-*n*-переход в результате диффузии и создавшие потенциальный барьер *p*-*n*-перехода, условно обозначены как «+» и «-» без кружочков. Добавочные дырки и электроны, возникшие под действием облучения, показаны как «+» и «-» в кружочках. Стрелками показано направление действующих на них сил поля *p*-*n*-перехода.

На рис. 3.8, б показан разрез германиевого фотодиода, состоящего из пластины германия 1 с проводимостью *n*-типа, которая сплавлена с индием 2 (проводимость *p*-типа). Толщина слоя германия над индием настолько мала, что кванты света свободно проникают через него в зону *p*-*n*-перехода. Корпус 3 выполнен из оргстекла и залит компаундом 4.

Спектральные характеристики фотопреобразователей зависят от используемых в них материалов.

Интегральная чувствительность германиевых фотопреобразователей имеет наибольшее значение $K_{диф}=\Delta I/\Delta\Phi=20$ мА/лм. Э.д.с. фотогенераторов не превышает 0,12-0,5 В.

Преобразователи фотоэ.д.с. изготавливаются из кремния, селена, сернистого таллия и сернистого серебра. Достоинством селеновых фотопреобра-

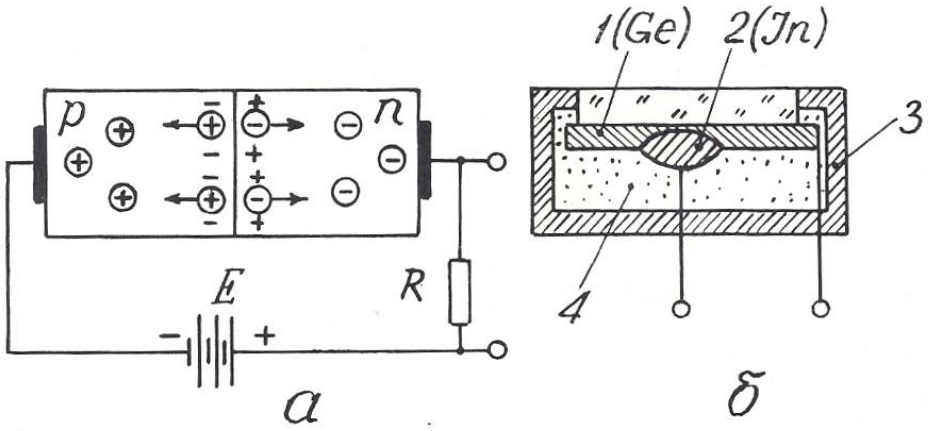


Рис. 3.8. Преобразователь фотоэ.д.с.: принцип действия (а) и конструкция (б)

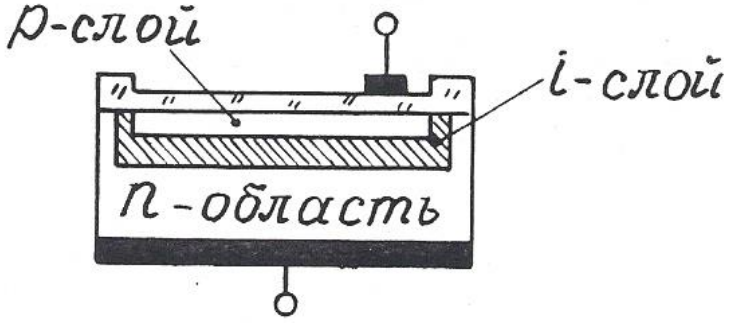


Рис. 3.9. Структура *pin*-диода

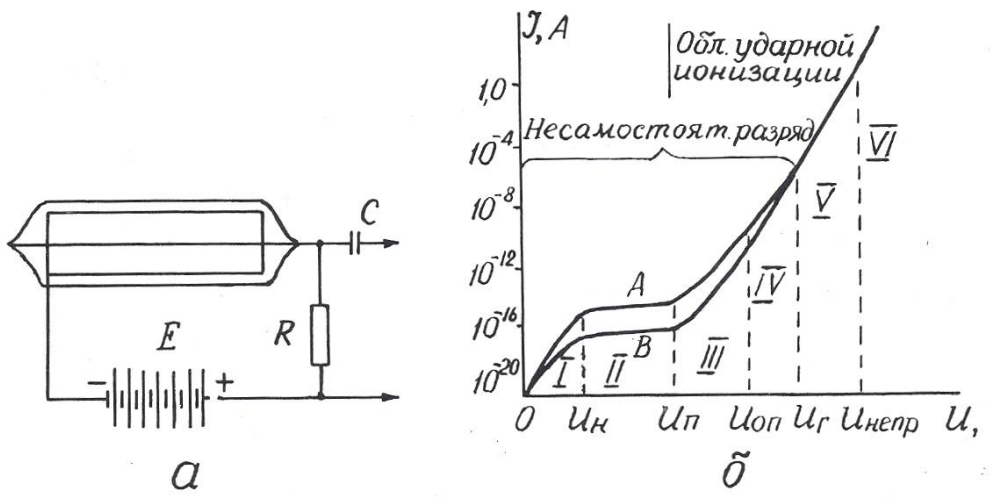


Рис. 4.1. Устройство газоразрядного счетчика (а) и его вольт-амперная характеристика (б): А – β-частица; В – γ-квант

зователей является их спектральная чувствительность, близкая к чувствительности человеческого глаза.

Для увеличения количества дополнительных носителей, образующихся в *p-n*-переходе под действием светового облучения, между *p* и *n*-полупроводниками располагают дополнительный слой нелегированного высокоомного кремния (*i*-слой) – рис. 3.9. Такие фотоэлектрические приборы носят название *pin*-диодов. Область применения их в геофизической аппаратуре та же, что и фоторезистивных датчиков (см. раздел 2.1.7).

Контрольные вопросы

1. Назовите основные характеристики преобразователей индукционной э.д.с., их разновидности и приведите примеры их применения в технике и геофизической аппаратуре (ГА).

2. Поясните принцип действия датчика Холла и объясните его устройство (рис. 3.4, а).

3. Поясните принцип действия и устройство датчика Виганда (рис. 3.5).

4. Поясните принцип действия преобразователей пъезоэ.д.с. и приведите примеры их применения в ГА.

5. Поясните принцип действия преобразователей термоэ.д.с. и приведите примеры их применения в технике и ГА.

6. Поясните принцип действия преобразователей фотоэ.д.с. и приведите примеры их применения.

4. РАДИАЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

В настоящем пособии будут рассмотрены только те радиационные преобразователи, которые преобразуют энергию ядерного излучения в электрический сигнал. Эти преобразователи называются также детекторами радиоактивных излучений. Они бывают трех видов: газоразрядные, сцинтилляционные и полупроводниковые.

4.1. Газоразрядные детекторы

В газоразрядном детекторе происходит непосредственное преобразование энергии радиоактивного излучения в электрические импульсы.

Газоразрядный детектор представляет собой металлический цилиндр, по оси которого натянута тонкая металлическая нить. Цилиндр играет роль катода и подключается к «минусу» источника постоянного напряжения, нить (анод) – к «плюсу». И нить, и цилиндр могут быть помещены в стеклянный баллон (рис. 4.1, а). Полость детектора заполнена газом под низким давлением (примерно – $1{,}5 \cdot 10^4$ Па). При прохождении через детектор нейтроны и гамма-кванты взаимодействуют с атомами вещества его катода и газового наполнителя, вызывая ионизацию газа и, как следствие, прохождение кратковременного импульса тока, сила I которого зависит от напряжения U между электродами. При схеме включения детектора, изображенной на рис. 4.1, а, на нагрузочном сопротивлении R импульс тока создает отрицательный импульс напряжения, который через разделительный конденсатор C подается на усилительно-регистрирующую схему [13].

Зависимость $I=f(U)$ или вольт-амперная характеристика счетчика приведена на рис. 4.1, б. В ней выделяются шесть областей, отличающихся по механизму переноса ионов в электрическом поле счетчика. В области I при

малых напряжениях на электродах ток возрастает пропорционально напряжению, т.к. с ростом напряжения уменьшается количество рекомбинирующихся ионов и все большее их количество достигает электродов счетчика. Эта область (от 0 до $U_н$) называется **омической**. Начиная с некоторого значения $U_н$, ток достигает насыщения (все ионы долетают до анода и катода) и перестает возрастать. Величина ионизационного тока во II области (от $U_н$ до $U_п$) определяется только количеством ионов, образующихся в единицу времени. Преобразователи, работающие в этой области, носят название **ионизационных камер**. При дальнейшем, свыше $U_п$ росте напряжения, несмотря на постоянство начальной ионизации, происходит рост тока в импульсе. Это связано с возникновением ударной ионизации, при которой электроны, образующиеся при первоначальном воздействии радиации, ускоряются электрическим полем счетчика настолько, что начинают ионизировать молекулы газового наполнителя. Отношение числа ионов, достигших анода счетчика, к числу первичных ионов, созданных регистрируемой частицей (или гамма-квантом), называется **коэффициентом газового усиления**. Величина его зависит от приложенного напряжения.

С возникновением ударной ионизации вначале ток возрастает пропорционально напряжению на электродах (область пропорциональности III от $U_п$ до $U_{оп}$), здесь отмечается относительно невысокий коэффициент газового усиления (до 10^4), а при дальнейшем увеличении U пропорциональность нарушается и от $U_{оп}$ до $U_г$ следует IV область – **ограниченной пропорциональности**. За ней идет область Гейгера (V), в которой амплитуда импульса не зависит от начальной ионизации. Коэффициент газового усиления достигает 10^8-10^9 и продолжает увеличиваться с ростом напряжения. За областью Гейгера следует область **непрерывного разряда** (VI), для возникновения которого не нужна первичная ионизация, достаточно к электродам счетчика приложить напряжение, превышающее $U_{непр}$.

Области V и VI – это области самостоятельного разряда, который не требует для своего поддержания внешних источников ионизации.

Газоразрядные детекторы, применяемые в геофизической аппаратуре, работают либо в пропорциональной области (пропорциональные счетчики), либо в области Гейгера (счетчики Гейгера-Мюллера).

Пропорциональные счетчики используются для измерения плотности потока тепловых нейтронов. Баллон счетчика заполняется трехфтористым бором (BF_3), обогащенным до 96 % изотопом B-10, имеющим большое сечение захвата тепловых нейтронов. При захвате нейтрона происходит реакция B (n,α) Li, α – частица производит первичную ионизацию в объеме счетчика. Для измерений нейтронов надтепловых энергий счетчик окружают сначала слоем водородсодержащего вещества, например, парафина, а затем тонким (около 0,5 мм) слоем кадмия. Кадмий поглощает тепловые нейтроны, а надтепловые в парафине замедляются до тепловых энергий и затем фиксируются счетчиком.

Счетчик Гейгера-Мюллера применяется для регистрации гамма-квантов. Он заполняется инертным газом (аргоном или гелием) с добавкой паров высокомолекулярных органических соединений (этилового спирта или этилового эфира) или галогенов (хлора, брома). Такая добавка способствует гашению непрерывного разряда, т.к, положительные ионы, образовавшиеся из молекул инертного газа, нейтрализуются при столкновениях с молекулами высокомолекулярного соединения или галогена и не вызывают вторичной электронной эмиссии с катода.

После регистрации каждой ионизирующей частицы газоразрядный счетчик не способен в течение некоторого «мертвого времени» $\tau_м$ (порядка 10^{-4} с) отмечать попадание следующей частицы или реагирует на нее образованием импульса пониженной амплитуды («время восстановления» – $\tau_в$). Величина «мертвого времени» и «времени восстановления» определяет разрешающую способность и эффективность преобразователя.

Разрешающей способностью преобразователя называют максимальное количество ионизирующих частиц N_{max}, которые могут быть уверенно зафиксированы преобразователем $N_{max}=I/(\tau_м+\tau_в)$.

Под **эффективностью счетчика** понимают отношение числа частиц, зарегистрированных счетчиком, к общему числу частиц, прошедших через объем счетчика. Эффективность газоразрядных счетчиков зависит от их конструкции, размеров и материала катода и обычно не превышает нескольких процентов.

Основной рабочей характеристикой газоразрядного преобразователя является его **счетная характеристика** – зависимость числа импульсов на его выходе от напряжения на электродах при постоянной интенсивности ионизирующего облучения (рис. 4.2). Участок *ав* в пределах которого выбирается рабочее напряжение счетчика $U_{раб}$, называется **плато**. Протяженность плато составляет от 200 до 300 В, а наклон – от 3 до 15 % на 100 В.

Достоинства газоразрядных детекторов: большая амплитуда сигнала, малая потребляемая мощность, широкий температурный диапазон; недостатки: потребность в источнике питания с высоким напряжением, ограниченный ресурс, для счетчиков Гейгера-Мюллера – независимость амплитуды выходного сигнала от энергии ионизирующего излучения.

Газоразрядные счетчики очень широко применялись во всех разновидностях геофизических радиометров: полевых, каротажных, автомобильных и самолетных [3,12]. В последнее время они в значительной мере вытеснены более эффективными сцинтилляционными детекторами.

4.2 Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционный радиационный преобразователь (рис. 4.3) состоит из люминофора 1 (оптически прозрачного вещества, люминесцирущего под действием ядерного излучения), и фотоэлектронного умножителя 2 (ФЭУ).

В результате действия попавшей в сцинтиллятор элементарной частицы (или гамма-кванта) часть атомов сцинтиллятора переходит в возбужденное состояние. Обратный переход их в нормальное состояние сопровождается кратковременной (порядка 10^{-7}-10^{-9}с) световой вспышкой. Фотоны света

преобразуются в электрический сигнал с помощью ФЭУ, который представляет собой комбинацию фотоэлемента с электронным усилителем. Фотоны из сцинтиллятора 1 выбивают из фотокатода ФЭУ 3 электроны, которые под действием электрического поля устремляются к ближнему диноду 4, имеющему положительный потенциал. Вследствие вторичной электронной

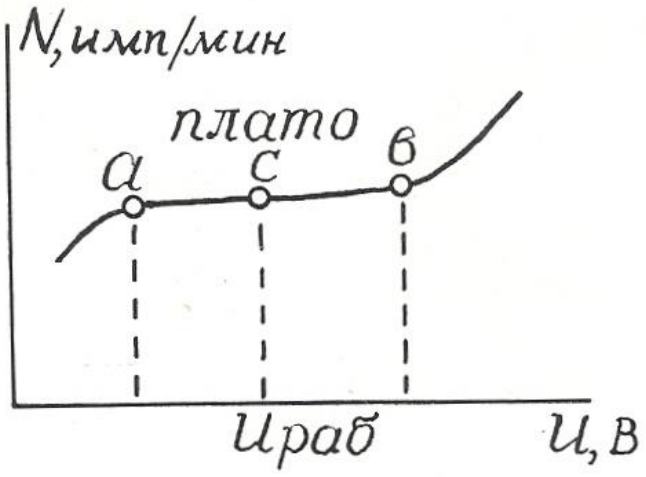


Рис. 4.2. Счетная характеристика газоразрядного счетчика Гейгера – Мюллера

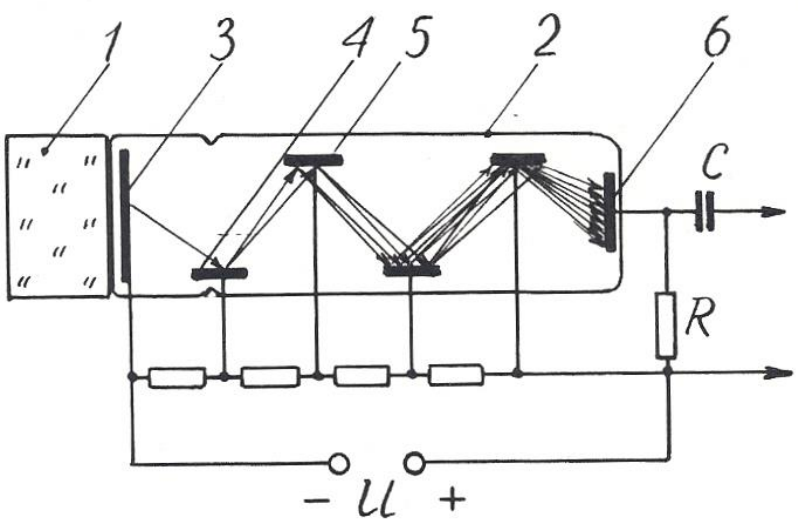


Рис. 4.3. Устройство сцинтилляционного преобразователя: 1 – кристалл-сцинтиллятор; 2 – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ); 3 – фотокатод; 4 – первый динод; 5 – второй динод; 6 – анод (ФЭУ)

эмиссии каждый электрон "выбивает из динода вторичные электроны, которые притягиваются следующим динодом 5, имеющим более высокий потенциал, и также вызывают вторичную электронную эмиссию. Процесс развивается лавинообразно, в результате попаданию каждой ионизирующей частицы в кристалл-сцинтиллятор соответствует прохождение импульса тока между анодом 6 и катодом 1 ФЭУ, причем амплитуда этого импульса пропорциональна энергии ионизирующей частицы.

Эффективность сцинтилляционных детекторов намного выше, чем у газоразрядных, и достигает 20 %.

В качестве сцинтилляторов для регистрации гамма-квантов в геофизический аппаратуре используют монокристаллы соединений NaI, CsI, KI, активированных таллием (Tl), а для регистрации нейтронов – кристаллы сернистого цинка ZnS с добавками серебра или меди. Примесь активатора (Tl, Ag, Cu) в люминофоре способствует созданию в решетках кристаллов-сцинтилляторов дополнительных центров люминесценции [13].

Счетная характеристика сцинтилляционных преобразователей имеет плато очень небольшой протяженности, вследствие чего эти преобразователи требуют питания высокостабилизированным напряжением.

Преимущества сцинтилляционных преобразователей перед газоразрядными: высокая эффективность, большая разрешающая способность, зависимость амплитуды выходного сигнала от энергии ионизирующего излучения, что позволяет изучать энергетический спектр последнего.

Эти преимущества обеспечивают широкое распространение детекторов этого вида в разнообразных радиометрах: полевых (СРП-68-02), скважинных (ДРСТ-3, Кура-2м и др.), самолетных (АСГМ-46 и др.).

К недостаткам сцинтилляционных детекторов можно отнести низкую термостойкость и термостабильность, что требует их термостатирования в скважинных радиометрах [9].

4.3. Полупроводниковые детекторы

Полупроводниковые детекторы (ППД) устроены и действуют совершенно аналогично преобразователям фотоэ.д.с., рассмотренным в разделе 3.5. Отличие заключается только в том, что в ППД образование свободных носителей в зоне *p*-*n*-перехода происходит за счет действия не фотонов света, а ионизирующего ядерного излучения.

Амплитуда импульса на выходе ППД пропорциональна числу носителей зарядов, образованных ионизирующей частицей, а следовательно, ее энергии, что дает возможность изучать энергетический спектр излучения.

Для создания *i*-слоя в ППД используют литий, обладающий высоким коэффициентом диффузии, который добавляют в торец полупроводника с *p*-проводимостью.

Преимущества полупроводниковых детекторов: экономичность питания, весьма малые размеры и хорошее амплитудное разрешение (в 20-30 раз лучше, чем у сцинтилляционных преобразователей).

Однако их распространение ограничено. Это связано, во-первых, со сравнительно небольшими размерами чувствительной части детектора, и во-вторых, с необходимостью охлаждения детектора до низких температур (от -100 до -196^0), которое повышает их эффективность.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют преобразователи ядерных излучений в электрический сигнал?

2. Объясните устройство газоразрядного преобразователя.

3. Объясните вольт-амперную характеристику (рис. 4.1, б) газоразрядного детектора.

4. Чем отличаются счетчики Гейгера-Мюллера от пропорциональных счетчиков?

5. Объясните устройство и работу сцинтилляционного детектора.

6. Назовите преимущества сцинтилляционных детекторов перед газоразрядными.

7. Объясните устройство и работу полупроводникового детектора, укажите его достоинства и недостатки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алиев Т. М., Тер-Хачатуров А. А*. Измерительная техника: Учебн. пособие для техн. вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 384 с.

2. *Аппаратура и оборудование для геофизических исследований нефтяных и газовых скважин:* Справочник /А. А.Молчанов, В. В. Лаптев, В. М. Моисеев, Р. С.Челокьян. – М.: Недра, 1987. – 263 с.

3. *Бондаренко В. М., Демура Г. В., Ларионов А. М.* Общий курс геофизических методов разведки: Учебн. пособие для техникумов. – П.: Недра, 1986. – 453 с.

4. *Бриндли К*. Измерительные преобразователи: Справочное пособие / Пер.с англ. – М.:Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.

5. *Бухгольц В. П.* Датчики и реле автоматического контроля в горной промышленности. – М.: Недра, 1971. – 224 с.

6. *Виглеб Г.* Датчики / Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 196 с.

7. *Енохович А. С.* Краткий справочник по физике. – М.: Высшая школа, 1976. – 288 с.

8. *Зачиевский Т., Мальзахер С., Квецинский А.* Промышленная электроника / Пер.с польского. – М.; Энергия, 1976. – 640 с.

9. *Зельцман П. А.* Конструирование аппаратуры для геофизических исследований скважин. – М.: Недра, 1968. – 180 с.

10. *Зимодро А. Ф., Скибинский Г. Л.* Основы автоматики. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.

11. *Квартин М. И.* Электромеханические и магнитные устройства автоматики и их расчет. – М.: Высшая школа, 1973. – 344 с.

12. *Кривко Н. Н., Шароварин В. Д., Широков В. Н.* Промыслово-геофизическая аппаратура и оборудование: Учебн. пособие для вузов. – М.: Недра, 1981. – 280 с.

13. *Ларионов В. В.* Радиометрия скважин. – М.: Недра, 1969. – 327 с.

14. *Левшина Е. С., Новицкий П. В.* Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. – Л.: Энергоатомиздат, 1983.

15. *Литвак В. И.* Тензореле. Расчет, конструирование, применение. – М.: Машиностроение, 1989. – 160 с.

16. *Логинов В. И.* Электрические измерения механических величин / Изд. 2-е, доп. – М.: Энергия, 1976. – 104 с.

17. *Померанц Л. И., Белоконь Д. В., Козяр В. Ф.* Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин: Учебн. пособие для техникумов. – М.: Недра, 1985. – 271 с.

18. *Сковородников И. Г., Калашников В. Н.* Дистанционный уровнемер для испытательных скважин // Геофизическая аппаратура. Вып.89. – Недра, 1988. – С. 98-103.

19. *Сковородников И. Г., Макаров Л. В., Калашников В. Н.* Газожидкостный расходомер РГЖ-Г: Техническое описание. – Свердловск: СГИ, 1988. – 15 с.

20. *Сковородников И. Г., Макаров Л. В., Калашников В. Н.* Изучение скорости и направления движения подземых вод // Гидрогеология и инж. геология: Обзор / ВНИИ экон. минер. сырья и геологоразв. работ. – М.,1987. – 33 с.

21. *Сковородников И. Г., Макаров Л. В., Калашников В. Н.* Скважинные тахометрические расходомеры / СГИ. – Свердловск, 1989. – 65 с. – Деп. в ВИНИТИ, №7609-В89, 1989.

22. *Справочник по средствам автоматики* / Под ред. В. Э. Низэ, И.В.Антика. – М.: Энергоиздат, 1983. – 504 с.

23. *Электрические измерения неэлектрических величин* / А. М. Туричин, П. В. Новицкий, Е. С. Левшина и др.; Изд. 5-е, перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1975. – 676 с.

24. А. с. 491895. Зонд для измерения направления и скорости движения грунтовых вод /Б. Н. Халтурин, В. С. Лившиц // Бюл. изобр. – 1975, №42.

25. А. с. 1063990. Емкостной датчик зенитного угла / О. В.Фомин // Бюл. изобр. – 1983, № 48.

26. А. с. 1158750. Скважинный уровнемер (его варианты) / В. Н. Калашников, И. Г.Сковородников // Бюл. изобр. – 1985, № .20.

27. А. с. 1509518. Датчик угла наклона буровой скважины / А. В. Давыдов, И. Г. Сковородников // Бюл. изобр. – 1989, № 35.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

Методические указания к выполнению практических занятий по курсу

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Применение методов математической статистики

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Глушкова Т.А., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 12 от 05.03. 2020
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета
_____
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 20.03. 2020
(Дата)

Екатеринбург
2020

При обработке *результатов физических измерений или химических анализов* большое значение имеет анализ содержащихся в них различного рода погрешностей. Для научно - исследовательских работ характерен небольшой объем измерений, из - за чего затрудняется их статистическая обработка. Знание *методов математической статистики* помогает выявлять закономерности, зависимости. Эти методы позволяют грамотно оценивать результаты своей работы, определять "степень доверия" полученным данным.

В методических указаниях приведены термины, схемы и примеры статистической обработки. Необходимые математические основы и приемы просты, не требуют от экспериментатора специальной подготовки. Для проведения анализа данных не нужно применения сложной вычислительной техники – достаточно калькулятора. Этот анализ не занимает много времени и его желательно проводить при обработке каждой серии экспериментальных данных.

1 Метрология – наука об измерениях

В практической жизни человек всюду имеет дело с измерениями. На каждом шагу встречаются измерения таких величин, как длина, объем, вес, время и др.

Измерения являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая человеку действующие в природе закономерности. Все отрасли техники не могли бы существовать без развернутой системы измерений, определяющих как все технологические процессы, контроль и управление ими, так и свойства и качество выпускаемой продукций.

Отраслью науки, изучающей измерения, является *метрология*.

Метрология в ее современном понимании – наука об измерениях, методах, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Единство измерений – такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Единство измерений необходимо для того, чтобы можно было сопоставить результаты измерений, выполненных в разных местах, в разное время, с использованием разных методов и средств измерений.

Точность измерений характеризуется близостью их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Таким образом, важнейшей задачей метрологии является усовершенствование эталонов, разработка новых методов точных измерений, обеспечение единства и необходимой точности измерений.

Измерение является важнейшим понятием в метрологии.

Существует несколько видов измерений. При их классификации обычно исходят из характера зависимости измеряемой величины от времени, вида уравнения измерений, условий, определяющих точность результата измерений и способов выражения этих результатов.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяются на

- *статические*, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени;
- *динамические*, в процессе которых измеряемая величина изменяется и является непостоянной во времени.

Статическими измерениями являются, например, измерения размеров тела, постоянного давления, динамическими – измерения пульсирующих давлений, вибраций.

По способу получения результатов измерений их разделяют на

- прямые;
- косвенные;
- совокупные;
- совместные.

2 Термины и определения

Термины и определения в соответствии с РМГ 29-99 ГСИ Метрология. Основные термины и определения:

2.1 погрешность результата измерения:

Отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Примечания

1 На практике используют действительное значение величины $x_д$, в результате чего погрешность измерения $\Delta x_{изм}$ определяют по формуле

$$\Delta x_{изм} = x_{изм} - x_д, \quad (2.1)$$

где $x_{изм}$ - измеренное значение величины.

2 Синонимом термина *погрешность измерения* является термин *ошибка измерения*, применять который не рекомендуется как менее удачный.

2.2 систематическая погрешность измерения:

Составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Примечание – В зависимости от характера измерения систематические погрешности подразделяют на *постоянные, прогрессивные, периодические* и *погрешности, изменяющиеся по сложному закону*.

Постоянные погрешности – погрешности, которые длительное время сохраняют свое значение, например, в течение времени выполнения всего ряда измерений. Они встречаются наиболее часто.

Прогрессивные погрешности – непрерывно возрастающие или убывающие погрешности. К ним относятся, например, погрешности вследствие износа измерительных наконечников, контактирующих с деталью при контроле ее прибором активного контроля.

Периодические погрешности – погрешности, значение которых является периодической функцией времени или перемещения указателя измерительного прибора.

Погрешности, изменяющиеся по сложному закону, происходят вследствие совместного действия нескольких систематических погрешностей

2.3 неисключенная систематическая погрешность;

Составляющая погрешности результата измерений, обусловленная погрешностями вычисления и введения поправок на влияние систематических погрешностей или систематической погрешностью, поправка на действие которой не введена вследствие ее малости.

Примечания

1 Иногда этот вид погрешности называют *неисключенный (ные) остаток (остатки) систематической погрешности*.

2 Неисключенная систематическая погрешность характеризуется ее границами.

Границы неисключенной систематической погрешности Θ при числе слагаемых $N \le 3$ вычисляют по формуле

$$\Theta = \pm \sum_{i=1}^{N} |\Theta i|, \quad (2.2)$$

где Θi - граница i-й составляющей неисключенной систематической погрешности.

3 При числе неисключенных систематических погрешностей $N \ge 4$ вычисления проводят по формуле

$$\Theta = \pm K \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \Theta_i^2}, \quad (2.3)$$

где K - коэффициент зависимости отдельных неисключенных систематических погрешностей от выбранной доверительной вероятности P при их равномерном распределении (при P=0,99, K=1,4). Здесь Θ рассматривается как доверительная квазислучайная погрешность

2.4 случайная погрешность измерения:

Составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины

2.5 абсолютная погрешность измерения:

Погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины

2.6 относительная погрешность измерения:

Погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или измеренному значению измеряемой величины.

Примечание – Относительную погрешность в долях или процентах находят из отношений

$$\delta = \frac{\Delta x}{x}, \text{ или } \delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%, \qquad (2.4)$$

где Δx - абсолютная погрешность измерений;

x - действительное или измеренное значение величины

2.7 средняя квадратическая погрешность (отклонение) результатов единичных измерений в ряду измерений:

Оценка S рассеяния единичных результатов измерений в ряду равноточных измерений одной и той же физической величины около среднего их значения, вычисляемая по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \qquad (2.5)$$

где x_i - результат i-го единичного измерения;

$\bar{x}$ - среднее арифметическое значение измеряемой величины из n единичных результатов.

Примечание - –а практике широко распространен термин *среднее квадратическое отклонение* - –СКО).

2.8 средняя квадратическая погрешность результата измерений среднего арифметического;

Оценка $S_{\bar{x}}$ случайной погрешности среднего арифметического значения результата измерений одной и той же величины в данном ряду измерений, вычисляемая по формуле

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \qquad (2.6)$$

где S - средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений, полученная из ряда равноточных измерений; n - число единичных измерений в ряду

2.9 доверительные границы погрешности результата измерений:

Наибольшее и наименьшее значения погрешности измерений, ограничивающие интервал, внутри которого с заданной вероятностью находится искомое (истинное) значение погрешности результата измерений.

Примечания

1 Доверительные границы в случае нормального закона распределения вычисляются как $\pm tS$, $\pm tS_{\bar{x}}$, где S, $S_{\bar{x}}$ - средние квадратические погрешности, соответственно, единичного и среднего арифметического результатов измерений; t - коэффициент, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений n.

2 При симметричных границах термин может применяться в единственном числе - – *доверительная граница*.

3 Иногда вместо термина *доверительная граница* применяют термин *доверительная погрешность* или *погрешность при данной доверительной вероятности*

2.10 поправка:

Значение величины, вводимое в неисправленный результат измерения с целью исключения составляющих систематической погрешности.

Примечание - –нак поправки противоположен знаку погрешности. Поправку, прибавляемую к номинальному значению меры, называют *поправкой к значению меры*; поправку, вводимую в показание измерительного прибора, называют *поправкой к показанию прибора*

2.11 точность результата измерений:

Одна из характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

Примечание - читают, что чем меньше погрешность измерения, тем больше его точность

2.12 промах:

Погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Примечание - иногда вместо термина "промах" применяют термин *грубая погрешность измерений*

2.13 предельная погрешность измерения в ряду измерений:

Максимальная погрешность измерения (плюс, минус), допускаемая для данной измерительной задачи.

Примечание - о многих случаях погрешность $3S$ принимают за предельную, то есть $\Delta_{пр} = \pm 3S$. При необходимости за предельную погрешность может быть принято и другое значение погрешности (где S - см. термин 9.14)

2.14 погрешность результата однократного измерения:

Погрешность одного измерения (не входящего в ряд измерений), оцениваемая на основании известных погрешностей средства и метода измерений в данных условиях (измерений).

Пример - при однократном измерении микрометром какого-либо размера детали получено значение величины, равное 12,55 мм. При этом еще до измерения известно, что погрешность микрометра в данном диапазоне составляет ±0,01 мм, и погрешность метода (непосредственной оценки) в данном случае принята равной нулю. Следовательно, погрешность полученного результата будет равна ±0,01 мм в данных условиях измерений

2.15 суммарная средняя квадратическая погрешность результата измерений:

Погрешность результата измерений (состоящая из суммы случайных и неисключенных систематических погрешностей, принимаемых за случайные), вычисляемая по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S^2 + S_{\Theta}^2}, \qquad (2.7)$$

где $S_\Theta = \sqrt{\frac{1}{3}\sum_i \Theta_i^2}$ - средняя квадратическая погрешность суммы неисключенных систематических погрешностей при равномерном распределении (принимаемых за случайные).

Примечание - –оверительные границы суммарной погрешности $(\Delta x)_\Sigma$ могут быть вычислены по формуле

$$(\Delta x)_\Sigma = \pm t_\Sigma S_\Sigma \ , \tag{2.8}$$

где $t_\Sigma = \frac{\Theta + t \cdot S_{\bar{x}}}{S_\Theta + S_{\bar{x}}}$; Θ - граница суммы неисключенных систематических погрешностей результата измерений, вычисляемая по формулам (2.2) или (2.3); $t \cdot S_{\bar{x}}$ - доверительная граница погрешности результата измерений по 2.9

3 Нормальное распределение. Параметры нормального распределения

При хорошо отлаженной методике мы имеем дело со случайными погрешностями, величины которых больше систематических. Таким образом, проводя многократные замеры, мы получаем набор значений измеряемой величины. Какое же из этих полученных значений мы должны считать наиболее близким к истинному? За наиболее вероятное значение измеряемой величины принимают ее среднее арифметическое значение, вычисленное из всего ряда измеренных значений по формуле:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + ... + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \tag{3.1}$$

Положение о наибольшей вероятности среднеарифметической величины справедливо, если выполняется так называемый *нормальный закон распределения случайных погрешностей* (для большинства простых измерений он выполняется достаточно хорошо, и мы будем пользоваться нормальным распределением).

Важнейшим параметром нормального распределения случайных погрешностей является дисперсия σ^2 **,** которая является характеристикой рассеяния их относительно нуля.

$$\sigma^2(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \tag{3.2}$$

Удобнее пользоваться для характеристики рассеяния значением квадратного корня из дисперсии, т.е. *среднеквадратическим отклонением погрешности*:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{3.3}$$

При увеличении числа замеров величина S стремится к некоторому пределу σ, квадрат которого называется *дисперсией* и является одной из основных численных характеристик распределения.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x - X_1)^2 + ... + (x - X_n)^2}{n-1}} \tag{3.4}$$

Одна из задач статистической обработки выборки заключается в численном определении среднего арифметического и дисперсии. При обработке экспериментальных данных систему наблюдений над некоторой случайной величиной (результаты измерений распределяются по закону нормального распределения случайных величин) принято рассматривать как случайную выборку из некоторой гипотетической генеральной совокупности, которая представляет собой совокупность всех мыслимых наблюдений над случайной величиной при данных условиях эксперимента. Задача статистического анализа состоит в том, чтобы оценить параметры генеральной совокупности по результатам данной случайной выборки с учетом того элемента неопределенности, который вносится ограниченностью экспериментального материала. В математической статистике принято разделять выборочные параметры и параметры генеральной совокупности. Параметрам генеральной совокупности соответствуют следующие выборочные параметры (таблица 1).

Таблица 1 Соответствие параметров генеральной совокупности и выборочных параметров

Генеральная совокупность	Выборка
μ	X
σ	S_X
σ^2	S_X^2

Параметры выборки X, S_X, S_X^2 при увеличении объема выборки ($n \to \infty$) приближаются к параметрам генеральной совокупности:

$$\lim X = \mu, \lim S_X = \sigma, \lim S_X^2 = \sigma^2,$$

где μ - математическое ожидание (среднее арифметическое, генеральное среднее),

σ - генеральное среднеквадратическое отклонение (стандартное отклонение, стандарт),

σ^2 - генеральная дисперсия (теоретическая дисперсия).

Этим основным параметрам генеральной совокупности соответствуют выборочные параметры:

X - выборочное среднее (среднее выборки),

S_X - среднеквадратическая погрешность выборки,

S_X^2 - выборочная дисперсия.

Следует отметить, что объем генеральной совокупности может быть ограничен каким - то большим, но конечным числом.

Практически мы всегда имеем дело с выборками. Выборкой может быть определенное число реальных объектов (зерен минерала, образцов пород, шлифов) или измерений, наблюдений. Количество объектов выборки обозначают *n*. Как уже упоминалось, цель статистической обработки - оценка параметров генеральной совокупности по данным выборки. Эти *n* объектов выборки подвергаются детальному изучению, по результатам которого рассчитывают характеристики (выборочные параметры); они являются приближенной оценкой истинных характеристик всей реальной совокупности объектов (всей генеральной совокупности).

4 Случайная погрешность: интервальная оценка

Вклад случайной погрешности в общую неопределенность результата измерения можно оценить с помощью методов теории вероятностей и математической статистики.

Ввиду наличия случайной погрешности одна и та же величина x при каждом последующем измерении приобретает новое, непрогнозируемое значение. Такие величины называются *случайными*. Случайными величинами являются не только отдельные результаты измерений x_i, но и средние $\bar{x}$ (а также дисперсии $s^2(x)$ и все производные от них величины). Поэтому $\bar{x}$ может служить лишь *приближенной* оценкой результата измерения. В то же время, используя величины $\bar{x}$ и $s^2(x)$, возможно оценить *диапазон* значений, в котором с заданной вероятностью P может находиться результат. Эта вероятность P называется *доверительной вероятностью*, а соответствующий ей интервал значений - *доверительным интервалом*.

Строгий расчет границ доверительного интервала случайной величины возможен лишь в предположении, что эта величина подчиняется некоторому известному *закону распределения*. Закон распределения случайной величины - одно из фундаментальных понятий теории вероятностей. Он характеризует относительную долю (частоту, вероятность появления) тех или иных значений случайной величины при ее многократном воспроизведении. Математическим выражением закона распределения случайной величины служит ее *функция распределения* (функция плотности вероятности) $p(x)$. Например, функция распределения, изображенная на рисунке 1, означает, что для соответствующей ей случайной величины x наиболее часто встречаются значения вблизи x=10, а большие и меньшие значения встречаются тем реже, чем дальше они отстоят от 10.

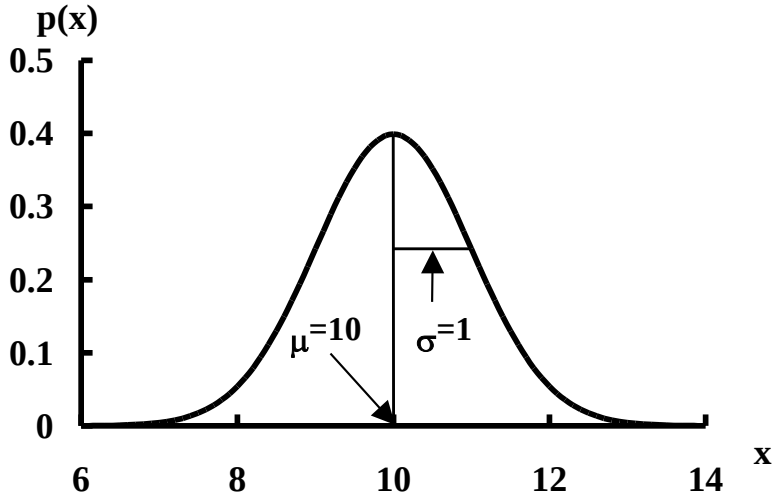


Рисунок 1 *Ф*ункция плотности вероятности $p(x)$

В качестве примера не случайно приведена колоколообразная, симметричная функция распределения. Именно такой ее вид наиболее характерен для результатов химического анализа. В большинстве случаев закон распределения результатов химического анализа можно удовлетворительно аппроксимировать так называемой *функцией нормального* (или *гауссова*) *распределения*:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \qquad (4.1)$$

Параметры этой функции μ и σ характеризуют: μ - положение максимума кривой, т.е. собственно *значение* результата анализа, а σ - ширину "колокола", т.е. *воспроизводимость* результатов. Можно показать, что среднее $\bar{x}$ является приближенным значением μ, а стандартное отклонение $s(x)$ - приближенным значением σ. Естественно, эти приближения тем точнее, чем больше объем экспериментальных данных, из которых они рассчитаны, т.е. чем больше число параллельных измерений n и, соответственно, число степеней свободы f.

В предположении подчинения случайной величины x нормальному закону распределения ее доверительный интервал рассчитывается как

$$x \pm t(P, f)s(x) \tag{4.2}$$

Ширина доверительного интервала нормально распределенной случайной величины пропорциональна величине ее стандартного отклонения. Численные значения коэффициентов пропорциональности t были впервые рассчитаны английским математиком В.Госсетом, подписывавшим свои труды псевдонимом Стьюдент, и потому называются *коэффициентами Стьюдента*. Они зависят от двух параметров: доверительной вероятности P и числа степеней свободы f, соответствующего стандартному отклонению $s(x)$.

Причина зависимости t от P очевидна: чем выше доверительная вероятность, тем шире должен быть доверительный интервал с тем, чтобы можно было гарантировать попадание в него значения величины x. Поэтому с ростом P значения t возрастают. Зависимость t от f объясняется следующим образом. Поскольку $s(x)$ - величина случайная, то в силу случайных причин ее значение может оказаться заниженным. В этом случае и доверительный интервал окажется более узким, и попадание в него значения величины x уже не может быть гарантировано с заданной доверительной вероятностью. Чтобы "подстраховаться" от подобных неприятностей, следует расширить доверительный интервал, увеличить значение t - тем больше, чем менее надежно известно значение s, т.е. чем меньше число его степеней свободы. Поэтому с уменьшением f величины t возрастают.

Коэффициенты Стьюдента для различных значений P и f приведены в табл. 1 (приложение). Проанализируйте ее и обратите внимание на отмеченные закономерности в изменении величин t в зависимости от P и f.

Если единичные значения x имеют нормальное распределение, то и среднее $\bar{x}$ тоже имеет нормальное распределение. Поэтому формулу Стьюдента для расчета доверительного интервала можно записать и для среднего:

$$\bar{x} \pm t(P, f)s(\bar{x}) \tag{4.3}$$

Величина $s(\bar{x})$ меньше, чем $s(x)$ (среднее точнее единичного). Можно показать (с. 27), что для серии из n значений $s(\bar{x}) = s(x)/\sqrt{n}$. Поэтому доверительный интервал для величины, рассчитанной из серии n параллельных измерений, можно записать как

$$\bar{x} \pm \frac{t(P, f)s(x)}{\sqrt{n}} \tag{4.4}$$

где $f=n-1$, а величины $\bar{x}$ и $s(x)$ рассчитывают по формулам (9) и (11).

Пример 1. Для серии значений объемов титранта, равных 9.22, 9.26, 9.24 и 9.27 см^3, рассчитать среднее и доверительный интервал среднего при P=0.95.

Решение. Среднее значение равно $\bar{x} = \frac{9.22 + 9.26 + 9.24 + 9.27}{4} = 9.248$ см^3.

Стандартное отклонение равно

$$s(x) = \sqrt{\frac{(9.22-9.248)^2 + (9.26-9.248)^2 + (9.24-9.248)^2 + (9.27-9.248)^2}{4-1}} = 0.0222 \text{ см}^3.$$

Табличное значение коэффициента Стьюдента $t(P=0.95, f=3)=3.18$.

Доверительный интервал составляет

$$9.248 \pm \frac{3.18 \cdot 0.0222}{\sqrt{4}} = 9.248 \pm 0.035 = 9.25 \pm 0.04 \text{ см}^3.$$

Полученный результат округляем так, чтобы полуширина доверительного интервала содержала только *одну* значащую цифру.

При расчете доверительного интервала встает вопрос о выборе доверительной вероятности *P*. При слишком малых значениях *P* выводы становятся недостаточно надежными. Слишком большие (близкие к 1) значения брать тоже нецелесообразно, так как в этом случае доверительные интервалы оказываются слишком широкими, малоинформативными. Для большинства химико-аналитических задач оптимальным значением *P* является 0.95. Именно эту величину доверительной вероятности (за исключением специально оговоренных случаев) мы и будем использовать в дальнейшем.

Подчеркнем еще раз, что величина доверительного интервала сама по себе позволяет охарактеризовать лишь *случайную* составляющую неопределенности. Оценка систематической составляющей представляет собой самостоятельную задачу.

5 Сравнение результатов анализов. Значимое и незначимое различие случайных величин

Вспомним еще раз, что любой результат измерения (в том числе среднее значение) представляет собой, вообще говоря, случайную величину. Поэтому численное различие двух результатов может быть вызвано случайными причинами и вовсе не свидетельствовать о том, что эти результаты действительно разные. Так, если результаты титрования двух аликвот равны, к примеру, 9.22 и 9.26 см^3, то из этого нельзя заключить, что они имеют разный состав, поскольку случайная погрешность измерения объемов титранта составляет несколько сотых миллилитра (см. пример 1 на с. 13).

Подобное различие случайных величин, которое (при некоторой доверительной вероятности) может быть обусловлено только случайными причинами, в математической статистике называется *незначимым*. Очевидно, что если две величины различаются незначимо, то их можно рассматривать как два приближенных значения одного и того же, общего, результата измерения. Напротив, *значимое*, т.е. превышающее уровень случайных погрешностей, различие свидетельствует о том, что соответствующие величины представляют собой два действительно разных результата. Естественно, различие можно считать значимым только тогда, когда оно достаточно велико. Граница, отделяющая значимые различия от незначимых, называется *критической величиной*. Ее можно рассчитать с помощью методов теории вероятностей.

Таким образом, задача сравнения результатов химического анализа состоит в том, чтобы выяснить, *является ли различие между ними значимым*. Сравнивать данные химического состава (и, шире, - любые экспериментальные данные) по обычным арифметическим правилам недопустимо! Вместо этого следует применять специальные приемы, называемые *статистическими тестами* или *критериями проверки статистических гипотез*. С некоторыми простейшими - и в то же время наиболее важными для химика-аналитика статистическими тестами - мы сейчас познакомимся.

6 Сравнение среднего и константы: простой тест (критерий) Стьюдента

Вернемся к задаче проверки правильности результата химического анализа путем сравнения его с независимыми данными. Проверяемый результат, являясь средним из нескольких параллельных определений, представляет собой случайную величину $\bar{x}$. Результат же, используемый для сравнения, в ряде случаев можно считать точной (действительной) величиной a, т.е. константой. Это может быть тогда, когда случайная погрешность результата, используемого для сравнения, намного меньше, чем проверяемого, т.е. пренебрежимо мала. Например, в способе "введено-найдено" заданное содержание определяемого компонента обычно известно значительно точнее, чем найденное. Аналогично, при использовании СО паспортное значение содержания также можно считать точной величиной. Наконец, и при анализе образца независимым методом содержание компонента может быть определено с точностью, намного превышающей точность проверяемой методики - например, при проверке атомно-эмиссионной методики с помощью гравиметрической (о типичных величинах случайной погрешности различных методов см. с. 9). Во всех этих случаях задача сравнения данных с математической точки зрения сводится к проверке *значимости* отличия случайной величины $\bar{x}$ от константы a.

Для решения этой задачи можно использовать уже известный нам подход, описанный выше (с. 10) и основанный на интервальной оценке неопределенности величины $\bar{x}$. Доверительный интервал для среднего, рассчитанный по формуле Стьюдента (16), характеризует неопределенность значения $\bar{x}$, обусловленную его случайной погрешностью. Поэтому если величина a входит в этот доверительный интервал, утверждать о значимом различии между $\bar{x}$ и a нет оснований. Если же величина a в этот интервал не входит, различие между $\bar{x}$ и a следует считать значимым. Таким образом, полуширина доверительного интервала, равная $\frac{t(P, f)s(x)}{\sqrt{n}}$, является критической величиной для разности $|\bar{x} - a|$: различие является значимым, если

$$|\bar{x} - a| > \frac{t(P, f)s(x)}{\sqrt{n}} \qquad (6.1)$$

Для проверки значимости различия между средним и константой вместо вычисления доверительного интервала можно поступить следующим образом. Легко видеть, что выражение (17) эквивалентно выражению

$$\frac{|\bar{x} - a|}{s(x)}\sqrt{n} > t(P, f) \qquad (6.2)$$

Величина, стоящая в левой части выражения (18), характеризует степень различия между $\bar{x}$ и a с учетом случайной погрешности $s(x)$. Она называется *тестовой статистикой* (и в общем случае обозначается в дальнейшем как ξ) для сравниваемых значений. Коэффициент Стьюдента, стоящий в правой части (18), в этом случае непосредственно является критической величиной. Поэтому для проверки значимости различия между $\bar{x}$ и a можно вычислить соответствующую тестовую статистику и сравнить ее с критическим значением - в данном случае табличным значением коэффициента Стьюдента. Если тестовая статистика превосходит критическое значение, различие между сравниваемыми величинами следует признать значимым.

Описанный способ сравнения случайных величин - вычисление тестовой статистики и сравнение ее с табличным критическим значением - является весьма общим. На таком принципе основано множество *статистических тестов* (или *критериев*) - процедур, призванных установить значимость различия между теми или иными случайными величинами. Тест, представленный формулой (18) и предназначенный для сравнения среднего значения и константы, называется *простым тестом Стьюдента*. В химическом анализе его следует применять всегда, когда возникает задача сравнения результатов анализа с каким-либо значением, которое можно считать точной величиной.

Пример 2. При определении никеля в стандартном образце сплава получена серия значений (% масс.) 12.11, 12.44, 12.32, 12.28, 12.42. Содержание никеля согласно паспорту образца - 12.38 %. Содержит ли использованная методика систематическую погрешность?

Решение. Паспортное содержание никеля считаем действительным (точным) значением и применяем простой тест Стьюдента. Имеем:

$$\bar{x} = 12.314,\ s(x)=0.132,\ n=5,\ f=4,\ a=12.38.$$

$$\xi = \frac{|\bar{x} - a|}{s(x)}\sqrt{n} = \frac{12.38 - 12.314}{0.132}\sqrt{5} = 1.12 < t(P=0.95,\ f=4)=2.78$$

Отличие результата анализа от действительного значения незначимо, методика не содержит систематической погрешности.

7 Сравнение двух средних. Критерий Стьюдента

При интерпретации результатов химического анализа возникают и более сложные задачи. Предположим, необходимо сравнить два результата анализа одного и того же образца, полученные разными методами, и при этом оба результата содержат сравнимые между собой случайные погрешности. В этом случае уже нельзя ни один из результатов считать точной величиной и, соответственно, применять простой тест Стьюдента. Математически задача сводится в этом случае к установлению значимости различия между двумя средними значениями $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$.

Для решения этой задачи используют *модифицированный тест Стьюдента*. Он существует в двух вариантах: точном и приближенном. Точный вариант применяют тогда, когда дисперсии соответствующих величин $s_1^2 = s^2(x_1)$ и $s_2^2 = s^2(x_2)$ различаются незначимо (что, в свою очередь, необходимо предварительно проверить с помощью еще одного статистического теста - теста Фишера, см. следующий раздел). При значимом различии s_1^2 и s_2^2 применяют приближенный вариант (приближение Уэлча).

В точном варианте модифицированного теста Стьюдента тестовая статистика вычисляется как

$$\xi = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\bar{s}(x)}\sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \qquad (7.1)$$

Как видим, по способу вычисления она весьма похожа на тестовую статистику простого теста Стьюдента (см. формулу (18)). В выражении (19) n_1 и n_2 - числа параллельных значений, из которых рассчитаны величины $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$, соответственно, а $\bar{s}(x)$ - *среднее стандартное отклонение*, вычисляемое как

$$\bar{s}(x) = \sqrt{\bar{s}^2(x)} = \sqrt{\frac{f_1 s_1^2 + f_2 s_2^2}{f_1 + f_2}} \tag{7.2}$$

Величины f_1 и f_2 - числа степеней свободы соответствующих дисперсий, равные n_1-1 и n_2-1. Критическим значением служит коэффициент Стьюдента $t(P,f)$ для выбранной доверительной вероятности P (обычно 0.95) и числа степеней свободы

$$f=f_1+f_2=n_1+n_2-2 \tag{7.3}$$

Таким образом, значимое различие между $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ имеет место тогда, когда

$$\frac{\left|\bar{x}_1 - \bar{x}_2\right|}{\bar{s}(x)} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} > t(P, f = n_1 + n_2 - 2) \tag{7.4}$$

В приближении Уэлча тестовая статистика вычисляется следующим образом:

$$\xi = \frac{\left|\bar{x}_1 - \bar{x}_2\right|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \tag{7.5}$$

Критическим значением вновь служит коэффициент Стьюдента $t(P,f)$. Число степеней свободы в этом случае вычисляется как

$$f = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{\frac{(s_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}} \tag{7.6}$$

и округляется до ближайшего целого числа. Приближенный вариант теста Стьюдента недостаточно достоверен, особенно при малых значениях f_1 и f_2.

8 Сравнение дисперсий двух серий данных. Критерий Фишера

Для выбора между точным и приближенным вариантом модифицированного теста Стьюдента необходимо предварительно установить, есть ли значимое различие между величинами s_1^2 и s_2^2, т.е. дисперсий обеих серий данных. Разумеется, задача сравнения дисперсий имеет и вполне самостоятельное значение.

Как и средние $\bar{x}$, дисперсии s^2 тоже представляют собой случайные величины. Поэтому и их сравнение тоже нужно производить с использованием соответствующих статистических тестов. Тест для сравнения двух дисперсий был предложен английским биологом Р.Фишером и носит его имя.

В тесте Фишера тестовой статистикой служит отношение большей дисперсии к меньшей:

$$\xi = \frac{s_1^2}{s_2^2} \tag{8.1}$$

Подчеркнем, что необходимо, чтобы $s_1^2 \geq s_2^2$ и, соответственно, $\xi \geq 1$, в противном случае индексы следует поменять местами. Критическим значением служит специальный *коэффициент Фишера* $F(P, f_1, f_2)$, зависящий от трех параметров - доверительной вероятности P и чисел степеней свободы f_1 и f_2 дисперсий s_1^2 и s_2^2, соответственно. Значения коэффициентов Фишера для стандартной доверительной вероятности P=0.95 приведены в табл. 2 (приложение). Обратите внимание, что $F(f_1, f_2) \neq F(f_2, f_1)$, поэтому при пользовании этой таблицей надо быть очень внимательными.

Если отношение дисперсий (25) меньше, чем соответствующее значение $F(P, f_1, f_2)$, это означает, что различие между s_1^2 и s_2^2 незначимо - дисперсия обеих серий одинакова, - или, как говорят, "дисперсии однородны". В этом случае можно вычислить *среднюю дисперсию* $\bar{s}^2$ по формуле (20) и пользоваться ею как общей характеристикой дисперсий обеих серий. Число степеней свободы этой дисперсии равно $f_1 + f_2$. Если же дисперсии неоднородны, вычисление средней дисперсии, очевидно, лишено смысла.

Еще раз обратим внимание, что тест Фишера предназначен для сравнения только дисперсий результатов, но никак не самих результатов (т.е. средних). Делать какие-либо выводы о различии средних значений, наличии в той или иной серии данных систематической погрешности, различиях в составе образцов и т.д. на основании теста Фишера недопустимо. Для сравнения средних значений после теста Фишера следует применять тест Стьюдента (в той или иной его разновидности).

Пример 3. Примесь тиофена в бензоле (% массовой доли) определяли спектрофотометрическим (1) и хроматографическим (2) методами. Получили следующие серии данных:

(1) 0.12 0.19 0.16 0.14

(2) 0.18 0.32 0.24 0.25 0.28

Известно, что хроматографическая методика не содержит систематической погрешности. Содержит ли систематическую погрешность спектрофотометрическая методика?

Решение. Вычислим средние и дисперсии для обеих серий:

(1) $\bar{x} = 0.153$, $s_1^2 = 8.91 \cdot 10^{-4}$, n_1=4, f_1=3

(2) $\bar{x} = 0.254$, $s_2^2 = 2.68 \cdot 10^{-3}$, n_2=5, f_2=4

Сравним дисперсии серий по тесту Фишера:

$\xi = s_2^2 / s_1^2 = 3.0$ (делим большую дисперсию на меньшую!)

Критическое значение $F(0.95, 4, 3) = 9.1$ (не $F(0.95, 3, 4) = 6.6$!)

$\xi < F$, дисперсии данных одинаковы. Поэтому вычисляем среднее стандартное отклонение и применяем точный вариант теста Стьюдента:

$$\bar{s}(x) = \sqrt{\frac{3 \cdot 8.91 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 2.68 \cdot 10^{-3}}{3+4}} = 0.0437$$

$$\xi = \frac{0.254 - 0.153}{0.0437} \sqrt{\frac{4 \cdot 5}{4+5}} = 3.27 \qquad t(P=0.95, f=7) = 2.37$$

$\xi > t$, средние различаются значимо, спектрофотометрическая методика содержит систематическую погрешность (отрицательную).

Пример 4. В образце сплава определили медь спектрографическим атомно-эмиссионным (1) и титриметрическим (2) методами. Получены следующие результаты (% массовой доли).

(1) 12.1 14.1 13.6 14.8

(2) 13.40 13.75 13.65 13.58 13.60 13.45

Известно, что титриметрическая методика не содержит систематической погрешности. Содержит ли систематическую погрешность атомно-эмиссионная методика?

Решение. Вычислим средние и дисперсии для обеих серий:

(1) $\bar{x}$ = 13.65, $s_1^2 = 1.31$, n_1=4, f_1=3

(2) $\bar{x}$ = 13.57, $s_2^2 = 1.66 \cdot 10^{-2}$, n_2=6, f_2=5

Сравним дисперсии данных по тесту Фишера:

$\xi = s_1^2 / s_2^2 = 78.8$

Критическое значение $F(0.95, 3, 5) = 5.4$. $\xi > F$, дисперсии данных различаются. Для сравнения средних значений применяем приближенный тест Стьюдента-Уэлча:

$$\xi = \frac{13.65 - 13.57}{\sqrt{\frac{1.31}{4} + \frac{1.66 \cdot 10^{-2}}{6}}} = 0.14, \qquad f = \frac{(1.31/4 + 1.66 \cdot 10^{-2}/6)^2}{\frac{(1.31/4)^2}{3} + \frac{(1.66 \cdot 10^{-2}/6)^2}{5}} = 3.05 \sim 3,$$

$t(P=0.95, f=3) = 3.18$. $\xi < t$, значимое различие между средними и систематическая погрешность атомно-эмиссионной методики отсутствуют.

Поскольку случайная погрешность титриметрических данных намного меньше, чем атомно-эмиссионных, можно значение 13.57 считать точной величиной и применить простой тест Стьюдента:

$$\xi = \frac{13.65 - 13.57}{\sqrt{1.31}} \sqrt{4} = 0.14 < t(P=0.95, f=3) = 3.18$$

И в этом случае также делаем вывод об отсутствии систематической погрешности атомно-эмиссионной методики.

9 Выявление промахов. Q-тест

В обрабатываемой серии данных должны отсутствовать промахи (с. 9). Поэтому прежде, чем проводить любую обработку данных (начиная с вычисления среднего), следует выяснить, содержит ли она промахи, и если да, то исключить их из рассмотрения. Для выявления промахов служит еще один статистический тест, называемый Q-тестом.

Алгоритм Q-теста состоит в следующем. Серию данных упорядочивают по возрастанию: $x_1 \le x_2 \le ... \le x_{n-1} \le x_n$. В качестве возможного промаха рассматривают одно из крайних значений x_1 или x_n - то, которое дальше отстоит от соседнего значения, т.е. для которого больше разность x_2-x_1 либо, соответственно, x_n-x_{n-1}. Обозначим эту разность как W_1. Размах всей серии, т.е. разность между максимальным и минимальным значением x_n-x_1, обозначим W_0. Тестовой статистикой является отношение

$$\xi = \frac{W_1}{W_0} \qquad (9.1)$$

Эта величина заключена в пределах от 0 до 1. Чем дальше отстоит "подозрительное" значение от основной массы данных, тем выше вероятность того, что это промах - и тем больше, в свою очередь, величина ξ. Критической величиной служит табличное значение Q-коэффициента $Q(P, n)$ (табл. 3, приложение), зависящее от доверительной вероятности и общего числа данных в серии. Если тестовая статистика превышает критическую величину ($\xi > Q$), соответствующее значение считают промахом и из серии данных исключают. После этого следует проверить на наличие промахов оставшиеся данные (с другим значением Q), поскольку промах в серии может быть не один.

При применении Q-теста вместо стандартной доверительной вероятности, равной 0.95, обычно используют значение P=0.90. Наиболее достоверные результаты получаются при n=5-7. Для серий большего или меньшего размера Q-тест недостаточно надежен.

Пример 5. При спектрофотометрическом анализе раствора органического красителя получены значения оптической плотности, равные 0.376, 0.398, 0.371, 0.366, 0.372 и 0.379. Содержит ли эта серия промахи? Чему равно среднее значение оптической плотности? Охарактеризуйте воспроизводимость измерения оптической плотности для данного образца.

Решение. Располагаем полученные результаты в порядке возрастания:

0.366 0.371 0.372 0.376 0.379 0.398

Разность 0.371-0.366 равна 0.005, а 0.398-0.379 равна 0.019, поэтому кандидат в промахи - значение 0.398, а W_1=0.019. Размах выборки W_0=0.398-0.366=0.032. Тестовая статистика равна ξ = 0.019/0.032 = 0.59. Критическая величина $Q(P=0.90, n=6)$ равна 0.56. Таким образом, $\xi > Q$, значение 0.398 - промах, его следует исключить.

Проверяем оставшуюся серию значений: 0.371-0.366=0.005, 0.379-0.376=0.003, поэтому следующий кандидат в промахи - 0.366. Имеем: W_1=0.005, W_0=0.379-0.366=0.013, ξ = 0.005/0.013 = 0.38, $Q(P=0.90, n=5)$=0.64. $\xi < Q$, значение 0.366 промахом не является.

Среднее значение оптической плотности составляет

$$\bar{x} = \frac{0.366 + 0.371 + 0.372 + 0.376 + 0.379}{5} = 0.373$$

а его стандартное отклонение - $s(x)$ = 0.005. Воспроизводимость охарактеризуем относительным стандартным отклонением (с. 9) $s_r(x)=s(x)/\bar{x}$ = 0.005/0.373 = 0.013.

Обработка серии данных вместе с промахом была бы в этом случае грубой ошибкой и привела бы к серьезному искажению значений $\bar{x}$ и $s(x)$.

Приложение А
(справочное)

Практическая работа 1

Среднее арифметическое. Среднеквадратическое отклонение.

Среднее арифметическое выборки - выборочное среднее - лучшая оценка генерального среднего. Поэтому при измерении какой-либо величины за результат принимается среднеарифметическое результатов отдельных замеров (после исключения систематических погрешностей). Среднее из определений (замеров) обозначается как $\overline{X}$n:

$$X_n = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_n}{n}. \qquad (4.1)$$

Среднеквадратическое отклонение результатов измерения S_x - наиболее обоснованная и распространенная мера случайных погрешностей. В случае, когда имеется n единичных измерений величины X, среднеквадратическое отклонение рассчитывается по формуле:

$$S_X = \sqrt{\frac{\left(X_1 - \overline{X}_n\right)^2 + \left(X_2 - \overline{X}_n\right)^2 + \ldots + \left(X_n - \overline{X}_n\right)^2}{n-1}} \qquad (4.2)$$

или

$$S_x = \sqrt{\frac{\left(X_1^2 + X_2^2 + \ldots + X_n^2\right) - \frac{\left(X_1 + X_2 + \ldots + X_n\right)^2}{n}}{n-1}}, \qquad (4.3)$$

где *n* - объем выборки (число замеров), S_x - среднеквадратическое отклонение, X_1, X_2,.....X_n - результаты замеров, $\overline{X}$n - выборочное среднее. Последняя формула более удобна при расчетах на калькуляторах. При вычислениях по этим двум формулам возведение в квадрат должно выполняться без округления результатов (причем точность резко уменьшается при малых n). Величина S_x называется среднеквадратичной погрешностью результатов отдельного измерения. Она имеет ту же размерность, что и переменная *X*. Относительная точность расчета S_x от 50 до 100 относительных %, поэтому для S_x записываются 1 - 2 значащие цифры.

Величина среднеквадратического отклонения выборки S при больших n (~ 100) может быть довольно близка к среднеквадратическому отклонению генеральной совокупности σ. При малых *n* значения *S* могут сильно отличаться от "истинного значения" σ. Поэтому желательно оценивать доверительные интервалы по следующей схеме.

- Рассчитывают среднеквадратическое отклонение S_x по приведенным формулам.
- Задают необходимую доверительную вероятность P. Обычно P= 0.95.

Доверительная вероятность измерений должна задаваться самим экспериментатором. Эта величина, определяющая надежность результатов. Чем более ответственны результаты, тем более высокую доверительную вероятность надо принимать. Для технических и аналитических определений (например состав фаз, параметров элементарной ячейки и

других очень точных измерений) обычно принимается доверительная вероятность 0.95. Для важных измерений (на которых базируется новый закон, новое положение или от которых зависит безопасность людей) P= 0.99.

3.По таблице А.1 для принятой P и *n* находят доверительные границы отклонения величины S_x (в долях S_x) γ γ_1 и γ_2 .

Таблица А.1 Коэффициенты γ_1 и γ_2 для оценки доверительных интервалов погрешностей расчета среднеквадратического отклонения.

	P= 0.95		P= 0.90	
n	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2
2	0.42	32	0.51	16
3	0.52	6.3	0.58	4.4
4	0.57	3.7	0.62	2.9
5	0.60	2.9	0.65	2.4
6	0.62	2.5	0.67	2.1
7	0.64	2.2	0.69	1.9
8	0.66	2.0	0.70	1.8
9	0.68	1.9	0.72	1.7
10	0.69	1.8	0.73	1.6
12	0.71	1.7	0.75	1.5
14	0.73	1.6	0.76	1.5
16	0.74	1.5	0.77	1.4
18	0.75	1.5	0.79	1.4
20	0.76	1.5	0.79	1.4
25	0.78	1.4	0.81	1.3
30	0.80	1.3	0.83	1.3
50	0.84	1.2	0.86	1.2
100	0.88	1.2	0.90	1.1
200	0.91	1.1	0.93	1.1

4. Находят доверительные границы отклонения S_x:

$S_{мин} = S_X \gamma_1$, $S_{макс} = S_X \gamma_2$,

Полученные значения $S_{мин}$ и $S_{макс}$ означают, что с вероятностью P величина S_x лежит между ними. С учетом доверительных интервалов S_x далее рассчитываются доверительные интервалы погрешности измерения.

Рассмотрим пример. S_x = 0.03, *n* = 3. Оценим границы доверительных интервалов.

1. Принимаем P=0.95.

2. По табл. 6 для P=0.95 и *n* = 3 находим γ_1 = 0.52, γ_2 = 6.3.

3. $S_{мин}$ = 0.52 0.03 = 0.015, $S_{макс}$=0.19. Так, с вероятностью 0.95 S_x может находиться в интервале от 0.015 до 0.19.

Следует помнить, что величина среднеквадратического отклонения выборки сама по себе хотя и несет некоторую информацию о параметрах выборки, но не является достаточной характеристикой. Об этом нельзя забывать и считать статистическую обработку законченной.

Пример. При определении состава синтезированного в опыте плагиоклаза получили путем замеров на микрозонде 10 значений X^{Pl}_{An}: 0.30,0.31, 0.28, 0.29, 0.32, 0.31, 0.27, 0.29, 0.29, 0.30. Необходимо определить среднее арифметическое и среднеквадратическую ошибку (S_x) и доверительные интервалы для S_x.

1. Обозначим X^{Pl}_{An} за X, X_1=*0.3,* X_2= 0.31, ..., X_{10}= 0.30.

2. Вычислим среднее

$$X = \frac{X_1 + \ldots + X_{10}}{10} = 0.296 \approx 0.30$$

3. Вычислим S_x

$$S_x = \sqrt{\frac{(0.30 - 0.30)^2 + (0.30 - 0.31)^2 + \ldots + (0.30 - 0.30)^2}{10 - 1}} = 0.015 \approx 0.02.$$

4. Оценим границы доверительного интервала для S_x (n = 10, задаем P= 0.95), по табл. 6 находим (для n = 10 и P= 0.95) величины γ_1 и γ_2 : γ_1 = 0.69, γ_2 =1.8, $S_{мин}$=0.02 0.69 = 0.014 ± 0.01, $S_{макс}$=0.02 1.8 = 0.036± 0.04.

5. Среднее значение X^{Pl}_{An}= 0.30; среднеквадратическая погрешность S_x= 0.02.

6. С вероятностью 0.95 $0.04 \geq S_x \geq 0.01$

Коэффициентом вариации результатов наблюдений (измерений) является относительная величина среднеквадратического отклонения:

$V_x = [S_x / \overline{X} n]$ 100%.

Коэффициент вариации позволяет сравнивать влияние случайных погрешностей на результат измерения в разных сериях или проводимых различными методами.

Приложение Б
(справочное)
Практическая работа 2
Исключение выпадающих (анормальных) результатов измерений («промахи»)

Очень часто при замерах (определениях) какой-либо величины возникают сомнения: надо ли отбрасывать результаты замера, несколько отличающихся от всех, какова значимость такого отклонения. Может быть два варианта существования "анормальных" замеров.

1. Замер принадлежит к той же генеральной совокупности, но вероятность его появления мала. В этом случае его исключать нельзя, и расчеты среднего арифметического и среднеквадратического отклонения необходимо проводить с учетом этого замера.

2. Отклоняющийся результат - следствие погрешности в записи (промаха) и не подчиняется случайным законам отклонения от генерального среднего. В этом случае его надо отбросить.

Решение задачи об отбрасывании какого-либо значения надо проводить с большой осторожностью, предварительно проанализировав условия, в которых он получен. Может быть удастся оценить достоверность этого результата и без вероятностного подхода. В противном случае нужно воспользоваться следующими методами.

1. Среди n результатов находят $X_{мин}$ и $X_{макс}$, которые подлежат проверке.

2. Подсчитывают среднее данной выборки:

$$X = \frac{X_{мин} + X_2 + \ldots + X_{макс}}{n}.$$

3. Подсчитывают выборочное среднеквадратическое отклонение:

$$S_X = \sqrt{\frac{\left(X_{мин} - X\right)^2 + \left(X_2 - X\right)^2 + \ldots + \left(X_{макс} - X\right)^2}{n-1}}.$$

4. Находят следующие отношения:

$$U_{макс} = \frac{X_{макс} - X}{S_X} \text{ и } U_{мин} = \frac{X - X_{мин}}{S_X}.$$

5.Принимают необходимый доверительную вероятность (для наших целей P=0.95).

6. Находят величину β по табл. Б.1 при принятом значении P и выборке объема *n*.

7. $U_{макс}$ и $U_{мин}$, полученные в п. 4, сравнивают с величиной β по п. 6 . Если $U_{макс} \geq \beta$, то проверяемый результат может быть исключен.

Пример. При определении состава синтетического санидина получены следующие содержания K_2O в минерале: 13,1; 12,9; 13,3; 14,1 весовых процентов.

1. Сомнительное значение 14,1.

2. $\bar{X} = \frac{13.1+12.9+13.3+14.1}{4} = 13.4$

3. $S_x = \sqrt{\frac{(13.4-13.1)^2 + (13.4-12.9)^2 + (13.4+13.3)^2 + (13.4-14.1)^2}{4-1}} = 0.5.$

4. $U = \frac{14.111 - 13.44}{0.5} = 1.4.$

5. Принимаем P= 0.95.

6. Для P= 0.95 и n =4 β = 1.46 (по табл. 27). U< β (1.4<1.46), результат 14.1 не может быть исключен.

Другой пример. Было получено 5 значений pH для равновесия минерал - раствор: 4.3, 4.2, 4.3, 4.1, 5.3

1. Необходимо проверить 5.3 .

2.` X=4.4 .

3. $S_x = \sqrt{\frac{(4.4-4.3)^2 + (4.4-4.2)^2 + (4.4-4.3)^2 + (4.4-4.1)^2 + (4.4-5.3)^2}{5-1}} = 0.5$

4. $U = \frac{5.3 - 4.4}{0.5} = 1.8.$

5. Принимаем α= 0.95.

6. По таблице Б.1 β = 1.67 (n = 5, α= 0.95).

7. U> β , результат 5.3 можно исключить.

Таблица Б.1 Коэффициенты β для различных значений доверительной вероятности P.

β	Доверительный интервал P		
n	0.90	0.95	0.99
3	1.15	1.15	1.15
4	1.42	1.46	1.48
5	1.60	1.67	1.72
6	1.73	1.82	1.89
7	1.83	1.94	2.02
8	1.91	2.03	2.13
9	1.98	2.11	2.21
10	2.03	2.18	2.29
11	2.09	2.23	2.36
12	2.13	2.29	2.41
13	2.17	2.33	2.47
14	2.21	2.37	2.50
15	2.25	2.41	2.55
16	2.28	2.44	2.58
18	2.34	2.50	2.66
20	2.38	2.56	2.71

Приложение В
(справочное)

Практическая работа 3

Оценка границ доверительного интервала величины погрешности для малых выборок.

Погрешность анализа определяется по формуле

$$\varepsilon = \pm \frac{t_{an} S_X}{\sqrt{n}},$$

где S_x - среднеквадратическое отклонение, t_n - коэффициент Стьюдента для оценки погрешности при малых n ($n \leq 20$).

Стьюдент - псевдоним английского химика В.Госсета, предложившего в 1908 г. применять коэффициент t_n.

Фактически t_n применяется вместо Z при n<10. При n стремящемся к бесконечности распределение Стьюдента совпадает с нормальным распределением с единичной дисперсией: $t_n = \frac{\varepsilon}{S_x}$; значения коэффициентов приведены в таблице В.1

Таблица В.1 Значения коэффициентов Стьюдента t_n (для двусторонней проверки).

	Доверительная вероятность Р						
n	0.3	0.5	0.8	0.9	0.95	0.99	0.999
2	0.51	1.00	3.1	6.3	12.7(6.3)*	63.7	636.6
3	0.45	0.82	1.9	2.9	4.3(2.9)	9.9	31.6
4	0.42	0.77	1.6	2.4	3.2(2.4)	5.8	12.9
5	0.41	0.74	1.5	2.1	2.8(2.1)	4.6	8.6
6	0.41	0.73	1.5	2.0	2.6(2.0)	4.0	6.9
7	0.40	0.72	1.4	1.9	2.4(1.9)	3.7	6.0
8	0.40	0.71	1.4	1.9	2.4(1.9)	3.5	5.4
9	0.40	0.71	1.4	1.9	2.3(1.9)	3.4	5.0
10	0.40	0.70	1.4	1.8	2.3(1.8)	3.3	4.8
12	0.40	0.70	1.4	1.8	2.2(1.8)	3.1	4.3
14	0.39	0.69	1.4	1.8	2.2(1.8)	3.0	4.2
16	0.39	0.69	1.4	1.8	2.2(1.8)	2.9	4.0
20	0.39	0.69	1.3	1.7	2.1(1.7)	2.9	3.9
30	0.39	0.68	1.3	1.7	2.0(1.7)	2.8	3.7
¥	0.39	0.67	1.3	1.6	2.0(1.6)	2.6	3.3

*В скобках даны величины t_n для Р= 0.95 при односторонней проверке. Проверка называется двусторонней или односторонней в зависимости от того, как оценивать погрешности величины Х - по обе стороны среднего значения (±) или по одну сторону от среднего соответственно.

Рассмотрим еще пример. При измерении плотности минерала получен ряд следующих значений (n=5): 2.75, 2.78, 2.76, 2.77, 2.76. Определить среднее значение и границы доверительного интервала при вероятности P= 0.95.

1. Вычислим $X = \frac{2.75 + 2.78 + 2.76 + 2.77 + 2.76}{5} = 2.76$

$$S_x = \sqrt{\frac{(2.75-2.76)^2 + (2.78-2.76)^2 + (2.76-2.76)^2 + (2.77-2.76)^2 + (2.76-2.76)^2}{5-1}} = 0.06.$$

2. Вычислим S_X

3. По табл. 27 находим: для P= 0.95 и n= 5 t_n = 2.78.

4. Находим $\varepsilon = \pm \frac{t_{an} Sx}{\sqrt{n}} = \frac{2.78 \cdot 0.06}{\sqrt{5}} = 0.07$, если n<20, то $\varepsilon = t_n S_x$.

5. Итак, плотность минерала $\overline{X}$ = 2.76± 0.07, т.е. вероятность отклонения в замерах за интервал ± 0.07 - 5%.

Приложение Г
(справочное)

Практическая работа 4

Сравнение двух выборочных средних при известных параметрах двух выборок.

В практике петрологического эксперимента часто возникает вопрос о значимости различий двух (двух или больше) серий замеров. Например, изменился ли состав минерала в результате опыта (произошло ли смещение реакции) или нет? Для этого необходимо выполнить статистический анализ.

Ход анализа. Гипотеза: средние значения обеих серий замеров совпадают, т.е. в пределах точности различия нет.

1. Устанавливают объем выборок n_1 и n_2.

2. Вычисляют S_1 и S_2 для обеих выборок. Вычисляют $S_{1,2}$:

$$S_{1,2} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}.$$

3. Вычисляют $$t_{ak}^{p} = \frac{X_1 - X_2}{S_{1,2}\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

4. Принимают доверительную вероятность (P= 0.95).

5. Определяют, какую проверку надо произвести (скорее всего, двустороннюю).

6. По значению P и n находим табличное значение t_n (см. табл.). При этом надо учесть, что по таблице $n=n_1+n_2-1$.

7. Сравнивают абсолютную величину t^p_n с t_n:

а) если $t^p_n > t_n$, гипотеза отбрасывается, т.е. результаты статистически значимы.

б) если $t^p_n \leq t_n$, гипотеза принимается, т.е. разница величин статистически не значима.

Рассмотрим пример. В ходе реакции мольная доля Mg в гранате изменилась от X^{Gr}_{Mg} = 0.21 до X^{Gr}_{Mg} =0.24. Можно ли приписать это изменение только погрешности анализа (другими словами, считать, что состав граната не изменился)? Условия: S_1 и S_2 (для исходного и конечного материалов навески граната) соответственно равны 0.005 и 0.020 при n_1 = 10 и n_2 = 5.

Гипотеза: средние значения не отличаются друг от друга.

1. S_1 = 0.005 и S_2 = 0.02.

2. $$t^{p}_{эк} = \frac{0.24 - 0.21}{0{,}012\sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{5}}} = 4.55.$$

3. Принимаем P= 0.95.

4. Для *P*= 0.95 и двусторонней проверки n =10+5-1=14, t_n = 2.2 (см. табл. 28).

5. Сравниваем рассчитанную величину (t^p_n) с табличным t_n : $t^p_n > t_n$ (4.55 > 2.2). Таким образом, с вероятностью 0.95 произошла реакция с изменением состава граната.

Еще пример. В одном шлифе габбро найдены 2 зерна плагиоклаза состава An_{50} и An_{55} (X^{Pl}_{Ca} = 0.50 и 0.55 соответственно). Можно ли считать составы плагиоклазов одинаковыми? Условия : $S_1 = S_2$ = 0.03, $n_1 = n_2$= 3, P= 0.95.

1. Рассчитываем $S_{1,2}$:

$$S_{1,2} = \sqrt{\frac{(3-1)(0.03)^2 + (3-1)(0.03)^2}{3+3-2}} = 0.03.$$

2. Рассчитываем t^p_n:

$$t^{p}_{эк} = \frac{0.55 - 0.50}{0.03\sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}}} = 2.04 \approx 2.0.$$

3. Находим по табл. 28 значения t_n. *n*=3+3-1=5. t_n=2.8.

4. Сравниваем t^p_n и t_n:

$t^p_n < t_n$.

Таким образом, составы плагиоклазов (An_{50} и An_{55}) значимо не различаются, и разница в составах обусловлена лишь погрешностями в определении составов плагиоклазов.

Приложение Г
(справочное)
Практическая работа 5

Аппроксимация экспериментальных зависимостей методом наименьших квадратов (МНК)

До сих пор мы рассматривали погрешности при измерениях какой - либо одной величины. Но бывают случаи, когда необходимо определить зависимость между двумя величинами (X и Y). К ним относятся:

- Оценка силы связи (корреляции) между величинами X и Y.
- Нахождение аналитической зависимости между величинами X и Y (нахождение уравнения регрессии).
- Оценка степени аппроксимации данной зависимости уравнением регрессии.

Примерами могут служить широко используемые зависимости коэффициента распределения компонентов между фазами от температуры ($\ln K_D = A\ 10^3/T+B$) и от состава X одной из фаз ($\ln K_D = AX^2+BX+C$).

Расчет коэффициентов корреляции. Прежде чем находить аналитическую зависимость между величинами X и Y, следует определить, существует ли связь между этими двумя параметрами (например, иногда неясно, зависит ли коэффициент распределения элемента между фазами от состава фаз или от f_{O2} и т.д.). Для решения подобного рода задач проводят корреляционный анализ.

Допустим, что у нас есть набор значений двух величин X и Y. Мы хотим проверить, существует ли зависимость между этими величинами, и оценить ее значимость. Для этого необходимо рассчитать *выборочный коэффициент корреляции* r_{XY}:

$$r_{XY} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}.$$

Полученные значения r_{XY} сравнивают с табличными значениями (табл. 8) для заданной доверительной вероятности и числа экспериментальных данных *n*. Обычно доверительную вероятность (P) выбирают 0.95, что подходит для большинства экспериментальных исследований. Если рассчитанный r_{XY} больше соответствующего (для заданных n и ***P***) значения коэффициента корреляции из таблицы Г.1, то связь между величинами X и Y значима с вероятностью P.

Рассмотрим расчет коэффициента корреляции на конкретном примере**.** Пусть для некоторых двух фаз получен набор значений коэффициентов распределения элементов ($\ln K_D \cong Y$) для приведенной температуры $t^* = 10^3/T \cong X$. Необходимо определить, зависит ли величина $\ln K_D (Y)$ от $t^*(X)$ и велика ли эта связь.

1. Расчеты удобно вести по приведенной формуле, записывая результаты в таблицу типа таблицы Г.2.

Рассчитаем коэффициент корреляции: $r_{XY} = \frac{0.532}{\sqrt{1.099 \cdot 0.274}} = 0.969.$

Таблица Г.1 Значения коэффициентов корреляции (r_{XY}) для различных доверительных вероятностей.

$(r_{X,Y})$	Доверительная вероятность P		
n	0.90	0.95	0.99
2	0.988	0.997	1.000
3	0.900	0.950	0.990
4	0.805	0.878	0.959
5	0.729	0.811	0.917
6	0.669	0.754	0.874
7	0.621	0.707	0.834
8	0.582	0.666	0.798
9	0.549	0.632	0.765
10	0.521	0.602	0.735
12	0.476	0.553	0.684
14	0.441	0.514	0.641
15	0.412	0.482	0.606
18	0.389	0.456	0.575
20	0.369	0.433	0.549
25	0.322	0.381	0.487
30	0.296	0.349	0.449
40	0.257	0.304	0.393
50	0.231	0.273	0.354
60	0.211	0.250	0.325
80	0.183	0.217	0.283
100	0.164	0.195	0.254

Таблица Г.2 Расчет коэффициента корреляции.

n	X_i	Y_i	$X_i - \overline{Y}$	$Y_i - \overline{Y}$	$(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})$	$(X_i - \overline{X})^2$	$(Y_i - \overline{Y})^2$
1	1.00	0.21	- 0.43	- 0.23	0.099	0.185	0.053
2	1.10	0.30	- 0.33	- 0.14	0.046	0.109	0.020
3	1.15	0.28	- 0.28	-0.16	0.045	0.078	0.026
4	1.20	0.27	- 0.23	-0.17	0.039	0.053	0.029
5	1.20	0.38	- 0.23	-0.06	0.014	0.053	0.004
6	1.30	0.37	- 0.13	-0.07	0.009	0.017	0.005
7	1.40	0.43	- 0.03	-0.01	0.000	0.001	0.000
8	1. 40	0.48	- 0.03	0.04	-0.001	0.001	0.002
9	1.50	0.45	0.07	0.01	0.001	0.005	0.000
10	1.60	0.56	0.17	0.12	0.020	0.029	0.014
11	1.70	0.57	0.27	0.13	0.035	0.073	0.017
12	1.80	0.58	0.37	0.14	0.052	0.137	0.020
13	1.80	0.63	0.37	0.19	0.070	0.137	0.036
14	1.90	0.66	0.47	0.22	0.103	0.221	0.048
S	20.05	6.17	-	-	0.532	1.099	0.274
Среднее	1.43	0.44	-	-	-	-	-

2. Задаем доверительную вероятность P = 0.95.

3. Сравниваем расчетную величину r_{XY} = 0.969 с табличными данными (табл. 30) для n = 14, P = 0.95.

4. Расчетный r_{XY} (0.969) больше, чем табличное значение (0.514). Следовательно, существует значимая (на уровне 0.95) связь между lnK_D и t*.

Теперь надо найти **аналитическую зависимость** между ln K_D и t* или в общем случае функциональную зависимость вида Y = f (X).

В результате эксперимента мы получаем для значений аргумента (X_1, X_2, ..., X_n) набор значений функций (Y_1, Y_2, ..., Y_n). Если соединить последовательно точки Y_1, Y_2, ..., Y_n ломаной линией, она не является графическим изображением функции Y = f (X), так как при повторении данной серии опытов мы получим ломаную линию, отличную от первой. Значит, измеренные значения Y будут отклоняться от истинной кривой Y = f (X*)* вследствие статистического разброса. Наша задача состоит в том, чтобы аппроксимировать экспериментальные данные гладкой (не ломаной) кривой, которая проходила бы как можно ближе к истинной зависимости Y = f(X).

Теория вероятности показывает, что наилучшим приближением будет такая кривая (или прямая) линия, для которой сумма квадратов расстояний по вертикали от точек до кривой будет минимальной. Метод нахождения кривой, соответствующей этому условию, и называется *методом наименьших квадратов* (МНК). Фактически это условие минимума соответствует предположению, что разброс точек Yi относительно кривой Y = f (X*)* подчиняется закону нормального распределения. Мерой этого распределения является среднеквадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Y_i - Y(X_i)\right]^2}{n-1}} = \frac{1}{\sqrt{n-1}}\sum \Delta Y_i^*.$$

Требование минимального разброса соответствует минимальному значению этого среднего квадрата. Обычно форму кривой Y = f (X) задают полиномами вида:

$$Y(X) = \alpha_0 + \alpha_1 X + \alpha_2 X^2 + \ldots + \alpha_m X^m.$$

Нахождение коэффициентов этого полинома сводится к минимизации S_x методами математического анализа, к решению уравнений вида:

$$\sum_{j=1}^{n}\left(Yi - \sum_{k=0}^{m} \alpha_k t_j^k\right) t_j^i = 0,$$

где i = 0, 1, 2, ..., *n*; j = 0, 1, 2, ...,*m; m* < *n*-1.

Для решения этих уравнений применяют итерациональный (численный) метод. Фактически без применения компьютера расчет (подбор) коэффициентов αфункции Y = f (X) можно проводить лишь для линейной зависимости: $Y = \alpha_1 X + \alpha_0$ (т.е. $Y = \alpha X + b$).

Для степени m>1 расчет коэффициента α_m выполняется на компьютерах.

Приложение Д
(справочное)
Практическая работа 6
Расчет параметров линейной зависимости $Y = \alpha X + b$.

Приведем уравнения, позволяющие рассчитывать величины a и b без их вывода.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i Y_i) - \bar{X}\sum_{i=1}^{n} Y_i}{\sum_{i=1}^{n}(X_i)^2 - \bar{X}\sum_{i=1}^{n} Xi}; b = \bar{Y} - \alpha\bar{X}.$$

Продолжим рассмотрение предыдущего *примера,* в котором для некоторых 2 фаз была получена следующая зависимость ln K_D(Y) от обратной температуры t* = 10^3 /T(X). Запишем линейное уравнение связи ln K_D(Y) = at*(X) + *b*.

Вычислим величины $X; Y; X_i; Y_i; \sum_{i=1}^{n} Y_i; X_i^2; \sum_{i=1}^{n}(X_i)^2; Y_i^2; \sum_{i=1}^{n}(Y_i)^2$.

Вычисление удобно представить в виде таблицы (таблица Д.1)

Таблица Д.1**.** Расчет параметров линейной зависимости.

n	X_i	Y_i	X_iY_i	Y_i^2	X_i^2
1	1.00	0.21	0.21	0.044	1.00
2	1.10	0.30	0.33	0.090	1.21
3	1.15	0.28	0.32	0.078	1.32
4	1.20	0.27	0.32	0.073	1.44
5	1.20	0.38	0.46	0.144	1.44
6	1.30	0.37	0.48	0.137	1.69
7	1.40	0.43	0.60	0.185	1.96
8	1.40	0.48	0.67	0.230	1.96
9	1.50	0.45	0.68	0.203	2.25
10	1.60	0.56	0.90	0.314	2.56
11	1.70	0.57	0.97	0.325	2.89
12	1.80	0.58	1.04	0.336	3.24
13	1.80	0.63	1.13	0.397	3.24
14	1.90	0.66	1. 25	0.436	3.61
å	20.05	6.17	9.36	2.992	29.81
Среднее	1.43	0.44	0.67	0.213	2.13

Вычислим параметры a и b:

$$\alpha = \frac{9.36 - (1.43 \cdot 6.17)}{29.81 - (1.43 \cdot 20.05)} = \frac{0.537}{1.139} = 0.471,$$
$$b = 0.44 - 0.471 \cdot 1.43 = -0.234.$$

Итак, зависимость **Y = aX + b** или ln K_D = at* +b выражается линейным уравнением ln K_D = 0.471t* - 0.234.

Приложение Е

(справочное)

Практическая работа 7

Расчет точности аппроксимации данных уравнением *Y = aX + b* [1].

Оценив связи между X и Y (t* и ln K_D) (коэффициент корреляции) и найдя линейное уравнение связи, необходимо оценить степень аппроксимации линейным уравнением этой зависимости. Это можно сделать, рассчитывая среднеквадратическое отклонение расчетных значений (Y_p) от экспериментальных (Y_i):

$$S_Y^* = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y_p)^2}{n-1}}.$$

Затем рассчитывают погрешность аппроксимации (ε_Y*) по критерию, предварительно задав доверительную вероятность:

$$\varepsilon_Y^* = \frac{t_{an} S_Y^*}{\sqrt{n}}.$$

Рассчитаем значение S_{Y*} и ε_{Y*} для зависимости ln K_D = 0.471t* - 0.234 (таблица Е.1).

Таблица Е.1 Расчет точности аппроксимации.

n	X_i	Y_i	Y_p	$Y_i - Y_p$	$(Y_i - Y_p)^2$
1	1.00	0.21	0.24	- 0.03	0.0009
2	1.10	0.30	0.28	0.02	0.0004
3	1.15	0.28	0.31	- 0.03	0.0009
4	1.20	0.27	0.33	- 0.06	0.0036
5	1.20	0.38	0.33	0.05	0.0025
6	1.30	0.37	0.38	- 0.01	0.0001
7	1.40	0.43	0.43	0.00	0.0000
8	1.40	0.48	0.43	0.05	0.0025
9	1.50	0.45	0.47	- 0.02	0.0004
10	1.60	0.56	0.52	0.04	0.0016
11	1.70	0.57	0.57	0.00	0.0000
12	1.80	0.58	0.61	- 0.03	0.0009
13	1.80	0.63	0.61	0.02	0.0004
14	1.90	0.66	0.66	0.00	0.0000
å	-	-	-	-	0.0142

[1] Подобный расчет можно проводить и для уравнений более высоких степеней.

1. Рассчитаем для заданных X_i по найденному уравнению Y = 0.471X - 0.234 значения Y_p; $(Y_i - Y_p)$; $(Y_i - Y_p)^2$ (табл.13).

2. Вычислим S_{Y*}:

$$S_Y^* = \sqrt{\frac{0.0142}{14-1}} = 0.033$$

3. Выберем ***P***= 0.95 и по табл. 28 для n =14 найдем t_n = 2.2.

4. Вычислим величину ε_Y*:

$$\varepsilon_Y^* = \frac{t_{an} S_Y^*}{\sqrt{n}} = \frac{2.2 \cdot 0.033}{\sqrt{14}} = 0.22$$

Итак, уравнение Y= 0.471X - 0.234 описывает экспериментальную зависимость ln K_D = (Y) от t* (X) с погрешностью 0.02 для доверительной вероятности P= 0.95. Практически это означает, что с вероятностью 0.95 все экспериментальные точки будут находиться в пределах ± 0.02 от расчетной прямой.

Порядок обработки зависимости двух параметров следующий:

1. Рассчитывается коэффициент корреляции r_{XY}.

2. По табл. 10 оценивается (для выбранного значения Ри количества пар X и Y-n) значимость связи X и Y.

3. Находятся коэффициенты линейного уравнения связи $Y = \alpha X + b$.

4. Вычисляется S^*_Y (среднеквадратическое отклонение кривой $Y = \alpha X + b$ от экспериментальных точек).

5. Задаем доверительную вероятность P. Обычно P= 0.95.

6. По табл. 28 находим значение t_n для выбранного Ри количества точек (пар) - n.

7. Рассчитываем погрешность аппроксимации по формуле:

$$\varepsilon_Y^* = \pm \frac{t_{an} Sx}{\sqrt{n}},$$

Приложение Ж
(справочное)

Алгоритм обработки результатов измерений

В заключение напомним **порядок статистической обработки серии измерений**. С подобной работой наиболее часто приходится сталкиваться экспериментатору:

1. Вычисляется среднее арифметическое выборки (из n результатов измерений):

$$X = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i .$$

2. Находятся погрешности отдельных измерений: $\Delta = X - X_i$.

3. Вычисляется среднеквадратическое отклонение результатов измерений:

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta X_i^2}{n-1}}$$

4. Если один результат измерений (или несколько) резко отличается от остальных, то следует проверить, не является ли этот результат промахом, предварительно выбрав уровень значимости q (для большинства наших измерений q = 0.95.

5. Определяется коэффициент Стьюдента $t_{p,n}$ для доверительной вероятности P и числа измерений n (см.табл).

6. Находят границы доверительного интервала:

Доверительные границы в случае нормального закона распределения вычисляются как

$$\pm tS/\sqrt{n}\,,\ \pm tS_{\bar{x}}\,,$$
$$\Delta x = S_x \cdot t_{P,n}$$

где S, $S_{\bar{x}}$ - средние квадратические отклонения (погрешности), соответственно, единичного и среднего арифметического результатов измерений;

где $t_{p,n}$ - коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений n.

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}\,, \qquad \varepsilon = t_{an}\frac{S_x}{\sqrt{n}}.$$

7. Окончательный результат записывается в виде $X = \overline{X} \pm \varepsilon$;

8. Вычисляется коэффициент вариации данной серии замеров: $V_x = \frac{S_x}{\overline{X}} 100\%$.

Приложение З
(справочное)
Измерения физических величин

З.1 измерение физической величины;

Совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Примеры

1 В простейшем случае, прикладывая линейку с делениями к какой-либо детали, по сути сравнивают ее размер с единицей, хранимой линейкой, и, произведя отсчет, получают значение величины (длины, высоты, толщины и других параметров детали).

2 С помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, и проводят отсчет.

Примечания

1 Приведенное определение понятия "измерение" удовлетворяет общему уравнению измерений, что имеет существенное значение в деле упорядочения системы понятий в метрологии. В нем учтена техническая сторона (совокупность операций), раскрыта метрологическая суть измерений (сравнение с единицей) и показан гносеологический аспект (получение значения величины).

2 От термина "измерение" происходит термин "измерять", которым широко пользуются на практике. Все же нередко применяются такие термины, как "мерить", "обмерять", "замерять", "промерять", не вписывающиеся в систему метрологических терминов. Их применять не следует.

Не следует также применять такие выражения, как "измерение значения" (например, мгновенного значения напряжения или его среднего квадратического значения), так как значение величины - это уже результат измерений.

3 В тех случаях, когда невозможно выполнить измерение (не выделена величина как физическая и не определена единица измерений этой величины) практикуется *оценивание* таких величин по условным шкалам

З.2 равноточные измерения

Ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.

Примечание - Прежде чем обрабатывать ряд измерений, необходимо убедиться в том, что все измерения этого ряда являются равноточными

З.3 неравноточные измерения

Ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.

Примечание - Ряд неравноточных измерений обрабатывают с учетом веса отдельных измерений, входящих в ряд

З.4 однократное измерение

Измерение, выполненное один раз.

Примечание - Во многих случаях на практике выполняются именно однократные измерения. Например, измерение конкретного момента времени по часам обычно производится один раз

З.5 многократное измерение

Измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. состоящее из ряда однократных измерений

3.6 статическое измерение

Измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

Примеры

1 Измерение длины детали при нормальной температуре.

2 Измерение размеров земельного участка

3.7 динамическое измерение

Измерение изменяющейся по размеру физической величины.

Примечания

1 Терминоэлемент "динамическое" относится к измеряемой величине.

2 Строго говоря, все физические величины подвержены тем или иным изменениям во времени. В этом убеждает применение все более и более чувствительных средств измерений, которые дают возможность обнаруживать изменение величин, ранее считавшихся постоянными, поэтому разделение измерений на динамические и статические является условным

3.8 абсолютное измерение

Измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант.

Пример - Измерение силы $F = mg$ основано на измерении основной величины - массы m и использовании физической постоянной g (в точке измерения массы).

Примечание - Понятие *абсолютное измерение* применяется как противоположное понятию *относительное измерение* и рассматривается как измерение величины в ее единицах. В таком понимании это понятие находит все большее и большее применение

3.9 относительное измерение

Измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

Пример - Измерение активности радионуклида в источнике по отношению к активности радионуклида в однотипном источнике, аттестованном в качестве эталонной меры активности

3.10 прямое измерение

Измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно.

Примечание - Термин *прямое измерение* возник как противоположный термину *косвенное измерение*. Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее единицей. В этом случае лучше применять термин *прямой метод измерений*.

Примеры

1 Измерение длины детали микрометром.

2 Измерение силы тока амперметром.

3 Измерение массы на весах

3.11 косвенное измерение

Определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Пример - Определение плотности D тела цилиндрической формы по результатам прямых измерений массы m, высоты h и диаметра цилиндра d, связанных с плотностью уравнением

$$D = \frac{m}{0{,}25\pi d^2 h}.$$

Примечание - Во многих случаях вместо термина *косвенное измерение* применяют термин *косвенный метод измерений*

3.12 совокупные измерения

Проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях.

Примечание - Для определения значений искомых величин число уравнений должно быть не меньше числа величин.

Пример - Значение массы отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь

3.13 совместные измерения

Проводимые одновременно измерения двух или нескольких неодноименных величин для определения зависимости между ними

3.14 наблюдение при измерении

Операции, проводимые при измерении и имеющие целью своевременно и правильно произвести отсчет.

Примечание - Не следует заменять термин *измерение* термином *наблюдение*

3.15 вид измерений

Часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин.

Пример - В области электрических и магнитных измерений могут быть выделены как виды измерений: измерения электрического сопротивления, электродвижущей силы, электрического напряжения, магнитной индукции и др.

3.16 подвид измерений

Часть вида измерений, выделяющаяся особенностями измерений однородной величины (по диапазону, по размеру величины и др.).

Пример - При измерении длины выделяют измерения больших длин (в десятках, сотнях, тысячах километров) или измерения сверхмалых длин - толщин пленок

3.17 физическая величина

Одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

3.18 Измеряемая физическая величина;

Физическая величина, подлежащая измерению, измеряемая или измеренная в соответствии с основной целью измерительной задачи

3.19 размер физической величины;

Количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу

3.20 значение физической величины;

Выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц

3.21 числовое значение физической величины;

Отвлеченное число, входящее в значение величины

3.22 истинное значение физической величины;

Значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину.

Примечание - Истинное значение физической величины может быть соотнесено с понятием абсолютной истины. Оно может быть получено только в результате бесконечного процесса измерений с бесконечным совершенствованием методов и средств измерений

3.23 действительное значение физической величины;

Значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него

3.24 результат измерения физической величины;

Значение величины, полученное путем ее измерения

3.25 неисправленный результат измерения;

Значение величины, полученное при измерении до введения в него поправок, учитывающих систематические погрешности

3.26 исправленный результат измерения;

Полученное при измерении значение величины и уточненное путем введения в него необходимых поправок на действие систематических погрешностей

3.27 сходимость результатов измерений;

сходимость измерений

Близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Примечание - Сходимость измерений двух групп многократных измерений может характеризоваться размахом, средней квадратической или средней арифметической погрешностью

3.28 воспроизводимость результатов измерений

Близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

Примечание - Воспроизводимость измерений может характеризоваться средними квадратическими погрешностями сравниваемых рядов измерений

3.29 ряд результатов измерений

Значения одной и той же величины, последовательно полученные из следующих друг за другом измерений

3.30 среднее взвешенное значение величины;

Среднее значение величины из ряда неравноточных измерений, определенное с учетом веса каждого единичного измерения (см. 8.8).

Примечание - Среднее взвешенное значение иногда называют *средним весовым*

3.31 вес результата измерений;

Положительное число (p), служащее оценкой доверия к тому или иному отдельному результату измерения, входящему в ряд неравноточных измерений.

Примечание - В большинстве случаев принято считать, что веса входящих в ряд неравноточных измерений обратно пропорциональны квадратам их средних квадратических погрешностей, т.е. $p_i = 1/S_i^2$. Для простоты обычно результату с большей погрешностью приписывают вес, равный единице (p =1), а остальные веса находят по отношению к нему.

ПРИЛОЖЕНИЕ И

(справочное)

Систематические погрешности

Систематические погрешности можно подразделить на следующие группы.

1. Погрешности, природа которых нам известна и величина которых может быть достаточно точно определена. Такие погрешности могут быть исключены введением соответствующих поправок. К погрешностям такого рода можно отнести "дрейф" рентгеновского дифрактометра: для каждой серии замеров можно ввести поправку, введя так называемый "стандарт" - вещество, для которого точно известны положения пиков на дифрактограммах. Определив поправки, можно проводить дальнейшие измерения, не вводя стандарт в исследуемый образец.

2. Другой вид систематических погрешностей - это погрешности известного происхождения, но неизвестной величины. К их числу относятся погрешности измерительных приборов. Если на приборе указан класс точности 0,5, то это означает, что показания прибора верны с точностью до 0,5% от всей действующей шкалы прибора. Систематической погрешностью такого типа будет погрешность в определении давления манометром (класс 0.5), рассчитанного на измерение давления 4000 атм. Это значит, что давление мы измеряем с точностью 0.5% от всей шкалы, т.е. 20 атм. Систематические погрешности этого типа не могут быть исключены, но их наибольшее значение, как правило, известно. Если, измеряя давление, мы получили значение 2000 атм, то можем написать P= 2000± 20. Здесь ± 20 означает, что давление лежит в пределах от 1980 до 2020.

3. Третий вид систематических погрешностей - самый опасный, это погрешности, о существовании которых мы не подозреваем, хотя величина их может быть очень значительна. Они чаще всего появляются при сложных измерениях. Иногда бывает, что величина, которая измерена, как нам кажется, с точностью 2 - 3%, оказывается в 2 - 3 раза больше или меньше найденной величины. Например, измеряя скорость диффузии какого - либо элемента в твердой фазе, мы можем не учесть, что в данном образце существует сеть дислокаций, за счет которых скорость диффузии увеличится в несколько раз. Распознать такую ошибку будет трудно, т. к. повторные замеры распределения компонентов на микроанализаторах будут давать одну и ту же картину, а краевые зоны разных образцов будут иметь одну и ту же высокую плотность дислокаций. Такая погрешность может быть выявлена только при тщательной проверке всех этапов эксперимента, используя разные методики приготовления образцов и т. п.

Таким образом, при проведении эксперимента необходимо тщательно проанализировать все возможные источники систематических погрешностей и исключить их (если это возможно).

Разделение систематических и случайных погрешностей до некоторой степени условно. Можно предвидеть ситуацию, в которой систематическая погрешность неизвестного происхождения будет трудно выявляться и не учитываться. В то же время источниками случайных погрешностей могут быть неконтролируемые изменения параметров эксперимента в сложной системе: изменения внешней (по отношению к изучаемой системе) среды, неоднородность материала исходной навески. Фактически, если эти изменения происходят достаточно быстро, то они должны рассматриваться как фактор, способствующий появлению случайных погрешностей.

Случайные погрешности неустранимы из опытных данных, но они могут быть выявлены и количественно оценены при математической обработке экспериментальных данных, в чем и заключается основная цель статистического анализа.

Интересно рассмотреть соотношения величин систематических и случайных погрешностей. Возможны два случая. 1) Величина систематической погрешности больше величины случайной. В этом случае, проводя серию опытов, мы будем получать постоянные значения какой - либо величины; подобный вариант встречается сравнительно редко и чаще всего связан с недостаточной чувствительностью измерительного прибора. 2) Случайные погрешности больше систематических. Ясно, что для повышения точности измерений в первом случае надо уменьшать величину систематической погрешности (повысить чувствительность прибора) до тех пор, пока она не станет меньше случайной погрешности. Во втором - необходимо уменьшить величину случайной погрешности, это можно сделать, увеличивая количество измерений. В работе экспериментатора чаще всего встречается вторая ситуация, и повысить точность измерений можно, только увеличивая их число. Это не всегда возможно из соображений времени, экономики и т.д. В этом случае мы можем только приближенно оценить нижний предел возможной погрешности по так называемым приборным погрешностям. Реальная величина погрешности может быть значительно выше.

ПРИЛОЖЕНИЕ К
(справочное)
Запись чисел. Правила округления

Результаты любого эксперимента выражаются цифрами. Запись должна быть подчинена определенным правилам, произвол в этом деле недопустим. В этом смысле говорят о правильной и неправильной записи результатов. Следует иметь в виду, что неправильная запись может значительно обесценивать результаты даже блестящей экспериментальной работы, поэтому вопрос этот более серьезен, чем может показаться. Общее правило записи таково: она должна содержать только значащие цифры. Значащими считаются все цифры, кроме нулей в начале десятичной дроби (слева от запятой) и нулей в конце числа, если они поставлены вместо неизвестных цифр.

Рассмотрим пример. В качестве условий проведения опыта указано P = 30 000 бар. Если все эти цифры значащие, то нули обозначают отсутствие единиц соответствующих разрядов, другими словами, мы ручаемся за то, что точность нашего измерения давления не хуже ± 1 бар. На самом деле это далеко не так: точность ниже на три порядка. Поэтому приведенная запись неверна, она создает совершенно ложное представление о точности эксперимента. Правильной записью будет 30 х 10^3 бар или 30 кбар. В такой записи только две значащие цифры, и последняя из них соответствует реальной точности эксперимента.

Другой пример. В результате серии измерений определена плотность ρ = 13,60 г / см ^{3}. В этой записи 4 значащие цифры, т.е. плотность измерена с точностью до единицы во втором знаке после запятой - до ± 0,01 г/см^3 . Если бы реальная точность составляла только ± 0,1 г/см^3, правильной записью было бы 13,6 г/см^3. Пусть, однако, при реальной точности ± 0,01 г/см^3 шкала измерительного прибора позволяет получать значение в следующем разряде (тысячные доли г/см^3). Как поступить с этими значениями? Очевидно, что просто отбросить их было бы неверно, ибо значения, например, 13,615 и 13,605 г/см^3 заметно отличаются. Такие цифры (в данном случае 0,00n г/см^3) называются сомнительными; это значит, что n может принимать любое значение в пределах от 1 до 10. При записи результатов можно поступать двояко:

а) отбрасывать все приближенные цифры,

б) оставлять последней приближенную цифру ("принцип А.Н. Крылова"). Например, число 1,9931 (0,0031 - сомнительные цифры) записывается в первом варианте как 1,99, а во втором – 1,993 (сохраняя последнюю сомнительную цифру 3).

В приведенных примерах мы провели *округление* результата. Округлением числа называется уменьшение числа значащих цифр. Правила округления сводятся к следующему:

- *если отбрасывается цифра меньше 5, то предпоследняя цифра оставляется без изменения: 1,9932 → 1,993;*
- *если отбрасывается цифра больше 5, то предпоследняя цифра увеличивается на единицу: 1,9937→ 1,994;*
- *если отбрасывается цифра 5, то предпоследняя цифра:*
останется неизменной, если перед ней четное число: 1,9925 → 1,992.
увеличится на единицу, если перед ней нечетное число: 1,9935 → 1,994.

Запись надо вести так, чтобы все значащие цифры были верны, и лишь последняя была бы приближенной:
не Д = 1,4231 ± 0,005, а 1,413 ± 0,005, не Р = 38,742 ± 0,04 , а 38,74 ± 0,04.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

Оценка погрешности косвенных измерений

При косвенных измерениях искомая физическая величина А является функцией величин X, У , Z ...., которые могут быть получены с помощью прямых измерений. Результат косвенного измерения записывается в виде:

$$A \pm \Delta A$$

где $A = f(X, Y, Z, \ldots)$ - значение искомой величины, рассчитанное по средним значениям параметров X , Y, Z, ..., каждый из которых измеряется, как правило, по несколько раз. ΔА - абсолютная погрешность косвенного измерения. зависящая от погрешностей параметров X , Y , Z, ... (т.е. от ΔX , ΔY , ΔZ , ...).

В простейших случаях абсолютную и относительную погрешность косвенных измерений подсчитать нетрудно. Рассмотрим несколько примеров.

Пусть А = X + У. Если известны погрешности ΔX и ΔY , то

$$A \pm \Delta A = (X \pm \Delta X) + (Y \pm \Delta Y)$$

Максимальное значение погрешности равно при этом

$$\Delta A = \Delta X + \Delta Y.$$

Такова же будет максимальная абсолютная погрешность при A = X – Y.

Таким образом, относительные погрешности величин, являющихся суммой или разностью двух параметров, равны соответственно :

$$E = \frac{\Delta X + \Delta Y}{X + Y} \quad \text{и} \quad E = \frac{\Delta X + \Delta Y}{X - Y}$$

Пусть теперь A = X·Y - тогда

$$A \pm \Delta A = (X \pm \Delta X)(Y \pm \Delta Y) = X \cdot Y \pm X \cdot \Delta Y \pm Y \cdot \Delta X + \Delta X \cdot \Delta Y$$

Пренебрегая слагаемым второго порядка малости |ΔX· ΔY| имеем:

$$\Delta A = X \cdot \Delta Y + Y \cdot \Delta X$$

$$E = \frac{X \cdot \Delta Y + Y \cdot \Delta X}{X \cdot Y} \quad \text{или} \quad E = \frac{\Delta X}{X} + \frac{\Delta Y}{Y}$$

Если $A = \frac{X}{Y}$, то $A \pm \Delta A = \frac{X \pm \Delta X}{Y \pm \Delta Y}$.

Максимальное значение погрешности ΔА получится в случае, если погрешности в числителе и в знаменателе данного выражения взять с разными знаками. Тогда можно записать:

$$A \pm \Delta A = \frac{X + \Delta X}{Y - \Delta Y} = \frac{(X + \Delta X)(Y + \Delta Y)}{(Y - \Delta Y)(Y + \Delta Y)} = \frac{XY + Y \cdot \Delta X + X \cdot \Delta Y}{Y^2}$$

Здесь мы пренебрегли членами $(\Delta Y)^2$ и ΔX· ΔY . Максимальная абсолютная погрешность равна в этом случае

$$\Delta A = \frac{Y \cdot \Delta X + X \cdot \Delta Y}{Y^2},$$

а относительная погрешность равна

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta X}{X} + \frac{\Delta Y}{Y}$$

Полученные результаты легко обобщаются на произвольное количество сомножителей. Если в самом общем случае

$$A = C\frac{X^{\alpha} \cdot Y^{\beta} \cdot \ldots}{Z^{\gamma}},$$

где C — постоянный коэффициент, а α, β, γ, ... — любые целые или дробные числа, то относительную погрешность косвенного измерения величины A можно записать в виде :

$$E = \frac{\Delta A}{A} = \alpha\frac{\Delta X}{X} + \beta\frac{\Delta Y}{Y} + \gamma\frac{\Delta Z}{Z} + \ldots$$

Простота последнего выражения указывает на то, что в большинстве случаев удобно оценить сначала относительную погрешность косвенного измерения, а потом уже найти его абсолютную погрешность. Следует, однако, обратить внимание на то обстоятельство, что приведенные формулы применимы только в том случае, если параметры X , Y , Z , ... не зависят друг от друга. Если же, к примеру, $A = Z/Y$, где Z = X + Y расчет приведет к неправильному результату, т.к. погрешности одной и той же величины Y будут приписаны различные знаки, поскольку указанная величина фигурирует как в числителе, так и в знаменателе исходного выражения.

Более общие правила вычисления погрешностей, позволяющие избежать подобных ошибок, можно получить, используя дифференциальное исчисление.

Пусть по-прежнему A = *f*(X, Y, Z, …) . Тогда относительную погрешность косвенного измерения $E = \frac{\Delta A}{A}$ можно записать в виде $E = \frac{dA}{A}$. С другой стороны, $\frac{dA}{A} = d(\ln A)$ Таким образом, относительная погрешность величины A равна полному дифференциалу натурального логарифма функции, определяющей зависимость данной величины от измеряемых, т.е.

Таким образом, для нахождения $E = \frac{\Delta A}{A}$ необходимо:

1) Прологарифмировать исходную формулу ln A = ln *f(X, Y, Z, ...)*

2) Продифференцировать полученное уравнение, заменив затем дифференциалы dA , dX , dY ... погрешностями ΔA , ΔX , ΔY , ... ;

3) Сгруппировать члены, содержащие одни и те же погрешности, вынести эти погрешности за скобки, а выражения в скобках взять по модулю;

4) заменить знаки “-” перед коэффициентами при погрешностях на знак “+” (для нахождения максимального значения Δ).

Общая формула для расчета относительной погрешности будет при этом выглядеть следующим

образом:

$$E = \frac{\Delta A}{A} = \left|\frac{1}{f}\frac{df}{dX}\right|\Delta X + \left|\frac{1}{f}\frac{df}{dY}\right|\Delta Y + \left|\frac{1}{f}\frac{df}{dZ}\right|\Delta Z + \ldots .$$

В качества примера приведем оценку относительной погрешности величины γ, вычисляемой по формуле $\gamma = \frac{H}{H-h}$, где средние значения параметров, полученные после проведения серии измерений (отсчеты по шкале манометра).

$$\ln\gamma = \ln H - \ln(H-h)$$

$$\frac{d\gamma}{\gamma} = \frac{dH}{H} - \frac{d(H-h)}{H-h} = \frac{dH}{H} - \frac{dH}{H-h} + \frac{dh}{H-h}$$

$$\frac{\Delta\gamma}{\gamma} = \left|\frac{1}{H} - \frac{1}{H-h}\right|\Delta H + \left|\frac{1}{H-h}\right|\Delta h = \left|\frac{-h}{H(H-h)}\right|\Delta H + \left|\frac{1}{H-h}\right|\Delta h$$

Надо сказать, что расчет по формуле приводит, как правило, к завышению погрешности результата косвенных измерений. Причем это завышение зависит от числа параметров X, Y, Z, ... Если, например, имеется пять таких параметров, то вероятность того, что все ошибки будут иметь заданный знак равна $1/16$. При большем их числе указанная вероятность будет еще меньше. Таким образом, понятно, что максимально возможное значение относительной погрешности, даваемое этим выражением, во многих случаях значительно больше реальной погрешности результата.

Теория вероятностей дает более правильные формулы для оценки погрешностей косвенных измерений. Если при прямых измерениях параметров X, Y, Z ... доминирующей является случайная погрешность, то погрешность косвенного измерения также является случайной величиной. Это означает, что следует искать среднюю квадратичную погрешность результата. Так, если A = X + У, то вместо выражений указанных выше будем иметь :

$$A_{кв} = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} \quad \text{и} \quad E = \frac{\sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}}{X + Y}$$

Общая формула для расчета относительной погрешности будет в этом случае иметь следующий вид :

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{1}{f}\sqrt{\left(\frac{df}{dX}\Delta X\right)^2 + \left(\frac{df}{dY}\Delta Y\right)^2 + \left(\frac{df}{dZ}\Delta Z\right)^2 + \ldots}$$

или

$$\frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{d\ln f}{dX}\Delta X\right)^2 + \left(\frac{d\ln f}{dY}\Delta Y\right)^2 + \left(\frac{d\ln f}{dZ}\Delta Z\right)^2 + \ldots}$$

В частности, при $A = C\frac{X^{\alpha}\cdot Y^{\beta}\cdot\ldots}{Z^{\gamma}}$ имеем: $\frac{\Delta A}{A} = \frac{1}{f}\sqrt{\left(\alpha\frac{\Delta X}{X}\right)^2 + \left(\beta\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 + \left(\gamma\frac{\Delta Z}{Z}\right)^2 + \ldots}$

Таблица Г.1

№	Вид функции $R=f(X,Y,Z)$	Абсолютная погрешность (ε)	Относительная погрешность , $Q = \varepsilon / R$
1	$A X + B X$	$\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2}$	$\frac{\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2}}{AX + BY}$
2	$A X - B X$	$\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2}$	$\frac{\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2}}{AX - BY}$
3	$AX+BY+CZ$	$\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2 + C^2\varepsilon_Z^2}$	$\frac{\sqrt{A^2\varepsilon_X^2 + B^2\varepsilon_Y^2 + C^2\varepsilon_Z^2}}{AX + BY + CZ}$
4	$X Y$	$\sqrt{(\overline{X})^2\varepsilon_X^2 + (Y)^2\varepsilon_Y^2}$	$\sqrt{\frac{\varepsilon_X^2}{(X)^2} + \frac{\varepsilon_Y^2}{(Y)^2}}$
5	$XY Z$	$\sqrt{(Y)^2(Z)^2\varepsilon_X^2 + (Z)^2(X)^2\varepsilon_Y^2 + (X)^2(Y)^2\varepsilon_Z^2}$	$\sqrt{\frac{\varepsilon_X^2}{X^2} + \frac{\varepsilon_Y^2}{Y^2} + \frac{\varepsilon_Z^2}{Z^2}}$
6	X / Y	$\frac{\sqrt{Y^2\varepsilon_X^2 + X^2\varepsilon_Y^2}}{Y^2}$	$\sqrt{\frac{\varepsilon_X^2}{(X)^2} + \frac{\varepsilon_Y^2}{(Y)^2}}$
7	$X / X + Y$	$\frac{\sqrt{Y^2\varepsilon_X^2 + X^2\varepsilon_Y^2}}{(X+Y)^2}$	$\frac{\sqrt{Y^2\varepsilon_X^2 + X^2\varepsilon_Y^2}}{X(\overline{X}+Y)}$
8	$XY + Z$	$\sqrt{Y^2\varepsilon_X^2 + X^2\varepsilon_Y^2 + \varepsilon_Z^2}$	$\frac{\sqrt{Y^2\varepsilon_X^2 + X^2\varepsilon_Y^2 + \varepsilon_Z^2}}{X\cdot Y + Z}$

Библиография

- Зайдель А.Н. Элементарные оценки погрешностей измерений. - Л, 1968.
- Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. - М, 1970.
- Котельников Р.Б. Статистическая обработка экспериментальных данных. Вып. 7 (33), М, 1960.
- Налимов В.В. Применение математической статистики при анализе вещества. - М, 1960.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ (КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ)

ЧАСТЬ 1

«МЕТРОЛОГИЯ»

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Глушкова Т.А., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 12 от 05.03. 2020
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета
_____
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 20.03. 2020
(Дата)

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…….3
1 Основные понятия……...4
2 Нормативно-правовые основы метрологи……5
3 Свойства, физические величины. Измерение ФВ……7
4 Системы единиц физических величин. Система SI..……..…9
5 Виды и методы измерений ……...13
6 Средства измерений. Метрологические характеристики СИ…….....14
7 Нормирование и классы точности средств измерений……..….17
8 Погрешности измерений …….…….25
9 Правила округления и записи результата измерений……....27
10 Метрологическое обеспечение, службы и организации…….....28
11 Формы государственного регулирования в области обеспечения единства измерений…….30
12 Государственный метрологический надзор…….....31
13 Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений…33
14 Поверка средств измерений…….34
15 Калибровка средств измерений……..36
16 Метрологическая экспертиза……..…37
17 Анализ и оценка состояния измерений……..38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…...…….35
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ……...36
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК…...……...37
ПРИЛОЖЕНИЕ А Сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений…...…….43
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Значения коэффициентов Стьюдента $t(P_Д, n)$……...…..44

ВВЕДЕНИЕ

Метрология – наука об измерениях. Измерения составляют основу познания человеком окружающего мира во всех исторических периодах. Важность измерений возрастает с развитием производительных сил. Огромную роль играют измерения в современном обществе. Наука, промышленность, экономика, образование, информатика, торговля, банковская система, таможенные операции, медицина, спорт и другие сферы деятельности человека немыслимы без измерений.

Стандартизация, оценка соответствия и метрология как важнейшие составляющие технического регулирования неразрывно связаны между собой. Активная деятельность общества, органов законодательной и исполнительной властей в этих направлениях является важнейшим условием становления рыночной экономики в Российской Федерации, увеличения Внутреннего Валового Продукта, расширения международных научных, технических и торговых связей, интеграции страны в мировую экономическую систему.

Важность метрологической деятельности, обеспечения единства измерений поддержана вниманием со стороны государства.

Правовую основу метрологии составляют:

- основной закон государства - Конституция Российской Федерации;

- Федеральный закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ от 26.06.2008;

- федеральные законы отраслевого характера в части, касающейся единства измерений.

- Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ), представляющая собой комплекс нормативно-технических документов (ГОСТов, методических указаний и т.п.), устанавливающих единую номенклатуру стандартных взаимоувязанных правил и положений, требований и норм, относящихся к организации и методике оценивания и обеспечения точности измерений.

Дальнейшее развитие экономики России, расширение международной торговли и экономического сотрудничества, выражающиеся в увеличении количества и технического совершенства товаров, расширении спектра и повышении качества услуг, потребовали совершенствования правовой базы метрологии и приведения в соответствие метрологической деятельности с уровнем развития экономики страны.

Метрология (греч.) – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Различают три раздела метрологии:

- теоретическая (фундаментальная);
- законодательная;
- практическая (прикладная).

Теоретическая метрология – раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии.

Законодательная метрология – раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимости точности измерений в интересах общества.

Практическая метрология – раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологи.

Измерения играют огромную роль в науке, промышленности, экономике и коммуникациях. Практически отсутствуют сферы деятельности, где не применяют результаты измерений, испытаний, контроля.

1 Основные понятия

Аттестация методик (методов) измерений - исследование и подтверждение соответствия методик (методов) измерений установленным метрологическим требованиям к измерениям;

Ввод в эксплуатацию средства измерений - документально оформленная в установленном порядке готовность средства измерений к использованию по назначению;

Государственный метрологический надзор - контрольная деятельность в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, осуществляемая уполномоченными федеральными органами исполнительной власти и заключающаяся в систематической проверке соблюдения установленных законодательством Российской Федерации обязательных требований, а также в применении установленных законодательством Российской Федерации мер за нарушения, выявленные во время надзорных действий;

Государственный первичный эталон единицы величины - государственный эталон единицы величины, обеспечивающий воспроизведение, хранение и передачу единицы величины с наивысшей в Российской Федерации точностью, утверждаемый в этом качестве в установленном порядке и применяемый в качестве исходного на территории Российской Федерации;

Государственный эталон единицы величины - эталон единицы величины, находящийся в федеральной собственности;

Единица величины - фиксированное значение величины, которое принято за единицу данной величины и применяется для количественного выражения однородных с ней величин;

Единство измерений - состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы;

Измерение - совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины;

Испытания стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа - работы по определению метрологических и технических характеристик однотипных стандартных образцов или средств измерений.

Калибровка средств измерений - совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений.

Методика (метод) измерений - совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности.

Метрологическая служба - организующие и (или) выполняющие работы по обеспечению единства измерений и (или) оказывающие услуги по обеспечению единства измерений структурное подразделение центрального аппарата федерального органа исполнительной власти и (или) его территориального органа, юридическое лицо или структурное подразделение юридического лица либо объединения юридических лиц, работники юридического лица, индивидуальный предприниматель.

Метрологическая экспертиза - анализ и оценка правильности установления и соблюдения метрологических требований применительно к объекту, подвергаемому экспертизе. Метрологическая экспертиза проводится в обязательном (обязательная метрологическая экспертиза) или добровольном порядке.

Обязательные метрологические требования - метрологические требования, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и обязательные для соблюдения на территории Российской Федерации.

Передача единицы величины - приведение единицы величины, хранимой средством измерений, к единице величины, воспроизводимой эталоном данной единицы величины или стандартным образцом.

Поверка средств измерений - совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям.

Прослеживаемость - свойство эталона единицы величины или средства измерений, заключающееся в документально подтвержденном установлении их связи с государственным первичным эталоном соответствующей единицы величины посредством сличения эталонов единиц величин, поверки, калибровки средств измерений.

Прямое измерение - измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений.

Сличение эталонов единиц величин - совокупность операций, устанавливающих соотношение между единицами величин, воспроизводимых эталонами единиц величин одного уровня точности и в одинаковых условиях.

Средство измерений - техническое средство, предназначенное для измерений.

Стандартный образец - образец вещества (материала) с установленными по результатам испытаний значениями одной и более величин, характеризующих состав или свойство этого вещества (материала).

Тип средств измерений - совокупность средств измерений, предназначенных для измерений одних и тех же величин, выраженных в одних и тех же единицах величин, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации.

Тип стандартных образцов - совокупность стандартных образцов одного и того же назначения, изготавливаемых из одного и того же вещества (материала) по одной и той же технической документации

Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений - документально оформленное в установленном порядке решение о признании соответствия типа стандартных образцов или типа средств измерений метрологическим и техническим требованиям (характеристикам) на основании результатов испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа;

Фасованные товары в упаковках - товары, которые упаковываются в отсутствие покупателя, при этом содержимое упаковки не может быть изменено без ее вскрытия или деформирования, а масса, объем, длина, площадь или иные величины, определяющие количество содержащегося в упаковке товара, должны быть обозначены на упаковке;

Эталон единицы величины - техническое средство, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины.

2 Нормативно-правовые основы метрологии

Значимость и высокая ответственность измерений в экономике государства обуславливают необходимость установления в законодательном порядке комплекса правовых актов и положений по метрологии. Россия в числе семнадцати государств подписала Метрическую конвенцию в 1875 г.

Вся метрологическая деятельность в РФ основана на конституционной норме (Конституция РФ, статья 71, пункт «Р»), которая закрепляет централизованное государственное руководство основными вопросами законодательной метрологии. В федеральном ведении находятся стандарты, эталоны, метрическая система и исчисление времени.

В целях реализации конституционной нормы приняты Федеральные законы «Об обеспечении единства измерений», «О техническом регулировании», составляющие правовые основы метрологической деятельности.

Нормативные документы по обеспечению единства измерений:

- постановления Правительства РФ по отдельным вопросам и направлениям метрологической деятельности;

- комплекс нормативно-технических документов (ГОСТов, методических указаний и т.п.) государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ), устанавливающих единую номенклатуру стандартных взаимоувязанных

правил и положений, требований и норм, относящихся к организации и методике оценивания и обеспечения точности измерений;

- рекомендации государственных научных метрологических центров Ростандарта.

Основные *цели* ФЗ «Об обеспечении единства измерений»:

- установление правовых основ обеспечения единства измерений в Российской Федерации;

- защита прав и законных интересов граждан, общества и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений;

- обеспечение потребности граждан, общества и государства в получении объективных, достоверных и сопоставимых результатов измерений, используемых в целях защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, животного и растительного мира, обеспечения обороны и безопасности государства, в том числе экономической безопасности;

- содействие развитию экономики Российской Федерации и научно-техническому прогрессу.

Закон закрепляет одно из основных понятий метрологии – единство измерений и другие понятия.

Закон устанавливает, что государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений осуществляет Национальный орган РФ по метрологии – *Росстандарт (*ранее назывался *Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии),* определяет его цели, задачи, компетенцию, ответственность и полномочия.

Положения Закона расширены *Государственной системой обеспечения единства измерений* (ГСИ) - комплексом нормативных документов межрегионального и межотраслевого уровней, устанавливающих правила, нормы, требования, направленные на достижение и поддержание единства измерений в РФ.

Основные *объекты* ГСИ:

- единицы физических величин;

- государственные эталоны, поверочные схемы;

- методы и средства поверки СИ;

- номенклатура и способы нормирования МХ СИ;

- нормы точности измерений;

- способы выражения и формы представления результатов и показателей точности измерений;

- методики выполнения измерений;

- методики оценки достоверности и формы представления данных о свойствах веществ и материалов;

- требования к стандартным образцам свойств веществ и материалов;

- термины и определения в области метрологии;

- организация и порядок проведения государственных испытаний СИ, поверки и метрологической аттестации СИ и испытательного оборудования;

- организация и порядок проведения калибровки СИ, метрологической экспертизы нормативно-технической, проектной, конструкторской и технологической документации, а также экспертизы свойств материалов и веществ.

В дополнение и для реализации положений ФЗ «Об обеспечении единства измерений» Правительство РФ разрабатывает и принимает подзаконные акты – нормативные документы в области метрологии.

3 Свойства, физические величины. Измерение ФВ

Свойство – философская категория, выражающая такую сторону объекта (явления, процесса), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами (явлениями, процессами) и обнаруживается в его отношении к ним. Свойство – категория качественная.

Величина – свойство чего-либо, что может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно.

Величины подразделяют на два вида:

- идеальные;
- реальные.

Идеальные величины – являются обобщением (моделью) конкретных реальных понятий и относятся главным образом к математике.

Реальные величины подразделяют на две группы:

- нефизические;
- физические.

Нефизические величины свойственны общественным наукам (философия, психология, социология, экономика). Нефизические величины не могут быть измерены, а только оценены.

Физические величины свойственны материальным объектам (процессам, явлениям), изучаемым в естественных (физика, химия) и технических (машиноведение, электротехника) науках.

Физическая величина (ФВ) – одно из свойств физического объекта, в качественном отношении общее для многих физических объектов, а в количественном - индивидуальное, для каждого из них (твёрдость, плотность, теплопроводность, электропроводность).

По возможности измерения ФВ подразделяют на:

- измеряемые;
- оцениваемые.

Измеряемые – величины, которые могут быть выражены количественно в виде определённого числа установленных единиц измерения.

Оцениваемые – величины, для которых не может быть введена единица измерения.

По видам явлений ФВ подразделяют на группы:

- *вещественные*;
- *энергетические*;
- *характеризующие протекание процессов во времени*.

Вещественные – описывают физические и физико-химические свойства веществ, материалов (масса, плотность, электрическое сопротивление).

Энергетические – описывают энергетические характеристики процессов преобразования, передачи, использования энергии (энергия, мощность, сила и напряжение электрического тока).

Характеризующие протекание процессов во времени – различного рода спектральные характеристики, корреляционные функции.

По принадлежности к различным физическим процессам ФВ классифицируют на:

- пространственно-временные;
- механические, тепловые, электрические, магнитные;
- акустические, световые;
- физико-химические;
- ионизирующих излучений, атомной и ядерной физики.

По степени зависимости от других величин ФВ подразделяют на:

- основные (условно независимые);
- производные (условно зависимые);
- дополнительные.

Измерение ФВ – познавательный процесс, заключающийся в сравнении путём физического эксперимента данной ФВ с её известной величиной, принятой за единицу измерения.

Основное уравнение измерения – уравнение вида:

$$Q = q \cdot /Q/. \qquad (1)$$

Значение ФВ - Q – оценка её размера в виде некоторого числа принятых для неё единиц.

Числовое значение ФВ - q – отвлечённое число, показывающее отношение значения величины к единице измерения данной величины.

Единица ФВ - /Q/ – величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение равное единице измеряемой величины. Единицу ФВ применяют для количественного выражения однородных величин.

В практической деятельности производят измерения различных величин, характеризующих свойства тел, веществ, явлений и процессов. Разнообразные количественные или качественные проявления любого свойства образуют множества, отображения которых образуют шкалы.

Шкала ФВ – упорядоченная последовательность значений, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений. В соответствии с логической структурой проявления свойств различают шкалы измерений:

- шкала наименований (шкала цветов);
- шкала порядка (шкалы вязкости вещества, силы ветра);
- шкала интервалов (шкалы летоисчисления, температур);
- шкала отношений, (шкалы массы, термодинамической температуры);
- абсолютная шкала (шкалы относительных величин - усиления, ослабления).

Шкалы наименований и порядка называют неметрическими (концептуальными), шкалы интервалов и соотношений - метрическими. Метрические и абсолютные шкалы относят к разряду линейных. Практическая реализация шкал из-

мерений осуществляют стандартизацией шкал, единиц измерений, способов и условий их однозначного воспроизведения.

4 Системы единиц физических величин. Система SI

Система ФВ – совокупность ФВ, в которой одни величины принимают независимыми, а другие являются их функциями.

Обосновано, но произвольным образом выбирают несколько ФВ и называют *основными*. Остальные выражают через основные на основе известных уравнений связи между ними и называют *производными*.

Система единиц ФВ - совокупность основных, производных и дополнительных единиц ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами.

В науке и технике в разное время применяли системы единиц:

- СГС (сантиметр, грамм, секунда);
- МКС (метр, килограмм, секунда);
- МКСГ (метр, килограмм, секунда, градус);
- МКСА (метр, килограмм, секунда, ампер);
- МСС (метр, секунда, свеча) и ряд других.

Единая международная система единиц (SI) принята Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960 г. На территории РФ действует в соответствии с ГОСТ 8.417-2002 система единиц SI. Международная система (SI , фр. Le Système International d'Unités) для механических единиц совпадает с системой МКС, а для электромагнитных - с системой МКСА.

Система SI принята для применения в большинстве стран мира, что обусловлено её достоинствами:

- универсальность, применение во всех областях науки и техники;
- унификация всех областей и видов измерений;
- когерентность величин;
- возможность воспроизведения единиц с высокой точностью;
- упрощение записи формул в физике, химии, технических науках;
- уменьшение числа допускаемых единиц измерения;
- единая система образования десятичных кратных и дольных единиц, имеющих собственные наименования;
- облегчение педагогического процесса в средней и высшей школах;
- лучшее взаимопонимание при развитии научно-технических и экономических связей между различными странами.

Международная система физических единиц СИ включает семь основных и две дополнительные единицы.

Основные единицы системы SI:

-*метр* – единица длины – длина пути, которую проходит свет в вакууме за 1/299 792 458 долю секунды;

-*килограмм* – единица массы - масса международного прототипа – цилиндра, изготовленного из сплава платины и иридия;

-*секунда* – единица времени - продолжительность 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующих переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия Cs^{133};

-*ампер* – единица силы тока - сила тока, которая при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 метр один от другого, в вакууме создала бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Ньютонов на каждый метр длины;

-*кельвин* – единица температуры - температура, составляющая 1/273,16 часть термодинамической температуры тройной точки воды;

-*моль* – единица количества вещества - количество вещества, содержащее столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в нуклиде углерода C^{12} – массой 0,012 кг;

-*кандела* – единица силы света - сила света в заданном направлении от источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 540 10^{12} Гц, энергетическая сила которого составляет 1/683 Вт/$ср^2$.

Дополнительные единицы системы СИ:

радиан – единица плоского угла - плоский угол между двумя радиусами окружности, длина дуги которой равна радиусу;

стерадиан – единица телесного угла - телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Производные единицы могут быть когерентными и некогерентными.

Когерентная единица – производная единица ФВ, связанная с другими единицами системы уравнением, в котором числовой множитель равен единице.

Единицы ФВ подразделяются на системные и внесистемные.

Системная – единица ФВ, входящая в одну из принятых систем.

Внесистемная – единица ФВ, не входящая ни в одну из принятых систем единиц.

По отношению к единицам системы SI внесистемные единицы подразделяют на:

- допускаемые к применению наравне с единицами системы SI (единица массы – тонна, плоского угла – градус, минута, секунда);

- допускаемые к применению в специальных областях науки (единицы длины в астрономии – астрономическая единица, парсек, световой год);

- временно допускаемые к применению наравне с единицами SI (единица длины в морском деле – миля, массы в ювелирном деле – карат);

- изъятые из употребления (единица давления – миллиметр ртутного столба, мощности – лошадиная сила).

Производные единицы системы SI, имеющие специальные названия, приведены в таблице 1. Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами системы SI, приведены в таблице 2. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования приведены в таблице 3.

Таблица 1 Производные единицы системы СИ, имеющие специальные названия

Величина	Единица	
Наименование	Наименование	Обозначение
Частота	герц	Гц
Сила, вес	ньютон	Н
Давление, механическое напряжение	паскаль	Па
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	Дж
Мощность	ватт	Вт
Количество электричества	кулон	Кл
Электрическое напряжение	вольт	В
Электрическая ёмкость	фарад	Ф
Электрическое сопротивление	Ом	Ом
Электрическая проводимость	сименс	См
Поток магнитной индукции	вебер	Вб
Магнитная индукция	тесла	Тл
Индуктивность	генри	Гн
Световой поток	люмен	лм
Освещённость	люкс	лк
Активность радионуклида	беккерель	Бк
Поглощённая доза ионизирующего излучения	грей	Гр
Эквивалентная доза излучения	зиверт	Зв

Таблица 2 Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Наименование величины	Единица		
	Наименование	Обозначение	Соотношение с единицей СИ
Масса	тонна	т	10^3 кг
	атомная единица массы	а. е. м.	$1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг
Время	минута	мин	60 с
	час	ч	3 600 с
	сутки	сут	86 400 с
Плоский угол	градус	^{0}	$1{,}745 \cdot 10^{-2}$ рад
	минута	... $^/$	$2{,}909 \cdot 10^{-4}$ рад
	секунда	... $^{//}$	$4{,}848 \cdot 10^{-6}$ рад
Длина	астрономическая единица	а. е.	$1{,}456 \cdot 10^{11}$ м
	световой год	св. год	$9{,}461 \cdot 10^{15}$ м
	парсек	ПК	$3{,}086 \cdot 10^{16}$ м
Оптическая сила	диоптрия	дптр	1 $м^{-1}$
Площадь	гектар	га	$1 \cdot 10^4$ $м^2$
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Дж
Полная мощность	вольт-ампер	ВА	-
Реактивная мощность	вар	вар	-

Таблица 3 Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Множитель	Приставка	Обозначение		Множитель	Приставка	Обозначение	
		международное	русское			международное	русское
10^{18}	экса	E	Э	10^{-1}	деци	d	д
10^{15}	пета	P	П	10^{-2}	санти	c	с
10^{12}	тера	T	Т	10^{-3}	милли	m	м
10^{9}	гига	G	Г	10^{-6}	микро	μ	мк
10^{6}	мега	M	М	10^{-9}	нано	n	н
10^{3}	кило	k	к	10^{-12}	пико	p	п
10^{2}	гекто	h	г	10^{-15}	фемто	f	ф
10^{1}	дека	da	да	10^{-18}	атто	a	а

5 Виды, методы измерений

Виды измерений определяются физическим характером измеряемой величины, требуемой точностью измерения, скоростью изменения измеряемой величины, условиями измерений. С развитием науки и техники увеличивается количество видов и совершенствуются методы измерений.

В зависимости от цели различают измерения: контрольные, диагностические и прогностические, лабораторные и технические, эталонные и поверочные, абсолютные и относительные.

Измерения могут быть: контактные и бесконтактные, одно- и многократные, необходимые и избыточные, статические и динамические, с точным и приблизительным оцениванием погрешности.

По способу получения результата различают ***виды*** измерений:

- *прямые* – искомое значение величины находят экспериментальным сравнением её с единицей измерения (мерой) или отсчётом показаний прибора, отградуированного в установленных единицах (измерение длины линейкой, измерение температуры термометром). Прямые измерения – основа более сложных;

- *косвенные* – искомое значение величины находят по результатам прямых измерений нескольких величин, связанных с искомой известной зависимостью (измерение плотности тела по измеренным массе и линейным размерам, измерение мощности электрической цепи по измеренным значениям силы тока и напряжения);

- *совокупные* – искомое значение величины находят решением системы уравнений, составленных по результатам производимых одновременно прямых измерений нескольких *одноимённых* величин (измерение температурного коэффициента линейного расширения);

- *совместные* – искомое значение величины находят решением системы уравнений, составленных по результатам производимых одновременно прямых и косвенных измерений нескольких *неодноимённых* величин (измерение электрического сопротивления проводника при различных фиксированных значениях температуры).

Метод измерения – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Принцип измерения – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений (измерение температуры по расширению тела).

Стандартные методы прямых измерений:

- *непосредственной оценки* – метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений (измерение давления пружинным манометром, силы электрического тока - амперметром);

- *сравнения с мерой* – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (измерение массы на рычажных весах с помощью гирь);

- *дополнения* – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению;

- *дифференциальный* – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами;

- *нулевой* – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля;

- *замещения* – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины (поочередное помещение измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашу весов).

Нестандартные методы измерений:

- *противопоставления* – метод, при котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно действуют на прибор сравнения (измерение массы на равноплечих весах с помещением измеряемой массы и уравновешивающих её гирь на двух чашах);

- *совпадения* – метод, при котором разность между сравниваемыми величинами измеряют по совпадению отметок шкал или периодических сигналов (штангенциркуль, стробоскоп).

6 Средства измерений. Метрологические характеристики СИ

Средство измерения (СИ) – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу ФВ, размер которой принимается неизменным в пределах установленной погрешности в течение известного интервала времени.

СИ сгруппированы по отдельным классификационным признакам:

- *по способу регистрации сигнала* - показывающие, регистрирующие (печатающие, пишущие), комбинированные (одновременно показывающие и регистрирующие), интегрирующие (суммирующие);

- *по роду выходного сигнала* - аналоговые, цифровые, аналого-цифровые;

- *по физической природе* измеряемой величины - механические, гидравлические, пневматические, тепловые, акустические, электрические, электронные, комбинированные и прочие;

- *по виду шкалы* - с равномерной и неравномерной шкалой, с нулевой отметкой внутри, на краю или вне шкалы;

- *по степени автоматизации* - неавтоматические (с ручной наводкой), автоматизированные, автоматические;

- *по характеру использования* - образцовые, лабораторные, технические (промышленные), полевые.

Основные *виды* СИ:

- *мера* – средство, хранящее или воспроизводящее ФВ заданного размера. Мера может быть однозначной (гиря, калибр) и многозначной (измерительная линейка, магазин электрических сопротивлений). Измерение методом сравнения с мерой выполняют с помощью специальных средств - компараторов (равноплечие весы, электрический измерительный мост). В ряде случаев в качестве компаратора выступает человек - оператор;

- *измерительный преобразователь* – средство, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, обработки, хранения, но не доступной для непосредственного восприятия оператором (термопара, термометр сопротивления, усилитель);

- *измерительный прибор* – средство, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия оператором (амперметр, вольтметр, манометр);

- *измерительная установка* – совокупность функционально объединённых СИ и вспомогательных устройств, расположенных в одном месте (установки для поверки измерительных приборов, испытаний электротехнических материалов);

- *измерительная система* – комплекс СИ и устройств связи (проводная, инфракрасная, радио, телевизионная, оптоволоконная), предназначенный для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для использования в системах автоматического контроля и управления;

- *информационно-вычислительный комплекс* (ИВК) – системы автоматического контроля и управления, технического диагностирования, распознавания образов на базе микропроцессорной и вычислительной техники;

- *измерительные принадлежности* – вспомогательные средства измерений величин (термометр, психрометр для измерения параметров воздуха).

По метрологическому назначению СИ подразделяют на два вида:

- метрологические (эталоны);

- рабочие (лабораторные, производственные, полевые).

Эталон – высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения, хранения единицы величины с целью передачи её значения другим менее точным СИ. Эталоны классифицируют на первичные (составляют основу государственной системы измерений), вторичные, рабочие (разрядные). Рабочие эталоны воспринимают размер единицы от вторичных эталонов и передают его рабочим СИ.

Эталонная база РФ имеет в своём составе 128 государственных и более 250 вторичных эталонов ФВ.

Перспективное направление развития эталонов – переход на эталоны, основанные на квантовых эффектах. Способность таких эталонов воспроизводить единицы величин не зависит от внешних условий, географического местонахождения, времени.

Рабочие СИ – средства измерений, предназначенные для выполнения измерений в лабораторных и производственных условиях.

Метрологические характеристики (МХ) – характеристики, которые позволяют судить о пригодности СИ для измерений в известном диапазоне с известной точностью.

Индикаторы – приборы и вещества, не имеющие нормированных МХ.

МХ вводят для СИ с целями:

- обеспечения возможности установления точности измерений;
- достижения взаимозаменяемости СИ;
- сравнения и выбора нужных СИ по точности измерений;
- определения погрешности измерительных систем и установок на основе МХ входящих в них СИ;
- оценки технического состояния СИ при поверке.

Нормальные МХ устанавливают нормативными документами. Наибольшее распространение на практике получили МХ:

- *диапазон показаний* – область значений шкалы, ограниченная начальным и конечным значениями;
- *диапазон измерений* – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые пределы погрешности;
- *цена деления шкалы* – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. СИ с равномерной шкалой имеют постоянную цену деления, а с неравномерной - переменную;
- *чувствительность S* – отношение изменения сигнала на выходе Δy к вызвавшему это изменение изменению Δx сигнала на входе:

$$S = \Delta y / \Delta x. \qquad (2)$$

Для стрелочного прибора это отношение перемещения *dl* конца стрелки к вызвавшему его изменению *dx* измеряемой величины:

$$S = dl / dx; \qquad (3)$$

- *постоянная прибора C* – величина обратная чувствительности:

$$C = 1/S; \qquad (4)$$

- *порог чувствительности* – наименьшее значение измеряемой величины, вызывающее заметное изменение показаний прибора;
- *вариация (гистерезис) H* – разность между показаниями в данной точке диапазона измерения при возрастании и убывании измеряемой величины и неизменных внешних условий. Вариация обусловлена наличием зазоров, тепловым или упругим последействием элементов конструкции:

$$H = / x_в – x_у /, \qquad (5)$$

где $x_в$, x_y – соответственно значения измерений образцовым прибором при возрастании и убывании величины x;

- *градуировочная характеристика* – зависимость между выходным и входным сигналами СИ, полученная расчётом или экспериментально, представленная аналитически, графически или в виде таблицы. Градуировочная характеристика может изменяться в течение времени под воздействием внутренних и внешних причин.

Основным видом МХ является *погрешность* измерений – разность между показаниями СИ и истинными (действительными) значениями ФВ. Погрешности в зависимости от влияния внешних условий на результат измерений подразделяют на два вида:

- *основная погрешность* – погрешность СИ при нормальных условиях эксплуатации. Нормальные условия: температура 293 $\pm$ 5 К, относительная влажность воздуха 65 $\pm$ 15%, напряжение в сети электропитания 220 В $\pm$ 10% с частотой 50 Гц $\pm$ 1%, атмосферное давление от 97,4 до 104,0 кПа, отсутствие наводок электрических и электромагнитных полей;

- *дополнительная погрешность* – погрешность измерений, возникающая при отклонении влияющих величин за диапазон значений, установленных нормальными условиями.

Существует несколько способов нормирования погрешности. Наибольшее применение в практике измерений аналоговыми СИ получило нормирование *класса точности* по приведённой погрешности γ, постоянной во всём диапазоне измерений.

7 Нормирование и классы точности средств измерений

Точность средств измерений определяется предельно-допустимыми погрешностями, которые могут быть получены при его использовании.

Нормированием погрешностей средств измерений называют процедуру назначения допустимых границ основной и дополнительных погрешностей измерений, при использовании этих средств измерений, а также выбор формы указания этих границ в нормативно-технической документации.

Пределы допускаемой основной и дополнительных погрешностей определяются разработчиками для каждого типа средств измерений на стадии подготовки производства. В зависимости от назначения средства измерений и характера изменения погрешности в пределах диапазона измерений нормируется для средств измерений различного типа либо предельно-допустимое значение основной абсолютной погрешности, либо предельно-допустимое значение основной приведенной погрешности, либо предельно-допустимое значение основной относительной погрешности.

Для каждого типа средств измерений характер изменения погрешности в пределах диапазона измерений зависит от принципа действия этого средства измерений и может быть самым разнообразным. Однако, как показала практика, среди этого многообразия часто удается выделить три типовых случая, предопределяющих выбор формы представления пределов допускаемой погрешно-

сти. Типовые варианты отклонения реальных передаточных характеристик средств измерений от номинальной характеристики и соответствующие им графики изменения предельных значений абсолютной и относительной погрешностей в зависимости от измеряемой величины приведены на рисунке 1.

Если реальная передаточная характеристика средства измерений смещена по отношению к номинальной (1-й график на рисунке 1а), абсолютная погрешность, возникающая при этом, (1-й график на рисунке 1б), не зависит от измеряемой величины.

Составляющую погрешности средства измерений, не зависящую от измеряемой величины, называют **аддитивной погрешностью.**

Если угол наклона реальной передаточной характеристики средства измерений отличается от номинального (2-й график на рисунке 1а), то абсолютная погрешность будет линейно зависеть от измеряемой величины (2-й график на рисунке 1б).

Составляющую погрешности средства измерений, линейно зависящую от измеряемой величины, называют **мультипликативной погрешностью.**

Если реальная передаточная характеристика средства измерений смещена по отношению к номинальной и угол ее наклона отличается от номинального (3-й график на рисунке 1а), то в этом случае имеет место как аддитивная, так и мультипликативная погрешность.

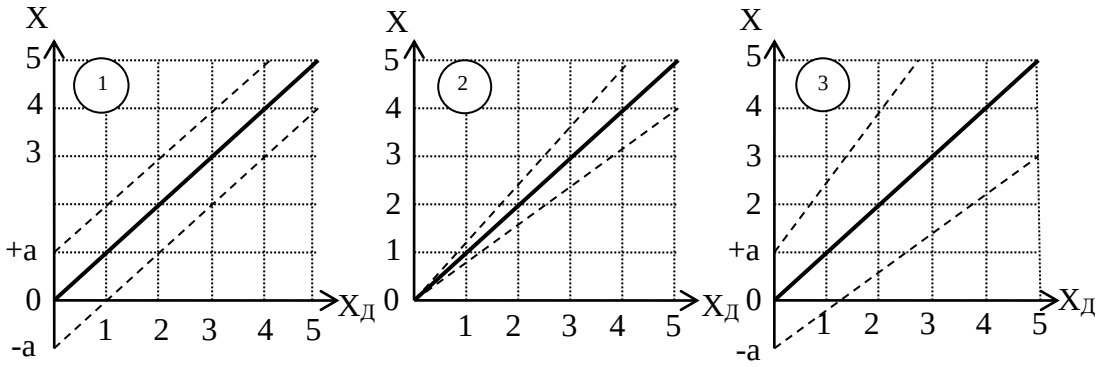
Аддитивная погрешность возникает из-за неточной установки нулевого значения перед началом измерений, ухода нуля в процессе измерений, из-за наличия трений в опорах измерительного механизма, из-за наличия термо-ЭДС в контактных соединениях и т.д.

Мультипликативная погрешность возникает при изменении коэффициентов усиления или ослабления входных сигналов (например, при изменении температуры окружающей среды, или вследствие старения элементов), из-за изменения значений, воспроизводимых мерами, встроенными в измерительные приборы, из-за изменений жесткости пружин, создающих противодействующий момент в электромеханических приборах и т.д.

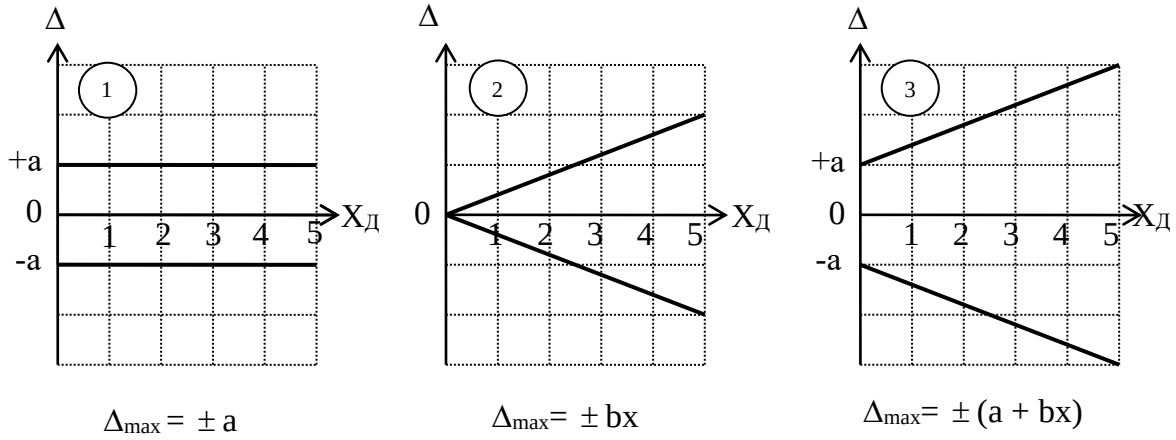
Ширина полосы неопределенности значений абсолютной (рисунке 1б) и относительной (рисунке 1в) погрешностей характеризует разброс и изменение в процессе эксплуатации индивидуальных характеристик множества находящихся в обращении средств измерений определенного типа.

А) Нормирование пределов допускаемой основной погрешности для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью.

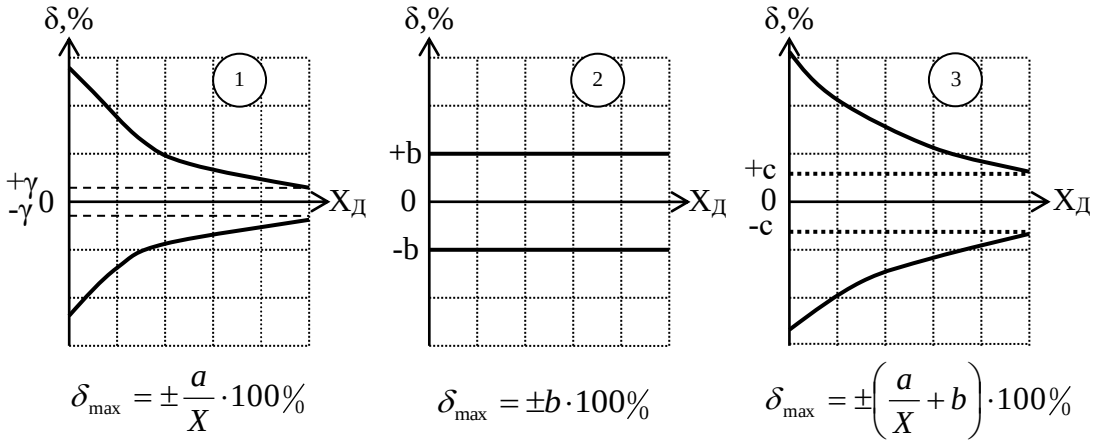
Для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью (1-й график на рисунке 1) удобно нормировать одним числом предельно-допустимое значение абсолютной погрешности ($\Delta_{max}= \pm a$). В этом случае фактическая абсолютная погрешность Δ каждого экземпляра средства измерений данного типа на различных участках шкалы может иметь различные значения, но не должна превышать предельно-допустимой величины ($\Delta \leq \pm a$).



а) Типовые варианты отклонения реальных передаточных характеристик средств измерений от номинальной характеристики.



б) Пределы допускаемой абсолютной погрешности.



в) Пределы допускаемой относительной погрешности.

Рисунок 1 Иллюстрации к выбору формы представления пределов допускаемой основной погрешности

В многопредельных измерительных приборах с преобладающей аддитивной погрешностью для каждого предела измерений пришлось бы указывать свое значение предельно допустимой абсолютной погрешности. К сожалению, как видно из 1-го графика на рисунке 1в, нормировать одним числом предел допускаемой относительной погрешности в различных точках шкалы не представляется возможным. По этой причине для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью часто нормируют одним числом значение так называемой основной **приведенной относительной погрешности**

Ширина полосы неопределенности значений абсолютной (рисунке 1б) и относительной (рисунке 1в) погрешностей характеризует разброс и изменение в процессе эксплуатации индивидуальных характеристик множества находящихся в обращении средств измерений определенного типа.

А) Нормирование пределов допускаемой основной погрешности для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью.

Для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью (1-й график на рисунке 1) удобно нормировать одним числом предельно-допустимое значение абсолютной погрешности ($\Delta_{max}= \pm a$). В этом случае фактическая абсолютная погрешность Δ каждого экземпляра средства измерений данного типа на различных участках шкалы может иметь различные значения, но не должна превышать предельно-допустимой величины ($\Delta \le \pm a$). В многопредельных измерительных приборах с преобладающей аддитивной погрешностью для каждого предела измерений пришлось бы указывать свое значение предельно допустимой абсолютной погрешности. К сожалению, как видно из 1-го графика на рисунке 1в, нормировать одним числом предел допускаемой относительной погрешности в различных точках шкалы не представляется возможным. По этой причине для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью часто нормируют одним числом значение так называемой основной **приведенной относительной погрешности**

$$\gamma = \pm \frac{\Delta_{max}}{X_N} \cdot 100\% = \pm \frac{a}{X_N} \cdot 100\%,$$

где X_N – нормирующее значение.

Таким способом, например, нормируются погрешности большинства электромеханических и электронных приборов со стрелочными индикаторами. В качестве нормирующего значения X_N обычно используется предел измерений ($X_N = X_{max}$), удвоенное значение предела измерений (если нулевая отметка находится в середине шкалы), или длина шкалы (для приборов с неравномерной шкалой). Если $X_N = X_{max}$, то значение приведенной погрешности γ равно пределу допускаемой относительной погрешности средства измерений в точке, соответствующей пределу измерений. По заданному значению предела допускаемой основной приведенной погрешности легко определить предел допускаемой основной абсолютной погрешности для каждого предела измерений многопредельного прибора:

$$\Delta_{max} = \pm \frac{\gamma \cdot X_{max}}{100}.$$

После этого для любой отметки шкалы X может быть произведена оценка предельно-допустимой основной относительной погрешности:

$$\delta = \pm \frac{\Delta_{\max}}{X} \cdot 100\% = \pm\gamma \frac{X_{\max}}{X}.$$

Б) Нормирование пределов допускаемой основной погрешности для средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью.

Как видно из рисунке 1 (2-й график), для средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью, одним числом удобно нормировать предел допускаемой основной относительной погрешности (рисунке 1в) $\delta_{max} = \pm b \cdot 100\%$. В этом случае, фактическая относительная погрешность каждого экземпляра средства измерений данного типа на различных участках шкалы может иметь различные значения, но не должна превышать предельно допустимой величины ($\delta \leq \pm b \cdot 100\%$). По заданному значению предельно допустимой относительной погрешности δ_{max} для любой точки шкалы может быть произведена оценка предельно-допустимой абсолютной погрешности:

$$\Delta \leq \pm \frac{\delta_{\max} \cdot X}{100\%} = \pm b \cdot X.$$

К числу средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью относится большинство многозначных мер, счетчики электрической энергии, счетчики воды, расходомеры и др. Следует отметить, что для реальных средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью не удается полностью устранить аддитивную погрешность. По этой причине в технической документации всегда указывается наименьшее значение измеряемой величины, для которого предел допускаемой основной относительной погрешности ещё не превышает заданного значения δ_{max}. Ниже этого наименьшего значения измеряемой величины погрешность измерений не нормируется и является неопределенной.

В) Нормирование пределов допускаемой основной погрешности для средств измерений с соизмеримой аддитивной и мультипликативной погрешностью.

Если аддитивная и мультипликативная составляющая погрешности средства измерений соизмеримы (3-й график на рисунке 1), то задание предельно-допустимой погрешности одним числом не представляется возможным. В этом случае либо нормируется предел допускаемой абсолютной основной погрешности (указываются предельно-допустимые значения a и b), либо (чаще всего) нормируется предел допускаемой относительной основной погрешности. В последнем случае численные значения предельно-допустимых относительных погрешностей в различных точках шкалы оцениваются по формуле:

$$\delta_{\max} = \pm\left[c + d\left(\frac{X_{\max}}{X} - 1\right)\right],$$

где X_{max} – предел измерений;

X - измеренное значение;

d = $\frac{a}{X_{\max}} \cdot 100\%$ - значение приведенной к пределу измерений аддитивной составляющей основной погрешности;

c = $\left(b + \frac{a}{X_{\max}} \right) \cdot 100\%$ - значение результирующей относительной основной погрешности в точке, соответствующей пределу измерений.

Рассмотренным выше способом (указанием численных значений c и d) нормируются, в частности, предельно-допустимые значения относительной основной погрешности цифровых измерительных приборов. В этом случае относительные погрешности каждого экземпляра средств измерений определенного типа не должны превышать установленных для этого типа средств измерений значений предельно-допустимой погрешности:

$$\delta \le \delta_{\max} = \pm \left[c + d \left(\frac{X_{\max}}{X} - 1 \right) \right].$$

При этом абсолютная основная погрешность определяется по формуле

$$\Delta \le \Delta_{\max} = \pm \frac{\delta_{\max} \cdot X}{100}.$$

Г) Нормирование дополнительных погрешностей.

Наиболее часто пределы допускаемых дополнительных погрешностей указывают в технической документации либо одним значением для всей рабочей области величины, влияющей на точность средства измерений (иногда несколькими значениями для поддиапазонов рабочей области влияющей величины), либо отношением предела допускаемой дополнительной погрешности к интервалу значений влияющей величины. Пределы допускаемых дополнительных погрешностей указываются на каждой, влияющей на точность средства измерений величине. При этом, как правило, значения дополнительных погрешностей устанавливают в виде дольного или кратного значения предела допускаемой основной погрешности. Например, в документации может быть указано, что при температуре окружающей среды за пределами нормальной области температур, предел допускаемой дополнительной погрешности, возникающей по этой причине, не должен превышать ± 0,2% на 10° C.

Класс точности средства измерений – это его характеристика, отражающая точностные возможности средств измерений данного типа.

Допускается буквенное или числовое обозначение классов точности. Средствам измерений, предназначенным для измерения двух и более физических величин, допускается присваивать различные классы точности для каждой измеряемой величины. Средствам измерений с двумя или более переключаемыми диапазонами измерений также допускается присваивать два или более класса точности.

Если нормируется предел допускаемой абсолютной основной погрешности, или в различных поддиапазонах измерений установлены разные значения пределов допускаемой относительной основной погрешности, то , как правило, применяется буквенное обозначение классов. Так, например платиновые термометры сопротивления изготовляют с классом допуска **А** или классом допуска **В.**

При этом для класса **A** установлен предел допускаемой абсолютной основной погрешности

$$\Delta_{max} = (0{,}15 + 0{,}001 \cdot t_x),$$

а для класса **B**

$$\Delta_{max} = \pm(0{,}3 + 0{,}005 \cdot t_x),$$

где t_x – температура измеряемой среды.

Если для средств измерений того или иного типа нормируется одно значение предельно-допустимой приведенной основной погрешности, или одно значение предельно-допустимой относительной основной погрешности, или указываются значения **c** и **d**, то для обозначения классов точности используются десятичные числа. В соответствии с ГОСТом 8.401-80 для обозначения классов точности допускается применение следующих чисел:

$1 \cdot 10^n$; $1{,}5 \cdot 10^n$; $2 \cdot 10^n$; $2{,}5 \cdot 10^n$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$, где n = 0, -1, -2, и т.д.

Для средств измерений с преобладающей аддитивной погрешностью численное значение класса точности выбирается из указанного ряда равным предельно-допустимому значению приведенной основной погрешности, выраженной в процентах. Для средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью численное значение класса точности соответствует пределу допускаемой относительной основной погрешности также выраженной в процентах. Для средств измерений с соизмеримыми аддитивными и мультипликативными погрешностями числа **c** и **d** также выбираются из указанного выше ряда. При этом класс точности средства измерений обозначается двумя числами, разделенными косой чертой, например, 0,05/0,02. В этом случае **c** = 0,05% ; **d** = 0,02%. Примеры обозначений классов точности в документации и на средствах измерений, а также расчетные формулы для оценки пределов допускаемой основной погрешности приведены в таблице 4.

Примеры обозначений классов точности средств измерений и расчетные формулы для оценки пределов допустимой основной погрешности

Форма представления нормируемой основной погрешности	Примеры обозначения класса точности		Расчетные формулы для оценки пределов допускаемой основной погрешности	Примечания
	В документации	На средствах измерений		
Нормируется предел допускаемой абсолютной основной погрешности	Варианты: - класс **В**; - класс допуска **B;** - класс точности **B.**	**B**	$\Delta_{max} = \pm a$ или $\Delta_{max} = \pm(a + bx)$ $\delta_{max} = \pm\frac{a}{x}\cdot 100\%$ или $\delta_{max} = \pm\left(\frac{a}{x} + b\right)\cdot 100\%$	Значения **a** и **b** приводятся в документации на средство измерений.
Нормируется предел допускаемой приведенной основной погрешности	Варианты: - класс точности 1,5 - не обозначается.	**1,5**	$\Delta_{max} = \pm\frac{\gamma\cdot x_{max}}{100}$, $\gamma = 1{,}5\%$ $\delta_{max} = \pm\gamma\cdot\frac{x_{max}}{x}$, где x_{max} – предел измерений.	Для приборов с равномерной шкалой и нулевой отметкой в начале шкалы
	Варианты: - класс точности 2,5; - не обозначается		$\Delta l_{max} = \pm\frac{\gamma\cdot L}{100}$, $\gamma = 2{,}5\%$ Δl_{max} - предел допускаемой абсолютной погрешности в мм. L - длина всей шкалы.	Для приборов с неравномерной шкалой. Длина шкалы указывается в документации.
Нормируется предел допускаемой относительной основной погрешности	Класс точности 0,5.		$\delta_{max} = \pm b\cdot 100\% = \pm 0{,}5\%$ $\Delta_{max} = \pm\frac{\delta_{max}\cdot x}{100}$	Для средств измерений с преобладающей мультипликативной погрешностью.
	Варианты: - класс точности 0,02/0,01; -не обозначается.	**0,02/0,01**	$\delta_{max} = \pm\left[0{,}02 + 0{,}01\left(\frac{x_{max}}{x} - 1\right)\right]\%$ $\Delta_{max} = \pm\frac{\delta_{max}\cdot x}{100}$	Для средств измерений с соизмеримыми аддитивной и мультипликативной погрешностью

8 Погрешности измерений

При выполнении практических измерений важно оценить их точность. Термин «точность измерений» не имеет строго определения и используется для качественного сравнения измерительных операций. Для количественной оценки применяют термин «погрешность результата измерений». Оценка погрешности измерений одна из важнейших задач обеспечения единства измерений.

Для практических целей рассматривают систематические и случайные погрешности, выраженные в абсолютной, относительной или приведённой форме.

Абсолютная погрешность Δ – отклонение результата измерения x от действительного $x_д$ значения измеряемой величины, выраженное в единицах измерения (абсолютная погрешность может быть положительной или отрицательной):

$$\Delta = x - x_д . \qquad (6)$$

Относительная погрешность δ – отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, выраженное в процентах:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x_д} \cdot 100, \% . \qquad (7)$$

Приведённая погрешность γ – отношение абсолютной погрешности к нормирующему x_N значению, выраженное в процентах:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{x_N} \cdot 100, \%. \qquad (8)$$

Нормирующее значение выбирают в зависимости от вида и характера шкалы прибора и принимают равным:

- конечному значению рабочей части шкалы, если нулевая отметка на краю или вне рабочей части шкалы;
- сумме конечных значений шкалы (без учёта знаков), если нулевая отметка внутри шкалы;
- номинальному значению, если прибор предназначен для измерения отклонения величины от номинального значения.

В практике измерений для определения действительного значения к показанию прибора вводят *поправку* c, которая численно равна абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком:

$$\pm c = \mp \Delta . \qquad (9)$$

Поправку алгебраически складывают с результатом измерений:

$$x_д = x + (\pm c). \qquad (10)$$

В качестве действительного значения величины при многократных повторных измерениях принимают среднее арифметическое значение:

$$x_д = \bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i . \qquad (11)$$

Для оценки отклонения отдельных результатов измерения относительно среднего определяют средне квадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} . \qquad (12)$$

Доверительным интервалом $\pm\Delta_Г$ называют интервал, который с заданной вероятностью, называемой **доверительной вероятностью** $P_Д$ накрывает истинное значение измеряемой величины.

При определении доверительных интервалов необходимо, прежде всего, учитывать, что закон распределения погрешностей, получаемых при проведении многократных измерений, при числе измерений в серии меньше 30, описывается не нормальным законом распределения, а так называемым законом распределения Стьюдента. И, в этих случаях, величину доверительного интервала обычно оценивают по формуле:

$$\Delta_Г = t(P_Д, n)\cdot\sigma_{\bar{x}}, \qquad (13)$$

где $t(P_Д, n)$ - так называемый коэффициент Стьюдента.

В таблице Приложения Б приведены значения коэффициентов Стьюдента $t(P_Д, n)$ в зависимости от заданной доверительной вероятности и числа проведенных наблюдений n. При выполнении измерений обычно задаются доверительной вероятностью 0,95 или 0,99.

В зависимости от характера проявления, причин возникновения, и возможностей устранения различают разновидности погрешности:

- *систематическая* – остаётся постоянной или изменяется закономерно при повторных измерениях одного и того же параметра;

- *случайная* – изменяется случайным образом при повторных измерениях одного и того же параметра. Значение случайной погрешности заранее не известно, возникает из-за множества не уточнённых факторов, может быть уменьшено обработкой результатов измерений;

- *грубая (промах)* – возникает из-за ошибок оператора, неисправности СИ, резких изменений условий измерений. Грубые погрешности выявляют и устраняют в результате обработки результатов измерений.

Систематическая погрешность имеет составляющие:

- *субъективная* – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная индивидуальными особенностями оператора;

- *методическая* –составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений;

- *инструментальная* – составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.

Систематическая погрешность может быть исключена или уменьшена за счёт устранения источников погрешности до начала измерений различными приемами (рандомизация, внесение известных поправок).

В ряде случаев определяют общую погрешность Δ_Σ как сумму систематической Δ_c и случайной Δ_0 погрешностей:

$$\Delta_\Sigma = \Delta_c + \Delta_0. \qquad (14)$$

В зависимости от изменения её величины погрешность измерения может быть:

- *аддитивная* – не изменяется во всём диапазоне измерения;

- *мультипликативная* – изменяется пропорционально измеряемой величине.

В большинстве случаев аддитивная и мультипликативная составляющие действуют одновременно.

В процессе эксплуатации СИ метрологические характеристики и параметры СИ претерпевают изменения. Эти изменения носят случайный монотонный или флуктуирующий характер и приводят к отказам. Важнейший параметр – *надёжность* - характеризует поведение СИ с течением времени и включает понятия:

- *стабильность* – способность сохранять МХ неизменными;

- *безотказность* – свойство непрерывно сохранять работоспособное состояния в течение некоторого времени;

- *долговечность* – возможность сохранения работоспособности до наступления предельного состояния;

- *ремонтопригодность* – приспособленность к поддержанию работоспособного состояния посредством технического обслуживания и ремонта;

- *сохраняемость* – свойство поддерживать показатели надёжности в течение и после хранения, транспортировки.

9 Правила округления и записи результата измерений

Нормирование пределов допустимых погрешностей средств измерений производится указанием значения погрешностей с одной или двумя значащими цифрами. По этой причине при расчете значений погрешностей измерений также должны быть оставлены только первые одна или две значащие цифры. Для округления используются следующие правила:

1. Погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами, если первая из них более 2, и одной значащей цифрой, если первая из них 3 или более.

2. Показание прибора округляется до того же десятичного разряда, которым заканчивается округленное значение абсолютной погрешности.

3. Округление производится в окончательном ответе, промежуточные вычисления выполняют с одной-двумя избыточными цифрами.

Пример 1

- показание прибора 5,361 В;
- вычисленное значение абсолютной погрешности $\pm 0{,}284$ В;
- округленное значение абсолютной погрешности $\pm 0{,}26$ В;
- результат измерения $(5{,}36 \pm 0{,}26)$ В.

Пример 2

- показание прибора 35,67 мА;
- вычисленное значение абсолютной погрешности $\pm 0{,}541$ мА;
- округленное значение абсолютной погрешности $\pm 0{,}5$ мА;
- результат измерения $(35{,}7 \pm 0{,}5)$ мА.

Пример 3

- вычисленное значение относительной погрешности $\pm 1{,}268$ %;
- округленное значение относительной погрешности $\pm 1{,}3$ %.

Пример 4

- вычисленное значение относительной погрешности $\pm 0{,}367$ %;
- округленное значение относительной погрешности $\pm 0{,}4$ %.

10 Метрологическое обеспечение, службы и организации

Метрологическое обеспечение (МО) – установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил, норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. Основная тенденция развития МО – переход от обеспечения единства и требований точности измерений к принципиально новой задаче обеспечения качества измерений.

Качество измерений – совокупность свойств СИ, обеспечивающих получение в установленный срок результатов измерения с требуемой точностью, достоверностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью.

Точность измерения – степень близости результата измерения к истинному значению измеряемой величины.

Правильность измерения – степень близости систематической погрешности измерения к нулю.

Достоверность измерения – степень близости случайной погрешности к нулю.

Сходимость результатов измерения – близость результатов двух испытаний, полученных одним методом, на идентичных установках, в одной лаборатории.

Воспроизводимость результатов измерения – близость результатов двух испытаний, полученных в разных лабораториях.

МО имеет научную, организационную, нормативную и техническую составляющие. Разработка и проведение мероприятий МО возложено на МС.

Функции МО - обеспечение измерений, испытаний, контроля в целом а также параметров:

- технологических процессов, производств, организаций;
- продукции на всех стадиях её жизненного цикла.

Основные *задачи* МО:

- установление рациональной номенклатуры измеряемых параметров и оптимальных норм точности измерений при контроле качества продукции;
- технико-экономическое обоснование выбора СИ, установление их рациональной номенклатуры;
- стандартизация, унификация и агрегатирование применяемой контрольно-измерительной техники;
- поверка, метрологическая аттестация и калибровка контрольно-измерительного и испытательного оборудования;
- проведение метрологической экспертизы проектов нормативной, конструкторской и технологической документации;
- подготовка работников соответствующих служб предприятий к выполнению контрольно-измерительных операций.

Государственное управление деятельности по обеспечению единства измерений в России осуществляет Федеральное агентство РФ по техническому регулированию и метрологии, в ведении которой находятся организации:

- *Государственная метрологическая служба* (ГМС);
- *Государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения земли* (ГСВЧ);
- *Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов* (ГССО);
- *Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов* (ГСССД).

Основные задачи Федерального агентства РФ по техническому регулированию и метрологии в области метрологии:

- реализация государственной политики в сфере метрологии, установление и использование стандартов, эталонов, единиц величин;
- осуществление мер по защите прав потребителей и интересов государства в области контроля за соблюдением безопасности товаров (услуг);
- организация функционирования систем обеспечения единства измерений, аккредитации, сбора и анализа научно-технической информации;
- проведение государственного метрологического контроля;

Росстандарт сотрудничает с международными организациями по метрологии:

- *Международное бюро мер и весов* (МБМВ);
- *Генеральная конференция мер и весов* (ГКМВ);
- *Международный комитет мер и весов* (МКМВ);
- *Международная организация законодательной метрологии* (МОЗМ);
- *Международная конференция по измерительной технике и приборостроению* (ИМЕКО);

- *Международная организация по стандартизации* (ИСО) в составе технического комитета «Величины, единицы, обозначения и переводные множители»;

- *Международная электротехническая комиссия* (МЭК).

Проблемы метрологии в рамках СНГ решает Межгосударственный совет, созданный в соответствии с межправительственным документом «Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации».

Государственная метрологическая служба (ГМС) – служба, которая несёт ответственность за метрологическое обеспечение измерений в стране на межотраслевом уровне и осуществляет государственный контроль и надзор. ГМС находится в подчинении Федерального агентства РФ по техническому регулированию и метрологии и имеет в своём составе:

- государственные научно-метрологические центры (ГНМЦ);

- территориальные органы ГМС.

Основные функции ГНМЦ:

- создание совершенствование, хранение, применение государственных эталонов единиц величин, сличение с международными эталонами;

- выполнение фундаментальных и прикладных научно - исследовательских и опытно-конструкторских работ в области метрологии;

- разработка и совершенствование научных, нормативных, организационных и экономических основ деятельности по метрологии;

- проведение государственных испытаний СИ;

- взаимодействие с метрологическими службами (МС) федеральных органов исполнительной власти, предприятий, организаций;

- информационное обеспечение предприятий и организаций по вопросам метрологии, подготовка и переподготовка.

Метрологические службы государственных органов управления РФ и юридических лиц – службы, создаваемые в соответствие с законом «Об обеспечении единства измерений» в органах государственного управления, на предприятиях и в организациях для реализации МО.

Создание МС обязательно в сферах государственного регулирования единства измерений перечисленных в приложении А.

МС юридических лиц - самостоятельные структурные подразделения, во главе с представителем администрации, аккредитованные органами Федеральной агентства РФ по техническому регулированию и метрологии. В состав МС входят калибровочные, поверочные лаборатории, подразделения по обслуживанию и ремонту СИ.

11 Формы государственного регулирования в области обеспечения единства измерений

Государственное регулирование в области обеспечения единства измерений осуществляется в следующих формах:

1) утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений;

2) поверка средств измерений;

3) метрологическая экспертиза;

4) государственный метрологический надзор;

5) аттестация методик (методов) измерений;

6) аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений.

12 Государственный метрологический надзор

Государственный метрологический надзор - контрольная деятельность в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, осуществляемая уполномоченными федеральными органами исполнительной власти и заключающаяся в систематической проверке соблюдения установленных законодательством Российской Федерации обязательных требований, а также в применении установленных законодательством Российской Федерации мер за нарушения, выявленные во время надзорных действий.

Государственный метрологический надзор осуществляется за:

- соблюдением обязательных требований в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений к измерениям, единицам величин, а также к эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений при их выпуске из производства, ввозе на территорию Российской Федерации, продаже и применении на территории Российской Федерации;

- наличием и соблюдением аттестованных методик (методов) измерений;

- соблюдением обязательных требований к отклонениям количества фасованных товаров в упаковках от заявленного значения.

Государственный метрологический надзор распространяется на деятельность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих:

- измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений;

- выпуск из производства предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений эталонов единиц величин, стандартных образцов и средств измерений, а также их ввоз на территорию Российской Федерации, продажу и применение на территории Российской Федерации;

- расфасовку товаров.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие выпуск из производства предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений эталонов единиц величин, стандартных образцов и средств измерений, а также их ввоз на территорию Российской Федерации и продажу, обязаны уведомлять о данной деятельности федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по государственному метрологическому надзору, не позднее трех месяцев со дня ее осуществления. Порядок уведомления устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государствен-

ной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

Обязательные требования к отклонениям количества фасованных товаров в упаковках от заявленного значения при их расфасовке устанавливаются техническими регламентами. В технических регламентах также могут содержаться обязательные требования к оборудованию, используемому для расфасовки и контроля расфасовки, правила оценки соответствия отклонения количества фасованных товаров в упаковках от заявленного значения, обязательные требования к упаковке, маркировке или этикеткам фасованных товаров и правилам их нанесения.

Обязанность проведения проверок при осуществлении государственного метрологического надзора возлагается на должностных лиц федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих государственный метрологический надзор, и их территориальных органов.

Должностные лица, проводящие проверку, при предъявлении служебного удостоверения и распоряжения федерального органа исполнительной власти, осуществляющего государственный метрологический надзор, о проведении проверки вправе:

- посещать объекты (территории и помещения) юридических лиц и индивидуальных предпринимателей в целях осуществления государственного метрологического надзора во время исполнения служебных обязанностей;

- получать документы и сведения, необходимые для проведения проверки.

Должностные лица, осуществляющие государственный метрологический надзор, обязаны:

- проверять соответствие используемых единиц величин единицам величин, допущенным к применению в Российской Федерации;

-проверять состояние и применение эталонов единиц величин, стандартных образцов и средств измерений в целях установления их соответствия обязательным требованиям;

-проверять наличие и соблюдение аттестованных методик (методов) измерений;

-проверять соблюдение обязательных требований к измерениям и обязательных требований к отклонениям количества фасованных товаров в упаковках от заявленного значения;

-проверять соблюдение установленного порядка уведомления о своей деятельности юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями;

- соблюдать государственную, коммерческую, служебную и иную охраняемую законом тайну.

При выявлении нарушений должностное лицо, осуществляющее государственный метрологический надзор, обязано:

- запрещать выпуск из производства, ввоз на территорию Российской Федерации и продажу предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений стандартных образцов и средств измерений неутвержденных типов или предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений стандартных

образцов и средств измерений, не соответствующих обязательным требованиям (за исключением выпуска из производства и ввоза на территорию Российской Федерации стандартных образцов или средств измерений, предназначенных для проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа);

- запрещать применение стандартных образцов и средств измерений неутвержденных типов или стандартных образцов и средств измерений, не соответствующих обязательным требованиям, а также неповеренных средств измерений при выполнении измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений;

- наносить на средства измерений знак непригодности в случаях, когда средство измерений не соответствует обязательным требованиям;

- давать обязательные к исполнению предписания и устанавливать сроки устранения нарушений установленных законодательством Российской Федерации обязательных требований;

- в случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации, направлять материалы о нарушениях требований законодательства Российской Федерации об обеспечении единства измерений в судебные и следственные органы, а также в федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий аккредитацию в области обеспечения единства измерений;

- применять иные меры в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Форма знака непригодности средств измерений и порядок его нанесения устанавливаются федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

Руководитель проверенного предприятия на основе акта проверки обязан утвердить сроки и план организационно-технических мероприятий по устранению выявленных нарушений.

13 Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений

Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений - документально оформленное в установленном порядке решение о признании соответствия типа стандартных образцов или типа средств измерений метрологическим и техническим требованиям (характеристикам) на основании результатов испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа;

Тип стандартных образцов или тип средств измерений, применяемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, подлежит обязательному утверждению. При утверждении типа средств измерений устанавливаются показатели точности, интервал между поверками средств измерений, а также методика поверки данного типа средств измерений.

Государственные испытания СИ – обязательные испытания СИ в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора с последующим утверждением их типа.

Решение об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений принимается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений, на основании положительных результатов испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа.

Утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений удостоверяется свидетельством об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, выдаваемым федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений. В течение срока действия свидетельства об утверждении типа средств измерений интервал между поверками средств измерений может быть изменен только федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в области обеспечения единства измерений.

На каждый экземпляр средств измерений утвержденного типа, сопроводительные документы к указанным средствам измерений и на сопроводительные документы к стандартным образцам утвержденного типа наносится знак утверждения их типа. Конструкция средства измерений должна обеспечивать возможность нанесения этого знака в месте, доступном для просмотра. Если особенности конструкции средства измерений не позволяют нанести этот знак непосредственно на средство измерений, он наносится на сопроводительные документы.

Испытания стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа проводятся юридическими лицами, аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений.

Сведения об утвержденных типах стандартных образцов и типах средств измерений вносятся в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Юридические лица и индивидуальные предприниматели, осуществляющие разработку, выпуск из производства, ввоз на территорию Российской Федерации, продажу и использование на территории Российской Федерации не предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений стандартных образцов и средств измерений, могут в добровольном порядке представлять их на утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений.

14 Поверка средств измерений

Поверка средств измерений (далее также - поверка) - совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям.

Поверку проводят в соответствии с методиками поверки, требованиями, изложенными в соответствующих метрологических инструкциях. Основной МХ, определяемой при поверке, является погрешность, величина которой не должна превышать допустимое значение. При поверке чаще всего используют методы:

- непосредственного сравнения измеряемых величин и величин, воспроизводимых рабочими эталонами;

- непосредственного сличения показаний поверяемого и эталонного приборов при одновременном измерении одной и той же величины.

Поверка бывает первичная, периодическая, внеочередная, экспертная.

Первичная поверка – проводится при выпуске прибора.

Периодическая поверка – выполняется через определённые промежутки времени в процессе эксплуатации или хранения прибора.

Внеочередная проверка – проходит до наступления срока периодической после длительного хранения, повторной настройки, ударного воздействия.

Экспертная поверка – организуется органом ГМС при возникновении спорных ситуаций по МХ, исправности, пригодности СИ к применению.

Средства измерений, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации - периодической поверке.

Требования к организации и проведению поверки СИ устанавливают правила ПР 50.2.006-94.

Применяющие средства измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны своевременно представлять эти средства измерений на поверку.

Поверку средств измерений осуществляют аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

Правительством Российской Федерации устанавливается перечень средств измерений, поверка которых осуществляется только аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений государственными региональными центрами метрологии.

Результаты поверки средств измерений удостоверяются знаком поверки и (или) свидетельством о поверке. Конструкция средства измерений должна обеспечивать возможность нанесения знака поверки в месте, доступном для просмотра. Если особенности конструкции или условия эксплуатации средства измерений не позволяют нанести знак поверки непосредственно на средство измерений, он наносится на свидетельство о поверке.

Порядок проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке устанавливаются федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

Сведения о результатах поверки средств измерений, предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений проводящими поверку средств измерений юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться поверке в добровольном порядке.

Правила ПР 50.2.011-94 устанавливают порядок ведения в РФ *Государственного реестра СИ*, который предназначен для:

- учёта выданных сертификатов об утверждении типа СИ;
- создания централизованного информационного фонда о СИ, допущенных к производству, выпуску в обращение и применению в РФ;
- учёта типовых программ испытаний СИ;
- организации информационного обслуживания заинтересованных лиц.

15 Калибровка средств измерений

Калибровка (калибровочные работы) – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений МХ и пригодности к применению СИ, не подлежащего государственному надзору.

Для проведения калибровки создана *Российская система калибровки* (РСК) – совокупность субъектов деятельности и калибровочных работ, направленных на обеспечение единства измерений в сферах, не подлежащих государственному регулированию обеспечения единства измерений. Такие СИ могут в добровольном порядке подвергаться калибровке.

Основные направления деятельности РСК:

- регистрация органов, осуществляющих аккредитацию МС юридических лиц на право проведения калибровочных работ;
- установление основных принципов и правил РСК;
- аккредитация МС юридических лиц на право проведения калибровки;
- проведение калибровочных работ;
- установление основных принципов и правил РСК;
- организационное, методическое и информационное обеспечение РСК;
- инспекционный контроль за проведением калибровочных работ.

Калибровка средств измерений выполняется с использованием эталонов единиц величин, прослеживаемых к государственным первичным эталонам соответствующих единиц величин, а при отсутствии соответствующих государственных первичных эталонов единиц величин - к национальным эталонам единиц величин иностранных государств.

Выполняющие калибровку средств измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели в добровольном порядке могут быть аккредитованы в области обеспечения единства измерений.

Результаты калибровки средств измерений, выполненной аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юри-

дическими лицами или индивидуальными предпринимателями, могут быть использованы при поверке средств измерений в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

Организации, проводящие калибровочные работы, должны иметь:

- поверенные средства калибровки – эталоны, установки, другие СИ, применяемые для передачи размера единиц калибруемым СИ;
- документы, регламентирующие организацию и проведение калибровочных работ;
- квалифицированный персонал, помещение, удовлетворяющее нормативным требованиям.

Результаты калибровки удостоверяют калибровочным знаком, наносимым на СИ, свидетельством о калибровке, записью в эксплуатационных документах.

16 Метрологическая экспертиза

Метрологическая экспертиза - анализ и оценка правильности установления и соблюдения метрологических требований применительно к объекту, подвергаемому экспертизе. Метрологическая экспертиза проводится в обязательном (обязательная метрологическая экспертиза) или добровольном порядке.

Содержащиеся в проектах нормативных правовых актов Российской Федерации требования к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений подлежат обязательной метрологической экспертизе. Заключения обязательной метрологической экспертизы в отношении указанных требований рассматриваются принимающими эти акты федеральными органами исполнительной власти. Обязательная метрологическая экспертиза содержащихся в проектах нормативных правовых актов Российской Федерации требований к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений проводится государственными научными метрологическими институтами.

Обязательная метрологическая экспертиза стандартов, продукции, проектной, конструкторской, технологической документации и других объектов проводится также в порядке и случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации. Указанную экспертизу проводят аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели.

Порядок проведения обязательной метрологической экспертизы содержащихся в проектах нормативных правовых актов Российской Федерации требований к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в области обеспечения единства измерений.

В добровольном порядке может проводиться метрологическая экспертиза продукции, проектной, конструкторской, технологической документации и дру-

гих объектов, в отношении которых законодательством Российской Федерации не предусмотрена обязательная метрологическая экспертиза.

17 **Анализ и оценка состояния измерений**

Анализ состояния измерений – анализ состояния измерений, испытаний и контроля на предприятии с целью установления соответствия достигнутого уровня МО определённым требованиям и разработка на этой основе предложений по его улучшению.

В процессе анализа устанавливают:

- влияние состояния измерений, контроля и испытаний на основные технико-экономические показатели деятельности предприятия;
- наличие и потребность в необходимых нормативных документах;
- оснащённость предприятия современным КИО и потребность в нём;
- состояние организационной структуры и деятельности МС, потребность в специалистах-метрологах;
- техническое и метрологическое состояние КИО, обеспеченность ремонтом, поверкой, калибровкой.

Работу по анализу состояния измерений на предприятии проводят под руководством МС федерального органа исполнительной власти, юридического лица. На предприятии анализ осуществляют добровольно с периодичностью раз в два года или в обязательном порядке при аттестации производства, сертификации систем качества, аккредитации испытательных и метрологических лабораторий. Результаты оформляют актом.

В случае необходимости установления соответствия условий выполнения измерений требованиям Российского законодательства в области обеспечения единства измерений проводят оценку состояния измерений по МИ 2427-97.

Эту оценку состояния измерений осуществляют для:

- установления соответствия достигнутого уровня метрологического обеспечения измерений современным требованиям;
- официального удостоверения наличия в лаборатории условий, необходимых для выполнения измерений (например, для получения лицензии на вид деятельности и т.п.).

При фиксировании в акте оценки наличия условий для выполнения измерений в закрепленной за лабораторией области деятельности, ответственные за проведение оценки, оформляет свидетельство о состоянии измерений на предприятии со сроком действия до 5 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практически во всех сферах деятельности человека интенсивно применяют результаты измерений, испытаний, исследований. Важность метрологической деятельности в стране подтверждена тем, что Федеральный закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений», принят в пакете с законами «О защите прав потребителей». ФЗ «Об обеспечении единства измерений» устанавливает правовые основы обеспечения единства измерений в стране, регламентирует отношения государственных органов управления с юридическими и физическими лицами по вопросам, связанным с измерениями.

В экономически развитых странах расходы на операции, связанные с измерениями, достигают 15% затрат общественного труда. Перспективные направления развития метрологии составляют разработка принципиально новых средств измерений, улучшение метрологических характеристик и методик выполнения измерений, совершенствование эталонной базы. Широкое применение получают цифровые методы обработки результатов измерений. Намечен переход к эталонам единиц физических величин, основанным на квантовых эффектах. Такие эталоны не подвержены влиянию атмосферных условий, времени, географической широты местности.

Метрологические организации и службы Российской Федерации под руководством Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии ведут активную работу по совершенствованию законодательной базы метрологии.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нормативно-правовые основы метрологии.
2. Физические свойства, величины. Измерение ФВ.
3. Системы единиц физических величин. Система SI.
4. Виды, методы измерений.
5. Средства измерений.
6. Метрологические характеристики СИ.
7. Погрешности измерений.
8. Метрологическое обеспечение, службы и организации.
9. Международные организации по метрологии.
10. Поверка, калибровка СИ.
11. Государственный метрологический надзор.
12. Государственные испытания, утверждение типа СИ.
13. Метрологическая экспертиза.
14. Анализ и оценка состояния измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Логос, 2010. – 560 с.: ил.

2. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация: Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Юрайт-Издат, 2009. – 335 с.

3. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2010. - 464 с.: ил.

4. Яблонский О.П., Иванова В.А. Основы стандартизации, метрологии, сертификации: Учебник. – Ростов на/Д: Феникс, 2010. – 448 с.

5. Радкевич Я.М., Лактионов Б.И., Схиртладзе А.Г Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. для вузов - 2-е изд., доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 791 с.

6. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 711 с.

7. Никифоров А.Д., Бакиев Т.А. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Высш. Школа, 2002. – 422 с. : ил.

8. Басаков М.И. Сертификации продукции и услуг с основами стандартизации и метрологии: Учебное пособие. Издание 2-е, испр. и доп. – Ростов на /Д: издательский центр «МарТ», 2002. – 256 с.

9. Ранеев Г.Г., Тарасенко А.П. Методы и средства измерений: Учебник для вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 336 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений

Сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется на измерения, на которые установлены обязательные требования и которые выполняются при:

1) осуществлении деятельности в области здравоохранения;

2) осуществлении ветеринарной деятельности;

3) осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды;

4) осуществлении деятельности по обеспечению безопасности при чрезвычайных ситуациях;

5) выполнении работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда;

6) осуществлении производственного контроля за соблюдением установленных законодательством Российской Федерации требований промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта;

7) осуществлении торговли и товарообменных операций, выполнении работ по расфасовке товаров;

8) выполнении государственных учетных операций;

9) оказании услуг почтовой связи и учете объема оказанных услуг электросвязи операторами связи;

10) осуществлении деятельности в области обороны и безопасности государства;

11) осуществлении геодезической и картографической деятельности;

12) осуществлении деятельности в области гидрометеорологии;

13) проведении банковских, налоговых и таможенных операций;

14) выполнении работ по оценке соответствия промышленной продукции и продукции других видов, а также иных объектов установленным законодательством Российской Федерации обязательным требованиям;

15) проведении официальных спортивных соревнований, обеспечении подготовки спортсменов высокого класса;

16) выполнении поручений суда, органов прокуратуры, государственных органов исполнительной власти;

17) осуществлении мероприятий государственного контроля (надзора).

К сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений относятся также измерения, предусмотренные законодательством Российской Федерации о техническом регулировании.

Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений распространяется также на единицы величин, эталоны единиц величин, стандартные образцы и средства измерений, к которым установлены обязательные требования.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Значения коэффициентов Стьюдента $t(P_Д, n)$.

Таблица А.1 - Значения коэффициентов Стьюдента $t(P_Д, n)$

n	$P_Д$							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
2	1,00	1,38	1,96	3,08	6,31	12,71	31,82	63,66
3	0,82	1,06	1,34	1,89	2,92	4,30	6,97	9,93
4	0,77	0,98	1,25	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84
5	0,74	0,94	1,19	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60
6	0,73	0,92	1,16	1,48	2,02	2,62	3,37	4,03
7	0,72	0,91	1,13	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71
8	0,71	0,90	1,12	1,42	1,90	2,37	3,00	3,50
9	0,71	0,89	1,11	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36
10	0,70	0,88	1,10	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25
16	0,69	0,87	1,07	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95
25	0,69	0,86	1,06	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ (КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ)

ЧАСТЬ 2

«СТАНДАРТИЗАЦИЯ»

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Глушкова Т.А., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 12 от 05.03. 2020
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета
_____
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 20.03. 2020
(Дата)

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..4
1 Правовые основы стандартизации…….....5
2 Основные понятия……...…5
3 Цели, задачи стандартизации…….…...7
4 Принципы стандартизации…….…...8
5 Национальный орган Российской Федерации по стандартизации……....9
6 Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов…..……...11
7 Национальная система стандартизации……..…13
8 Международные, региональные организации по стандартизации……..…19
9 Информационное обеспечение стандартизации…….23
10 Работы по стандартизации……....24
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..…….29
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ…….……...29
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК…….…..29
Приложение А Перечень систем стандартов..…….…30
Приложение Б Нормативные документы по стандартизации……....31
Приложение В Общероссийские классификаторы…….33

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития мирового сообщества характерен:

- высокими темпами интенсификации производства;
- применением широкого спектра машин, аппаратов, приборов, технологической оснастки, оборудования и инструмента;
- использованием широкой номенклатуры новых веществ, новейших материалов и современных технологий;
- применением локальных и глобальных информационных систем.
- расширением международных экономических и торговых связей.

В этих условиях в экономически развитых странах уделяют огромное внимание стандартизации как важнейшему направлению совершенствования технического уровня и качества продукции на всех стадиях её жизненного цикла - научные разработки, проектирование, производство, упаковка и маркировка, хранение, транспортировка, реализация, эксплуатация, утилизация.

Стандартизация охватывает разработку и применение норм, правил, которые отражают действие объективных технико-экономических законов и оказывают в государственном и мировом масштабах существенное позитивное влияние:

- развитие всех отраслей экономики;
- совершенствование управления экономикой и предприятиями;
- увеличение промышленного производства и рост ВВП;
- управление качеством продукции, квалификацией персонала;
- улучшение использования основных фондов, природных богатств;
- разработку и внедрение энергосберегающих, ресурсосберегающих, малоотходных технологий;
- состояние окружающей среды;
- расширение международных экономических связей и торговли.

Законодательную основу стандартизации в Российской Федерации составляют федеральные законы:

- «О защите прав потребителей» от 07.02.92;
- «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ от 26.06.2008;
- «О техническом регулировании» от 27.12.02;
- отраслевого характера в части, касающейся стандартизации.

Дальнейшее развитие экономики России связано с развитием промышленного производства, расширением международной торговли и экономического сотрудничества, увеличением количества и технического совершенства товаров, расширением спектра и повышением качества услуг на базе широкого применения международных и национальных стандартов.

Стандартизация - деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг.

1 Правовые основы стандартизации

Отношения в области стандартизации регулируют и обеспечивают законодательные, нормативные и другие акты РФ:

- Федеральный закон «О техническом регулировании»;
- закон РФ «О защите прав потребителей»;
- Федеральный закон РФ «Об обеспечении единства измерений»;
- федеральные законы отраслевого характера;
- указы Президента РФ;
- нормативные акты (постановления, распоряжения) Правительства РФ;
- подзаконные акты, направленные на решение социально - экономических задач, предусматривающих использование стандартизации;
- приказы национального органа РФ по стандартизации.

В целях усиления роли стандартизации в научно-техническом прогрессе, повышения качества продукции, экономии материально - энергетических ресурсов в РФ действует *система* Стандартизации в Российской Федерации.

Система – комплекс взаимоувязанных правил и положений, определяющих:

- цели и задачи стандартизации;
- структуру органов, подразделений по стандартизации, их права и обязанности;
- организацию и методику проведения работ по стандартизации во всех отраслях;
- порядок разработки, оформления, издания, внедрения стандартов и другой нормативно-технической документации, формы контроля их соблюдения.

ГОСТ Р 1.0-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения.

ГОСТ Р 1.2-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила разработки, утверждения, обновления и отмены.

ГОСТ Р 1.4 -2004 Стандарты организаций. Общие положения.

ГОСТ Р 1.5 -2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

ГОСТ Р 1.8 -2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты межгосударственные. Правила проведения в Российской Федерации работ по разработке, применению, обновлению и прекращению применения

ГОСТ Р 1.10 -2004 Стандартизация в Российской Федерации. Правила стандартизации и рекомендации по стандартизации. Порядок разработки, утверждения, изменения, пересмотра и отмены.

ГОСТ Р 1.12-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Термины и определения.

2 Основные понятия

Гармонизация стандарта – приведение его содержания в соответствие с другим стандартом (региональным, международным).

Государственный стандарт (ГОСТ Р) – национальный стандарт, принятый федеральным органом исполнительной власти РФ по стандартизации или строительству.

Классификатор – документ, содержащий систематизированный перечень кодов и наименований объектов классификации и классифицированных группировок, разработанный и утверждённый в установленном порядке, обязательный для применения на различных уровнях.

Международный стандарт – стандарт, принятый международной организацией по стандартизации.

Методические инструкции (МИ) – нормативные документы методического содержания, разработанные организациями, подведомственными национальному органу по стандартизации.

Национальный стандарт – стандарт, утверждённый национальным органом по стандартизации.

Нормативный документ – документ, устанавливающий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов, подзаконный акт, принятый Правительством РФ.

Область стандартизации – совокупность объектов стандартизации.

Объект стандартизации – продукция, работа, процесс или услуга, для которой разрабатывают требования, характеристики, параметры или правила.

Правила (ПР) – нормативный документ, устанавливающий обязательные для применения организационные или общетехнические положения, порядки, методы выполнения работ, в том числе межгосударственные (ПМГ).

Проект стандарта – предлагаемый разработчиком проект нормативного документа, предназначенный для широкого обсуждения, голосования и принятия в качестве стандарта.

Региональный стандарт – стандарт, принятый региональной организацией по стандартизации и доступный широкому кругу пользователей.

Регламент – документ, содержащий обязательные правовые нормы, принятый органом исполнительной власти.

Рекомендации (Р) – нормативный документ, содержащий добровольные для применения организационные или общетехнические положения, порядки, методы выполнения работ, в том числе межгосударственные (РМГ).

Руководящие документы (РД) – нормативные документы методического содержания, разработанные организациями, подведомственными национальному органу по стандартизации.

Стандарт - документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции, условия выполнения работ или оказания услуг. Стандарт может со-

держать требования к терминологии, маркировке, этикеткам и правилам их нанесения.

Стандарт научно-технических, инженерных обществ (СТО) - стандарт, разработанный общественным объединением.

Технические условия (ТУ) - нормативный документ, устанавливающий технические требования, которым должна удовлетворять продукция, процесс или услуга.

Технический регламент (ТР) – документ, содержащий технические требования непосредственно или путём ссылки на стандарт, технические условия, либо путём включения содержания этих документов.

3 Цели, принципы, задачи стандартизации

Стандартизация как деятельность по установлению правил и характеристик в сферах производства и обращения продукции имеет общие и конкретные цели.

Стандартизация осуществляется *в целях:*

- повышение уровня безопасности жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного и муниципального имущества, объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, повышение уровня экологической безопасности, безопасности жизни и здоровья животных и растений;
- обеспечение конкурентоспособности и качества продукции (работ, услуг), единства измерений, рационального использования ресурсов, взаимозаменяемости технических средств (машин и оборудования, их составных частей, комплектующих изделий и материалов), технической и информационной совместимости, сопоставимости результатов исследований (испытаний) и измерений, технических и экономико-статистических данных, проведения анализа характеристик продукции (работ, услуг), исполнения государственных заказов, добровольного подтверждения соответствия продукции (работ, услуг);
- содействие соблюдению требований технических регламентов;
- создание систем классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации, систем каталогизации продукции (работ, услуг), систем обеспечения качества продукции (работ, услуг), систем поиска и передачи данных, содействие проведению работ по унификации.

Конкретные цели стандартизации относят к:

- определённой области материальной, нематериальной деятельности;
- отрасли производства продукции, оказания услуг;
- предприятию, фирме;
- виду продукции.

4 Принципы стандартизации

Стандартизацию осуществляют в соответствии с *принципами*:

- добровольного применения стандартов;
- максимального учёта при разработке стандартов законных интересов заинтересованных лиц;

- применения международного стандарта как основы разработки национального стандарта, за исключением случаев, когда это невозможно вследствие несоответствия требований международных стандартов климатическим и географическим особенностям РФ, техническим и (или) технологическим особенностям или по иным основаниям, либо РФ выступала против принятия международного стандарта или отдельного его положения;

- недопустимости создания препятствий производству и обращению продукции, выполнению работ и оказанию услуг в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей стандартизации;

- недопустимости установления таких стандартов, которые противоречат требованиям ТР;

- обеспечения условий для единообразного применения стандартов.

5Документы в области стандартизации

К *документам по стандартизации*, используемым в РФ, относят:

- национальные стандарты;
- правила стандартизации;
- нормы и рекомендации в области стандартизации;
- применяемые в установленном порядке классификации, общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации;
- стандарты организаций;
-своды правил.

Объектами национальных стандартов могут быть:

- характеристики продукции;
- правила выполнения технических документов;
- правила осуществления процессов постановки на производство, хранения, перевозок, реализации, утилизации;
- правила оказания услуг, выполнения работ;
- терминология в различных областях деятельности;
- требования к маркировке продукции и тары, способам упаковки;
- принципы, нормы, правила в области организации деятельности предприятий.

Объектами стандартов организаций могут быть:

- характеристики продукции;
- принципы, нормы, правила в области различных сторон деятельности предприятия, организации.

Важнейшие, перспективные задачи стандартизации:

- обеспечение взаимопонимания между разработчиком, изготовителем, продавцом и заказчиком, покупателем, потребителем;
- установление оптимальных требований к номенклатуре, качеству продукции в интересах потребителя, государства;
- определение требований по совместимости (конструктивной, электрической, электромагнитной, программной, информационной) и взаимозаменяемости продукции;

- унификация на основе применения параметрических и типоразмерных рядов, базовых конструкций, конструктивно-унифицированных узлов, блочно-модульных составных частей изделий;

- нормативное обеспечение межгосударственных и национальных социально - экономических и научно - технических проектов, инфраструктурных комплексов (транспорт, связь, информационные системы, оборона страны, охрана окружающей среды, безопасность населения);

- определение метрологических норм, правил, положений, требований;

- установление требований к современным ресурсосберегающим и малоотходным технологиям;

- создание и ведение систем классификации, кодирования;

- разработка, внедрение и ведение систем каталогизации для обеспечения потребителей информацией о номенклатуре и технических характеристиках товаров, услуг, процессов;

- содействие выполнению законодательства РФ средствами технического регулирования.

В зависимости от того, участники какого географического, экономического, политического региона мира принимают стандарт, различают уровни стандартизации:

- *международный*;
- *региональный*;
- *национальный*;
- *административно-территориальный*.

В мировом сообществе имеет место тенденция гармонизации национальных стандартов с международными стандартами, которая отвечает интересам экономически развитых и развивающихся стран.

5 Национальный орган Российской Федерации по стандартизации

Национальный орган по стандартизации – *Росстандарт (ранее Федеральное агентство Российской Федерации по техническому регулированию и метрологии, а до 2004 г. Госстандарт РФ)*, входящее в состав Министерства промышленности и энергетики РФ, - является органом государственной исполнительной власти по техническому регулированию, осуществляющим межотраслевую координацию и функциональное регулирование в области технического регулирования, стандартизации, оценки соответствия, метрологии.

В структуру *Росстандарта* входят управления:

- метрологии и надзора;
- технического регулирования и стандартизации;
- развития, информационного обеспечения и аккредитации;
- экономики, бюджетного планирования и госсобственности;
- международного и регионального сотрудничества.

Основные направления деятельности национального органа по стандартизации:

- научно-техническое;

- организационное;
- представительское.

Координацию работ по техническому регулированию, стандартизации, оценке соответствия в области строительства, архитектуры, производства строительных материалов и в жилищно-коммунальном хозяйстве осуществляет *Федеральное агентство Российской федерации по строительству и ЖКХ* (до 2004 г. Госстрой РФ).

Основные функции национального органа по стандартизации:
- утверждение национальных стандартов;
- принятие программ разработки национальных стандартов;
- обеспечение соответствия национальной системы стандартизации интересам экономики, состоянию материально-технической базы;
- содействие научно-техническому прогрессу;
- осуществление учёта национальных стандартов, правил стандартизации, норм и рекомендаций, обеспечение их доступности заинтересованным лицам;
- создание технических комитетов (ТК) по стандартизации и координация их деятельности;
- организация опубликования национальных стандартов, их распространение;
- участие в работе, представление прав и защита интересов РФ в международных организациях при создании международных стандартов;
- утверждение знака соответствия национальным стандартам.

Национальному органу по стандартизации предоставлены права:
- координации деятельности государственных органов управления, касающейся технического регулирования, стандартизации, оценки соответствия, метрологии;
- проведения государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР;
- принятия мер по запрещению выпуска и реализации продукции, изготовленной с нарушением требований ТР;
- организации профессиональной подготовки и переподготовки кадров в области технического регулирования;
- издания научно-технических журналов, справочников и другой литературы по вопросам технического регулирования и управления качеством.

ТК - постоянный рабочий орган *Росстандарта* в области стандартизации, специализированный по объектам. В ТК на паритетных началах и добровольной основе входят представители:
- федеральных органов исполнительной власти;
- научных организаций, проектно-конструкторских учреждений;
- производственных предприятий, фирм;
- инженерных и научных обществ;
- объединений предпринимателей и обществ по защите прав потребителей.

Основные функции ТК:
- определение концепций развития стандартизации;
- составление проектов новых стандартов и обновление действующих;

- оказание научно-методической помощи организациям, разрабатывающим стандарты и применяющим нормативные документы;

- привлечение к деятельности по стандартизации союзов предпринимателей и обществ потребителей;

- проведение гармонизации отечественных стандартов с международными стандартами;

- подготовка обоснованных позиций РФ для голосования по проектам стандартов в международных организациях;

- проведение и участие в работе заседаний международных организаций по стандартизации.

Заседания ТК по стандартизации являются открытыми.

Материалы заседаний подлежат опубликованию в аналоговой форме (специальные печатные издания, средства массовой информации) и электронно-цифровой форме (цифровые информационные системы общего пользования), доступны для заинтересованных лиц.

6 Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов

Государственный контроль (надзор) за соблюдением ТР осуществляют:

- федеральные органы исполнительной власти;

- органы исполнительной власти субъектов РФ;

- государственные учреждения, уполномоченные в соответствии с законодательством РФ;

- должностные лица органов государственного контроля (надзора);

- государственные инспекторы. Главный государственный инспектор – руководитель *Росстандарта*.

Государственный контроль (надзор) должностные лица осуществляют путём проведения плановых и внеплановых проверок. При составлении планов учитывают:

- целевые задания и приоритетные направления проверок;

- информацию потребителей, наличие рекламаций;

- сведения реестров о продукции, прошедшей сертификацию.

Объекты государственного контроля (надзора):

- продукция;

- процессы производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации.

Проведение проверок органы государственного контроля (надзора) осуществляют с применением правил и методов исследований (испытаний) и измерений, разработанных в соответствующих ТР.

Органы государственного контроля (надзора) имеют право:

- требовать от изготовителя (продавца) предъявления декларации о соответствии или сертификата соответствия требованиям ТР, если применение таких документов предусмотрено соответствующим ТР;

- осуществлять мероприятия государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР в порядке, установленном законодательством;

- принимать мотивированное решение о запрете передачи продукции на реализацию, полном или частичном (в зависимости от характера обнаруженных нарушений) приостановлении процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации, если иными мерами невозможно устранить нарушения требований ТР;

- приостановить или прекратить действие декларации о соответствии или сертификата соответствия;

- привлекать изготовителя (исполнителя, продавца) к ответственности, предусмотренной законодательством РФ (если нарушения привели к причинению вреда здоровью человека, то к виновным может быть применено уголовное наказание, предусмотренное статьёй 238 УК РФ);

- принимать иные предусмотренные законодательством РФ меры в целях недопущения вреда.

Органы государственного контроля (надзора) обязаны:

- проводить в ходе мероприятий по государственному контролю (надзору) разъяснительную работу о техническом регулировании, информировать изготовителя (продавца) о существующих ТР;

- соблюдать коммерческую или иную охраняемую законом тайну;

- соблюдать порядок осуществления мероприятий по государственному контролю (надзору) и оформления результатов проверок;

- принимать на основании результатов проверок меры по устранению последствий нарушений требований ТР;

- направлять информацию о несоответствии продукции требованиям ТР изготовителю (продавцу), покупателю (потребителю).

Таким образом, в зависимости от характера нарушений изготовителем (продавцом) требований ТР орган государственного контроля (надзора) принимает решение:

- выдать предписания об устранении нарушения;

- запретить полностью или частично передачу продукции в обращение;

- приостановить или прекратить действие декларации о соответствии или сертификата соответствия.

За нарушение требований ТР, неисполнение предписаний органа государственного контроля (надзора) изготовитель (исполнитель, продавец) несёт ответственность в соответствии с законодательством РФ.

Если в результате несоответствия продукции требованиям ТР причинён вред жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений или возникла угроза причинения такого вреда, то виновный обязан возместить причинённый вред и принять меры в целях недопущения такого вреда. Обязанность возместить причинённый вред не может быть ограничена договором или заявлением одной из сторон.

Изготовитель (исполнитель, продавец), которому стало известно о несоответствии выпущенной в обращение продукции требованиям ТР, обязан сообщить об

этом в орган государственного контроля (надзора) в течение десяти дней с момента получения такой информации.

Лица, которые не имеют отношения к изготовлению и реализации продукции (приобретатель, потребитель), вправе направлять информацию о несоответствии продукции требованиям ТР в орган государственного контроля (надзора) лично или письменно (индивидуально или коллективно).

Изготовитель (продавец) в течение десяти дней с момента получения информации о несоответствии продукции требованиям ТР обязан провести проверку достоверности полученной информации. При подтверждении достоверности полученной информации изготовитель (продавец) обязан:

- разработать программу мероприятий по предотвращению причинения вреда. Программа должна включать в себя мероприятия по информированию приобретателя о наличии угрозы причинения вреда;

- устранить недостатки, при необходимости объявить отзыв продукции. Устранение недостатков, отзыв продукции, доставка продукции к месту устранения недостатков и обратно осуществляет изготовитель (продавец);

- незамедлительно приостановить производство и реализацию продукции, отозвать продукцию и возместить приобретателю (потребителю) убытки в случае невозможности устранить причины причинения вреда.

В случае невыполнения изготовителем (продавцом) программы мероприятий по предотвращению причинения вреда орган государственного контроля (надзора), а также иные лица вправе обратиться в суд с иском о *принудительном отзыве продукции с рынка.* При удовлетворении иска суд обязывает ответчика совершить определённые действия по отзыву продукции с рынка и довести решение суда не позднее одного месяца со дня его вступления в силу до сведения приобретателя через средства массовой информации или иным способом.

В случае если ответчик (изготовитель, продавец) не исполнит решение суда в установленный срок, истец (приобретатель, потребитель) вправе совершить эти действия за счёт ответчика с взысканием с него расходов.

Орган по сертификации, аккредитованная испытательная лаборатория (центр), должностные лица, эксперты несут ответственность за выпуск в обращение продукции, не соответствующей требованиям ТР, в соответствии с законодательством РФ и договором о проведении сертификации.

7 Национальная система стандартизации

Основу национальной системы стандартизации РФ составляют:

- национальные стандарты;

- общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации, правила их разработки и применения.

Национальные стандарты:

- разрабатываются в порядке, установленном законодательством РФ;

- утверждаются национальным органом по стандартизации в соответствии с правилами, нормами, рекомендациями в области стандартизации;

- применяются на добровольной основе.

Национальные стандарты применяются равным образом и в равной мере независимо от:

- страны и места происхождения продукции, осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ и оказания услуг;
- видов или особенностей сделок и лиц, являющихся изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями.

Применение национального стандарта подтверждается знаком соответствия национальному стандарту.

Общероссийские классификаторы:

- разрабатываются, принимаются, вводятся в действие, ведутся и применяются в порядке, установленном Правительством РФ;
- содержат технико-экономическую и социальную информацию, в том числе в области прогнозирования, статистического учёта, банковской деятельности, налогообложения;
- включают информацию в области межведомственного информационного обмена, создания информационных систем и ресурсов.

Национальный орган по стандартизации разрабатывает и утверждает программу разработки национальных стандартов, обеспечивает доступность программы заинтересованным лицам.

Порядок разработки и утверждения национальных стандартов установлен законодательством РФ.

Разработчиком национального стандарта может быть любое лицо.

Уведомление о разработке национального стандарта направляется в национальный орган по стандартизации и публикуется в печатном издании федерального органа исполнительной власти по техническому регулированию и в информационной системе общего пользования в электронно-цифровой форме. Уведомление должно содержать информацию о имеющихся в проекте национального стандарта положениях, отличающихся от положений соответствующих международных стандартов.

Разработчик дорабатывает проект национального стандарта с учётом полученных в письменной форме замечаний, проводит публичное обсуждение проекта, составляет перечень замечаний и результатов их обсуждения, публикует уведомление о завершении обсуждения. Срок публичного обсуждения проекта национального стандарта не может быть менее двух месяцев.

Проект национального стандарта одновременно с перечнем замечаний представляется разработчиком в технический комитет по стандартизации, который организует проведение экспертизы проекта, готовит мотивированное предложение об утверждении или отклонении проекта, предаёт перечень замечаний и результаты экспертизы в национальный орган по стандартизации.

Национальный орган по стандартизации на основании документов, представленных техническим комитетом, принимает решение об утверждении или отклонении национального стандарта. Уведомление об утверждении национального стандарта подлежит опубликованию в печатном издании национального органа по стан-

дартизации и информационной системе общего пользования в электронно-цифровой форме в течение одного месяца.

Работы по национальной стандартизации под руководством *Росстандарта* ведут:

- научно-исследовательские институты (НИИ);
- конструкторские бюро, опытно-экспериментальные базы НИИ;
- федеральные, региональные, областные центры по стандартизации и метрологии (ЦМС), по сертификации (РОСТЕСТ, г. Москва, УРАЛТЕСТ, г. Екатеринбург);
- конструкторско-технологические, научно-исследовательские подразделения (отделы, бюро, лаборатории, группы) по стандартизации на предприятиях.

НИИ национального органа РФ по стандартизации:

ВНИИКИ – Всероссийский НИИ классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству, г. Москва;

ВНИИ Стандарт – Всероссийский НИИ стандартизации, г. Москва;

ВНИИС – Всероссийский НИИ сертификации, г. Москва;

ВНИИНМАШ – Всероссийский НИИ стандартизации и сертификации в машиностроении, г. Москва;

ВНИИМС – Всероссийский НИИ метрологической службы, г. Москва;

ВНИЦСМВ – Всероссийский научно-исследовательский центр стандартизации, информации, сертификации сырья, материалов, веществ, г. Москва;

ВНИИМ им. Д.И.Менделеева – Всероссийский НИИ метрологии, г. Санкт-Петербург;

УНИИМ – Уральский НИИ метрологии, г. Екатеринбург.

В структуру национального органа РФ по стандартизации входят опытные заводы, издательство, типографии, магазины, учебные заведения. На базе территориальных представительств Национального органа РФ по стандартизации работают органы по оценке соответствия продукции и услуг, испытательные лаборатории, поверочные и калибровочные центры.

Подразделения по стандартизации на предприятиях осуществляют следующие функции:

- составляют годовые и перспективные планы работ по государственной и отраслевой стандартизации, передают их в головную организацию по стандартизации;
- проводят работы по стандартизации, унификации продукции и технологической оснастки;
- определяют технико-экономическую эффективность внедрения стандартов в проектирование и производство;
- осуществляют систематический контроль внедрения и соблюдения стандартов, технических условий при проектировании и производстве продукции;
- пересматривают устаревшие, разрабатывают новые стандарты предприятий и технические условия.

Другие субъекты хозяйственной деятельности (научно-технические общества, инженерные общества) создают в своей структуре специальные подразделения, занимающиеся разработкой нормативно-технической документации по стандартизации и управлению качеством.

Совершенствование стандартизации на предприятиях позволяет:

- улучшить организацию и культуру производства;
- увеличить производительность оборудования и производительность труда персонала;
- улучшить качество конструкторской документации;
- повысить качество, снизить себестоимость продукции;
- сократить номенклатуру материалов, полуфабрикатов, комплектующих.

В зависимости от того, участники какого субъекта деятельности разрабатывают и принимают стандарт, различают *категории* стандартов:

- *стандарты международные* (ИСО);
- *стандарты государственные* (ГОСТ Р);
- *технические условия* (ТУ);
- *стандарты общественных объединений, научно-технических и инженерных обществ* (СТО).

Международный стандарт – стандарт, который разрабатывает и выпускает международная организация по стандартизации с целью содействия взаимному сотрудничеству в интеллектуальной, научно-технической, экономической деятельности, в области охраны окружающей среды и в торговле. Например, основополагающий стандарт ИСО 14001 «Системы управления в области охраны окружающей среды. Руководство по применению». Стандарты ИСО имеют рекомендательный характер. Национальный орган РФ по стандартизации допускает применение стандартов ИСО:

- в качестве ГОСТ Р без изменений в тексте;
- с дополнениями, учитывающими российские требования, например, государственный стандарт ГОСТ Р/ИСО 14001 «Системы управления качеством окружающей среды. Общие требования и рекомендации по использованию».

Национальный стандарт – стандарт разрабатываемый для всех предприятий, организаций, учреждений страны независимо от форм собственности и подчинения, граждан занимающихся индивидуальной трудовой деятельностью, министерств (ведомств), органов местного и государственного управления РФ. Разработку ГОСТ Р ведут ТК по стандартизации в составе *Росстандарта*. После утверждения *Росстандарта* присваивают индекс, в котором указан номер и год утверждения или пересмотра - четыре последние цифры (например, государственный стандарт ГОСТ Р 51685-2000 на геометрические размеры железнодорожных рельсов).

Объектами ГОСТ Р являются:

- организационно-методические и общетехнические объекты;
- совместимые программные и технические средства информационных технологий;
- справочные материалы, классификация и кодирование информации;
- составляющие элементы крупных народно-хозяйственных комплексов (транспорт, энергосистема, связь, оборона, охрана окружающей среды);
- содержание государственных научно-технических и социально-экономических целевых программ и проектов;
- продукция для удовлетворения внутренних потребностей населения и поставок на экспорт;

- достижения науки и техники, позволяющие предприятию, государству обеспечить конкурентоспособность продукции;

- система конструкторской и технологической документации, документация в области управления и организации производства.

Технические условия – нормативный документ, который содержит технические требования, определяющие показатели качества продукции в соответствии с условиями её эксплуатации, обслуживания, ремонта. ТУ разрабатывают и применяют субъекты хозяйственной деятельности независимо от форм собственности и подчинения, когда ГОСТ и ОСТ создавать нецелесообразно, или необходимо дополнить или ужесточить установленные ими требования (например, нормативный документ ТУ 14-2Р-351-2001 на технические требования в отношении стальных колец для автомобильных, башенных кранов и других машин). Объектом ТУ может быть продукция разовой поставки, выпускаемая малыми партиями, а также произведения художественных промыслов. В случае, когда на ТУ нет ссылок в контрактах или договорах, ТУ считается не нормативным, а техническим документом.

Стандарты общественных объединений, научно-технических и инженерных обществ – нормативные документы, которые содержат требования к принципиально новым видам продукции, методам измерений, нетрадиционным технологиям и принципам управления производством. СТО разрабатывают и утверждают общественные объединения с целью распространения перспективных результатов научно-технических исследований (например, стандарт СТО АСЧМ 20-93 Ассоциации «Черметстандарт» на сортамент профилей двутавровых широкополочных балок с параллельными гранями полок).

В зависимости от характера объектов стандартизации различают *виды* стандартов:

- *стандарты основополагающие*;

- *стандарты на продукцию, услуги*;

- *стандарты на процессы*;

- *стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа)*.

Основополагающие стандарты – стандарты, которые устанавливают организационные принципы, положения, требования, правила и нормы, имеющие общий характер, с целью содействия взаимопониманию, взаимодействию и техническому единству в различных областях науки, техники и производства. Основополагающие стандарты объединяют взаимосвязанные стандарты, имеющие общую целевую направленность, имеют комплексный характер (ЕСКД, ЕСТД).

Стандарты на продукцию, услуги – стандарты, которые устанавливают требования к группам однородной продукции, услуг или конкретной продукции, услугам (стандарты общих технических требований, параметров и размеров, типов конструкции, сортамента, правил приёмки).

Стандарты на работы (процессы) – стандарты, которые устанавливают требования к конкретным видам работ (процессов), осуществляемым на разных стадиях жизненного цикла продукции: разработка, проектирование, производство, эксплуатация, потребление, хранение, транспортирование, обслуживание, ремонт, утилизация.

Особое место занимают экологические требования, которые включают: условия применения потенциально опасных для окружающей среды материалов, параметры очистного оборудования, правила выбросов в атмосферу и сточные воды.

Стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа) - стандарты, которые устанавливают порядок отбора проб (образцов) для испытаний, методы контроля (испытаний, измерений, анализа) характеристик определённой группы продукции с целью обеспечить единство оценки показателей качества. Критерии объективности метода контроля – сходимость и воспроизводимость результатов. Стандартизации подлежат: средства контроля, порядок подготовки и проведения контроля, правила обработки результатов, допустимая погрешность метода. В стандартах предусмотрены различные виды испытаний: повседневные, типовые, периодические.

8 Международные, региональные организации по стандартизации

Главная международная организация по стандартизации ИСО создана в 1946г. СССР был одним из основателей организации, является постоянным членом руководящих органов. РФ входит в ИСО как правоприемник СССР.

Цель деятельности ИСО:

- содействие развитию стандартизации в мировом масштабе для облегчения международного товарообмена и взаимопомощи, расширение сотрудничества в области интеллектуальной, научной, технической и экономической деятельности.

Практическая деятельность ИСО направлена на:

- облегчение координации и унификации национальных стандартов;
- подготовку рекомендаций национальным организациям по стандартизации;
- разработку стандартов ИСО;
- организацию обмена информацией в области стандартизации;
- сотрудничество с другими международными организациями по стандартизации и смежным проблемам (сертификация, метрология).

Объекты стандартизации ИСО:

- основополагающие стандарты;
- машиностроение, химия;
- неметаллические материалы, руды, металлы;
- информационная техника;
- сельское хозяйство;
- строительство, специальная техника;
- охрана здоровья, медицина;
- окружающая среда;
- упаковка и транспортировка товаров.

Организационно в ИСО входят руководящие и рабочие органы.

Руководящие органы - Генеральная ассамблея, Совет, комитеты Совета, Технические бюро.

Рабочие органы - технические комитеты, подкомитеты, технические консультативные группы.

Совет руководит работой ИСО в перерывах между сессиями Генеральной ассамблеи. Решение принимается большинством голосов членов Совета. Совету ИСО подчиняются комитеты:

- *ПЛАКО* – техническое бюро по планированию и организации работы;
- *СТАКО* – комитет по изучению научных принципов стандартизации;
- *КАСКО* – комитет по оценке соответствия продукции, услуг;
- *ИНФКО* – комитет по научно-технической информации, в рамках которого функционирует информационная система *ИСОНЕТ* о документах в области стандартизации - стандартах, справочниках, учебной литературе;
- *ДЕВКО* – комитет по оказанию помощи развивающимся странам;
- *КОПОЛКО* – комитет по защите интересов потребителей;
- *РЕМКО* – комитет по стандартным образцам (эталонам).

По своему содержанию только 20% стандартов ИСО относятся к конкретной продукции. Остальные нормативные документы касаются требований безопасности, взаимозаменяемости, технической и информационной совместимости, методов испытаний, других общих и методических вопросов.

Международные стандарты ИСО, которых разработано более 10 тыс., не имеют статуса обязательных. Каждая страна – участница вправе решать вопрос о применении международных стандартов в зависимости от степени участия страны в международном разделении труда, состояния экономики и внешней торговли. В РФ принято около половины стандартов ИСО.

Главная международная организация по стандартизации и сертификации в области электротехники Международная электротехническая комиссия МЭК создана в 1906 г. Россия участвует в работе МЭК с 1921 г. Организационная структура МЭК во многом аналогична структуре ИСО.

Основная цель деятельности МЭК:

– содействие международному сотрудничеству по стандартизации и смежным с ней проблемам (испытания, оценка соответствия) в области электротехники, радиотехники, производства электротехнических материалов путём разработки международных стандартов и других документов.

Объекты стандартизации МЭК:

- материалы для электротехнической промышленности;
- электротехническое, электроэнергетическое оборудование;
- изделия электронной промышленности, электроинструмент;
- оборудование для спутников связи;
- терминология.

МЭК разработано более 2 тыс. стандартов. В РФ принято более половины стандартов МЭК

Международные стандарты МЭК можно разделить на два вида:

- общетехнические, носящие общеотраслевой характер, - нормативные документы на терминологию, стандартные напряжения и частоты, виды и методы испытаний, требования по безопасности;
- на конкретные виды продукции от бытовых электроприборов до спутников связи

Некоторые виды работ по международной стандартизации и сертификации ведут совместно ИСО и МЭК, а директивы имеют индекс ИСО/МЭК, например, Руководство 2 ИСО/МЭК «Общие термины и определения в области стандартизации и смежных видов деятельности».

Важнейшей целью при разработке стандартов ИСО/МЭК является разработка стандартов в области безопасности, разработка стандартов, содержащих наряду с техническими требованиями, требования по безопасности. Нормы безопасности зависят от уровня социально-экономического развития и образованности общества.

В сферу деятельности МЭК входит поиск методов защиты от различных видов опасностей:

- травмоопасность, опасность поражения электрическим током;
- техническая опасность, пожаро- и взрывоопасность;
- химическая и биологическая опасность;
- опасность излучений (звуковые, инфракрасные, радиочастотные, ультрафиолетовые, ионизирующие, радиационные).

Особый статус имеет Международный специальный комитет по радиопомехам (СИСПР), который занимается стандартизацией методов измерения радиопомех, излучаемых электронными и электротехническими приборами.

Организационно-методическую и практическую работу по стандартизации и оценке соответствия во взаимодействии с ИСО, МЭК в своих географических районах и областях деятельности ведут:

- Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН);
- Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО);
- Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ);
- «Кодекс Алиментариус» - комиссия по разработке стандартов на продовольствие;
- Европейский комитет по стандартизации (СЕН);
- Европейский комитет по стандартизации в электротехнике (СЕНЭЛЕК);
- Европейский институт по стандартизации в области электросвязи (ЕТСИ);
- Межскандинавская организация по стандартизации (ИНСТА);
- Международная ассоциация стран Юго-Восточной Азии (АСЕАН);
- Панамериканский комитет стандартов (КОПАНТ).

Стандартизация, сертификация и метрология в рамках СНГ осуществляется в соответствии с межправительственным соглашением «Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации» от 1992 г. Перспективная приоритетная задача Межгосударственного Совета СНГ - развитие сотрудничества с ИСО, МЭК, СЕН.

Активное участие в работе международных и региональных организаций по стандартизации принимают национальные организации экономически развитых государств.

Национальная организация по стандартизации и смежным с ней проблемам в США – Национальный институт стандартов и технологии (NIST) – неправительственная некоммерческая организация, утверждающая национальные стандарты, координирующая работы по разработке и применению стандартов в государственном и частном секторах экономики.

Федеральные стандарты в США разрабатывают:

- Американское общество по испытаниям и материалам (ASTM);
- Американское общество по контролю качества (ASQC);
- Американское общество инженеров – механиков (ASME);
- Общество инженеров – автомобилестроителей (SAE);
- Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) и другие организации и фирмы.

Основные задачи разработки и внедрения национальных стандартов в США - экономия энергоресурсов, защита окружающей среды, обеспечение безопасности людей и условий производства.

Национальная организация по стандартизации и смежным с ней проблемам в Британии – Британский институт стандартов (BSI) – независимая организация, координирующая деятельность по стандартизации, управлению качеством и сертификации, информационному обслуживанию и маркетингу, созданная для удовлетворения потребностей обществ инженеров-механиков, инженеров-судостроителей, инженеров-электриков и инженеров-металлургов. Приоритетные направления деятельности BSI – стандартизация в электротехнике, автоматизации, информационной технике, строительстве, химии, здравоохранении, машиностроении. Современное направление - обеспечение безопасности инвалидов, техническая помощь британским фирмам – экспортёрам.

Национальная организация по стандартизации во Франции – Французская ассоциация по стандартизации (ANFOR) – организация, координирующая деятельность по стандартизации, сертификации, метрологии, управлению качеством. Приоритетные направления деятельности в международной стандартизации – информационные технологии, в европейской стандартизации - транспорт и телекоммуникации, в национальной стандартизации – экология, безопасность, агропромышленное производство, а также сфера услуг.

Национальная организация по стандартизации в Германии – Немецкий институт стандартов (DIN). Деятельность DIN финансируется на основе договоров с заинтересованными сторонами – заказчиками нормативных документов и дотациями со стороны государства. Особое внимание уделяется стандартизации в области обеспечения безопасности товаров и услуг, защиты окружающей среды, созданию основополагающих стандартов. Кроме стандартизации DIN занимается проблемами оценки соответствия и информационного обеспечения стандартизации и сертификации.

Национальная организация по стандартизации в Японии – Японский комитет промышленных стандартов (JISC) - консультативный орган при Министерстве внешней торговли и промышленности. Деятельность JISC финансирует правительство Японии. На основании Закона о промышленной стандартизации в Японии производится сертификация промышленной продукции на соответствие национальному стандарту. Разрешение на выдачу сертификата и право маркировки знаком соответствия стандарту даёт министр отрасли по результатам инспекционного контроля качества данной продукции и аттестации предприятия.

Приоритетные направления стандартизации в Японии – учёт интересов зарубежных партнёров, придание открытого характера информации о стандартизации,

гармонизация японских национальных стандартов с международными стандартами, упрощение процедур сертификации, распространение стандартизации на продукцию предприятий частного сектора. Большое внимание уделяется стандартам, направленным на защиту окружающей среды, решение социальных проблем, создание условий для справедливой конкуренции, сохранение лидерства в области стандартизации в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

9 Информационное обеспечение стандартизации

Национальному органу по стандартизации – *Росстандарту* - предоставлено исключительное право опубликования официальной информации:

- реестра продукции и услуг, сертифицированных и маркированных знаками соответствия и обращения на рынке;
- российских, международных, региональных, национальных нормативных документов.

Национальный орган РФ по стандартизации ведёт *Федеральный фонд стандартов* – совокупность нормативных документов по стандартизации, метрологии, оценке соответствия. В фонд входят:

- нормативные акты РФ по стандартизации, сертификации, метрологии;
- государственные реестры;
- государственные стандарты, их проекты;
- правила, рекомендации в области стандартизации;
- стандарты отраслей, предприятий, научно-технических и инженерных обществ, общественных организаций;
- общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации;
- международные договоры, нормативные документы, принятые международными, региональными, национальными организациями зарубежных стран.

Головная организация по информационному обеспечению стандартизации - ВНИИКИ - Всероссийский НИИ классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству. ВНИИКИ совместно с другими НИИ и ЦМС ведёт автоматизированный банк отечественных, международных, региональных, зарубежных стандартов и нормативных документов по управлению качеством.

ВНИИКИ исполняет функцию национального центра международной информационной сети по стандартизации ИСОНЕТ, руководство деятельностью которой осуществляет Комитет по информационным системам и услугам ИНФКО, входящий в Совет ИСО.

Развитие информационных технологий повысило актуальность классификаций и кодирования информации. В РФ создана *Единая система классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации* (ЕСКК), объектами которой выступают:

- статистическая информация;
- макроэкономическая, финансовая, правоохранительная деятельность;
- банковское дело, бухгалтерский учёт;
- стандартизация, оценка соответствия;

- производство продукции, предоставление услуг;
- торговля, таможенное дело;
- внешнеэкономическая деятельность.

Составляющие ЕСКК:

- общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации, средства их ведения;
- нормативные, методические документы по их разработке, ведению и применению.

Национальный орган РФ по стандартизации принял более 20, в стадии внедрения находятся более 25 общероссийских классификаторов, гармонизированных с международными стандартами и классификациями.

Действующие общероссийские классификаторы:

- *ОКПО* – предприятий и организаций;
- *ОКОГУ* – органов государственной власти и управления;
- *ОКЭР* – экономических районов;
- *ОКДП* – видов экономической деятельности, продукции и услуг;
- *ОКСО* – специальностей по образованию;
- *ОКЗ* – занятий;
- *ОКУД* – управленческой документации;
- *ОКП* – продукции;
- *ОКС* – стандартов;
- *ОКПДТР* – профессий рабочих, должностей служащих, тарифных разрядов;
- *ОКОФ* – основных фондов;
- *ЕСКД* – изделий и конструкторских документов в машиностроении;
- *ОКЕИ* – единиц измерения;
- *ОКСВНК* – специальностей высшей научной квалификации.

Национальные стандарты, общероссийские классификаторы и информация об их разработке должна быть доступна заинтересованным лицам. Издательство национального органа РФ по стандартизации выпускает широкий спектр наименований печатной продукции – стандарты, нормативные документы, справочники, журналы с приложениями, учебная литература.

10 Работы по стандартизации

Работы, выполняемые при стандартизации, в условиях современного производства способствуют:

- совершенствованию организации и управления производством;
- повышению производительности оборудования и персонала;
- улучшению проектирования и изготовления продукции, особенно при крупносерийном, массовом производстве;
- ускорению разработки наукоёмких, малоотходных технологий;
- повышению стабильности качества товаров, работ и услуг;
- экономии ресурсов всех видов – материальных, энергетических, временных, людских;
- развитию безотходных технологий и защите окружающей среды.

Основные работы (методы стандартизации), выполняемые при стандартизации:

- систематизация объектов, явлений или понятий;
- кодирование и классификация технико-экономической информации;
- унификация и симплификация деталей, сборочных единиц, узлов, агрегатов, машин, приборов;
- типизация конструкций изделий и технологических процессов;
- агрегатирование машин и других изделий.

Систематизация объектов, явлений или понятий – расположение объектов в определённом порядке и последовательности, образующей чёткую систему, удобную для пользования. Простейшие формы систематизации – расположение объектов в алфавитном или хронологическом порядках.

Кодирование – присвоение по определённым правилам объекту кода, в виде сочетания цифр и букв. Коды обеспечивают идентификация объектов с помощью минимального количества знаков. Автоматизированные системы управления отраслями промышленности с применение вычислительной техники позволяют обрабатывать большой объём информации, закодированной в десятичных цифровых кодах.

Классификация – разделение множества объектов на классификационные группировки по сходству или различию на основе определённых признаков в соответствии с принятыми правилами.

Наибольшее применение получил *иерархический* метод классификации, в котором исходное множество объектов последовательно разделяется на подмножества (классы, группы, виды) по принципу от общего к частному. Основная сложность при построении классификации – выбор системы признаков, определение порядка их следования. Иерархическая классификация логична, проста, но плохо поддаётся автоматизированной обработке.

Фасетный метод классификации подразделяет объекты на независимые подмножества, обладающие определёнными признаками, необходимыми для решения конкретных задач. Принцип построения фасетной классификации – от частного к общему. Такая классификация хорошо поддаётся автоматизированной обработке.

Порядок проведения работ по классификации и кодированию информации регламентирован Единой системой классификации и кодирования технико-экономической информации *ЕСКК ТЭИ*. На основе Единой системы разрабатывают классификаторы (общероссийский, отраслевой, предприятия). Классификатор по статусу приравнен стандарту соответствующего уровня.

Унификация – приведение объектов одинакового функционального назначения к единообразию по установленному признаку и рациональное сокращение числа этих объектов. Унификация (заводская, отраслевая, межотраслевая) устанавливает минимально необходимое но достаточное число типов, видов, типоразмеров, изделий, сборочных единиц и деталей, обладающих высоким качеством и полной взаимозаменяемостью.

Симплификация – форма стандартизации, при которой уменьшают количество типов изделий до величины, достаточной для удовлетворения существующих в данное время потребностей.

Типизация конструкций изделий – разработка и установление типовых конструкций, содержащих конструктивные параметры общие для изделий, сборочных единиц, деталей.

Типизация технологических процессов – разработка и установление технологического процесса, для производства однотипных деталей или сборки однотипных составных частей или изделий.

Агрегатирование – создание машин, оборудования, приборов и других изделий из унифицированных стандартных агрегатов (автономных сборочных единиц), устанавливаемых в изделии в различном числе и комбинациях. Из минимального числа типоразмеров автономных агрегатов стремятся создать максимальное число компоновок оборудования.

Принципы, определяющие современную научно-техническую организацию работ по стандартизации:

- *системности;*
- *обеспечения функциональной взаимозаменяемости стандартизируемых изделий;*
- *научно-исследовательский;*
- *предпочтительности;*
- *прогрессивности и оптимизации стандартов;*
- *взаимоувязки стандартов;*
- *минимального удельного расхода материалов.*

Принцип системности - применение совокупности взаимосвязанных элементов, функционирование которых приводит к выполнению поставленной цели с максимальной эффективностью и наименьшими затратами. Научно-технический прогресс вызвал необходимость системного подхода к процессу производства, включающего труд людей, средства (оборудование, оснастка, инструмент, средства контроля) и предметы труда (продукция на стадиях её создания и использования).

Принцип обеспечения функциональной взаимозаменяемости стандартизируемых изделий – обеспечение взаимозаменяемости по эксплуатационным показателям. Принцип является главным при комплексной и опережающей стандартизации изделий.

Научно-исследовательский принцип разработки стандартов – проведение специальных теоретических, экспериментальных и опытно-конструкторских работ для подготовки проектов стандартов.

Принцип предпочтительности – установление нескольких рядов значений стандартизируемых параметров, чтобы при их выборе первый ряд предпочесть второму, второй – третьему. Широкое применение получили ряды предпочтительных чисел, построенные по принципу геометрической прогрессии. Принцип является теоретической базой современной стандартизации, позволяет повысить уровень взаимозаменяемости, уменьшить номенклатуру типоразмеров заготовок, деталей, изделий, создаёт условия эффективной специализации и кооперирования в промышленности.

Принцип прогрессивности и оптимизации стандартов – соответствие показателей, норм, характеристик и требований в стандартах мировому уровню науки, техники, производства, учёт прогрессивных тенденций развития стандартизируе-

мых объектов. Принципа позволяет получать в производстве максимальный экономический эффект при минимальных затратах.

Принцип взаимоувязки стандартов – учёт всех основных элементов (факторов), влияющих на конечный объект стандартизации. При стандартизации рассматривают систему характеристик и требований к комплексу взаимосвязанных материальных и нематериальных элементов. Второстепенные элементы, незначительно влияющие на объект, не учитывают.

Принцип минимального удельного расхода материалов – минимизациия удельного расхода материалов, полуфабрикатов, стоимость которых в машиностроении составляет 40…80% от конечной себестоимости продукции. Стандартизация заготовок, изделий позволяет получить экономию материалов за счёт рациональных схем и компоновок машин, совершенства методов расчёта деталей на прочность, применения экономичных профилей, сварных конструкций, литых заготовок, пластмасс, композиционных материалов.

Методы стандартизации:

- *прогрессивная стандартизация;*
- *комплексная стандартизация;*
- *опережающая стандартизация.*

Прогрессивная стандартизация (ПС) – стандартизация, которая основана на использовании технических прогнозов, патентов, изобретений, передовых научно-технических и опытно-конструкторских разработок.

Комплексная стандартизация (КС) – стандартизация, при которой осуществляют целенаправленное и планомерное установление и применение системы взаимоувязанных требований как к объекту в целом и его элементам, так и к материальным и нематериальным факторам, влияющим на объект, с целью обеспечения оптимального решения конкретной проблемы. Сущность КС - систематизация, оптимизация и увязка всех взаимодействующих факторов (в процессе проектирования, производства, эксплуатации), обеспечивающих экономически оптимальный уровень качества продукции в требуемые сроки.

Опережающая стандартизация (ОС) – установление повышенных по отношению к достигнутому на практике уровню норм, требований к объектам стандартизации, которые, согласно техническим прогнозам, будут оптимальными в последующее планируемое время. ОС относят к изделию, показателям его качества, средствам производства, методам испытания, контроля. ОС – основа проектирования новой, более совершенной техники.

В качестве примера комплексной стандартизации можно привести *Межотраслевую систему общетехнических стандартов*, направленную на решение крупных народно-хозяйственных задач, обеспечение эффективности производства высококачественной продукции.

В числе прочих в межотраслевую систему входят:

- *ЕСКД* – единая система конструкторской документации;
- *ЕСТД* – единая система технологической документации;
- *СПКП* – система показателей качества продукции;
- *УСД* – унифицированные системы документации;
- *СИБИД* - система информационно-библиографической документации;

- *ГСИ* – государственная система обеспечения единства измерений;

- *ЕСЗКС* – единая система защиты от коррозии и старения материалов и изделий;

- *стандарты на товары, поставляемые на экспорт;*

- *ССБТ* – система стандартов безопасности труда;

- *ЕСТПП* – единая система технологической подготовки производства;

- *разработка и постановка продукции на производство;*

- *система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов;*

- *ЕСПД* – единая система программной документации;

- *ЕСГУКП* – единая система государственного управления качеством продукции;

- *СПДС* – система проектной документации для строительства;

- *ЕССП* – единая система стандартов приборостроения.

ЕСКД – система, устанавливающая для всех организаций и предприятий единый порядок организации проектирования, единые правила выполнения и оформления чертежей и ведения чертёжного хозяйства. Этим стандартам присвоен класс 2, например ГОСТ 2.001-93.

Основные задачи ЕСКД:

- повышение производительности труда конструкторов;

- улучшение качества чертёжной документации;

- облегчение взаимообмена конструкторской документацией между организациями;

- углубление унификации при разработке проектов изделий;

- упрощение форм конструкторских документов, графических изображений, внесения в них изменений;

- механизация и автоматизация обработки технических документов;

-эффективное хранение, учёт документов, сокращение их объёмов;

- ускорение оборота документов.

Главные перспективные направления развития ЕСКД:

- полное документальное обеспечение систем автоматизации проектно- конструкторских работ;

- документальное обеспечение автоматизированных систем управления на государственном, отраслевом уровнях и на предприятиях;

- создание общегосударственной сети вычислительных центров на базе ЭВМ четвёртого (сверхминиатюрные ЭВМ на больших интегральных схемах) и пятого (на основе световых и оптических явлений) поколений.

Система ЕСКД широко использована в современных условиях при:

- разработке автоматических систем управления производством;

- создании и применении машинных носителей информации в качестве юридически предусмотренных форм представления документации;

- применении действующих классификаторов и систем документации;

- внедрении стандартных программ сбора, хранения, передачи и обработки информации в общегосударственной автоматизированной системе.

ЕСТД – система, устанавливающая для всех организаций и предприятий единые взаимосвязанные правила, нормы и положения выполнения, оформления, комплектации и обращения, унификации и стандартизации технологической документации. Этим стандартам присвоен класс 3, например ГОСТ 3.1103-84.

ЕСТД решает информационные и организационные задачи:

- широкого внедрения типовых технологических процессов, основанных на технологическом классификаторе деталей машиностроения и приборов;
- сокращения объёма, упорядочения номенклатуры, установления правил составления технологической документации;
- разработки систем нормативов основного производства и учёта;
- повышения в конечном итоге производительности труда технологов.

ЕССП – система, призванная унифицировать и согласовывать по принципу агрегатирования параметры и характеристики приборов и устройств, входящих в систему автоматического контроля, регулирования и управления сложными технологическими процессами. Одновременно система обеспечивает функциональную, информационную, конструктивную, эксплуатационную совместимости указанных приборов и технических средств.

Совместимость технических средств – обеспечение согласованной совместной работы этих средств в предусмотренном сочетании, в рекомендуемом диапазоне нормируемых параметров (энергоносители, присоединительные и габаритно-установочные размеры, эргономические требования).

Повышение требований потребителя к техническому уровню и качеству продукции, необходимость дальнейшего совершенствования качества определяют уровень и сложность работ по стандартизации, поиск совершенствование новых эффективных форм разработки стандартов на продукцию и услуги с учётом международного разделения труда, кооперирования и особенностей товарообмена в стране и за рубежом.

Система управления качеством – совокупность организационной структуры и процедур, процессов, ресурсов, ответственности работников, направленная на повышение качества продукции (работ, услуг). На основании мирового опыта по управлению качеством в РФ приняты стандарты ГОСТ Р ИСО серии 9000. В основе этих, а также вновь разрабатываемых международных стандартов, положены принципы управления качеством:

- ориентация на запросы и требования потребителя;
- повышение роли руководителя в организации управления качеством;
- вовлечение инициативы и ответственности персонала;
- разработка процесса достижения желаемого результата;
- применение системного анализа для повышения эффективности функционирования системы взаимосвязанных процессов;
- формирование потребности у персонала постоянного улучшения продукции, процессов и системы в целом;
- принятие решений на основе сбора и анализа данных и информации;
- постановка взаимовыгодных отношений с поставщиками.

Наличие сертификата системы качества является необходимым, хотя и не достаточным, условием выхода продукции на международный рынок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Промышленность Российской Федерации конца восьмидесятых годов прошлого столетия обслуживали 80…100 тыс. стандартов, в то время как необходимое и достаточное количество стандартов составляло 1…2 тыс. Избыточная стандартизация усложняла разработку новых видов продукции и современных ресурсосберегающих, малоотходных, экологически чистых технологий. Существующая в стране система стандартизации в условиях становления рыночных отношений превратилась в препятствие развития производства новых видов товаров. Закон Российской Федерации «О стандартизации» совместно с законом «О защите прав потребителей» более 10 лет являлся законодательной основой стандартизации. В начале двадцать первого века в стране назрела необходимость совершенствования основ государственной стандартизации.

Федеральный закон «О техническом регулировании» признал утратившим силу закон о «Стандартизации» и предоставил новые возможности по дальнейшему совершенствованию стандартизации и оценки соответствия товаров и услуг обязательным требованиям стандартов. Закон «О техническом регулировании» определил приоритетные цели стандартизации – повышение уровня безопасности граждан и имущества, экологической безопасности, безопасности животных, растений, а также обеспечение научно-технического прогресса и повышение конкурентоспособности продукции, работ, услуг.

Дальнейшее развитие стандартизации, широкое применение прогрессивной, комплексной и опережающей стандартизации являются необходимыми и определяющими условиями роста национального валового продукта, роста благосостояния граждан, успешной интеграции экономики России в мировую экономическую систему, расширения международного экономического и научно-технического сотрудничества, роста объёма и совершенствования структуры международного товарообмена в интересах населения и государства.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Правовые основы стандартизации
2. Цели стандартизации.
3. Задачи стандартизации.
4. Принципы стандартизации.
5. Документы в области стандартизации.
6. Национальный орган РФ по стандартизации. Функции, права.
7. Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов.
8. Национальная система стандартизации.
9. Порядок разработки и утверждения национальных стандартов.
10. Категории стандартов.
11. Объекты стандартизации.
12. Виды стандартов.
13. Международные, региональные организации по стандартизации.
14. Информационное обеспечение стандартизации.
15. Общероссийские классификаторы технико-экономической информации.
16. Работы, выполняемые при стандартизации.
17. Принципы организации работ по стандартизации.
18. Методы стандартизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Логос, 2010. – 560 с.: ил.

2. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация: Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Юрайт-Издат, 2009. – 335 с.

3. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2010. - 464 с.: ил.

4. Яблонский О.П., Иванова В.А. Основы стандартизации, метрологии, сертификации: Учебник. – Ростов на/Д: Феникс, 2010. – 448 с.

5. Радкевич Я.М., Лактионов Б.И., Схиртладзе А.Г Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. для вузов - 2-е изд., доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 791 с.

6. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 711 с.

7. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ «О техническом регулировании».

8. Закон Российской Федерации от 7 февраля 1992 г. N 2300-I «О защите прав потребителей».

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 - Перечень систем межгосударственных и государственных стандартов

Наименование систем	Аббревиатура в обозначении стандарта	Шифр в обозначении	Категория стандартов
1	2	3	4
Государственная система стандартизации РФ	ГСС	1.	ГОСТ Р
Единая система конструкторской документации	ЕСКД	2.	ГОСТ
Единая система технологической документации	ЕСТД	3.	ГОСТ
Система показателей качества продукции	СПКП	4.	ГОСТ
Унифицированная система документации	УСД	6.	ГОСТ ГОСТ Р
Система информационно-библиографической документации	СИБИД	7.	ГОСТ
Государственная система обеспечения единства измерений	ГСИ	8.	ГОСТ ГОСТ Р
Единая система защиты от коррозии и старения	ЕСЗКС	9.	ГОСТ
Система стандартов безопасности труда	ССБТ	12.	ГОСТ ГОСТ Р
Репрография	-	13.	ГОСТ ГОСТ Р
Единая система технологической подготовки производства	ЕСТПП	14.	ГОСТ
Система разработки и постановки продукции на производство	СРПП	15.	ГОСТ ГОСТ Р
Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов	-	17.	ГОСТ ГОСТ Р
Единая система программных документов	ЕСПД	19.	ГОСТ
Система проектной документации по строительству	СПДС	21.	ГОСТ Р
Безопасность в чрезвычайных ситуациях	-	22.	ГОСТ Р
Расчеты и испытания на прочность	-	25.	ГОСТ
Надежность в технике	-	27.	ГОСТ
Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения	-	29.	ГОСТ
Информационная технология	-	34.	ГОСТ Р
Система сертификации ГОСТ Р	-	40.	ГОСТ Р
Система аккредитации в РФ	-	51.	ГОСТ Р

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 - Нормативные документы по стандартизации

Наименование документа	**Определение**	**Обозначение**	**Сфера действия**
1	2	3	4
Национальный стандарт РФ	Стандарт, принятый ФА Ростехрегулирования	ГОСТ Р	Российская Федерация
Региональный стандарт	Стандарт, принятый региональной организацией по стандартизации	ГОСТ, СТ СЭВ	Страны — члены региона
Межгосударственный стандарт (является стандартом регионального типа)	Стандарт, принятый Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации или Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве	ГОСТ	Страны — члены Межгосударственного совета (МГС) и (или) Межгосударственной научно-технической комиссии (МНТКС)
Международный стандарт	Стандарт, принятый международной организацией по стандартизации	ИСО, МЭК, ИСО/МЭК	Страны — члены и члены-корреспонденты ИСО и МЭК
Общероссийский классификатор технико-экономической информации	Документ, принятый Госстандартом России или Госстроем России	ОК	Российская Федерация
Стандарт отрасли	Стандарт, принятый государственным органом управления в пределах его компетенции применительно к продукции, работам и услугам отраслевого значения	ОСТ	В одной или нескольких отраслях
Стандарт предприятия	Стандарт, принятый предприятием применительно к внутренним продукции, работам и услугам.	СТП	На данном предприятии
Стандарт научно-технического, инженерного общества	Стандарт, принятый научно-техническим, инженерным обществом или другим общественным объединением	СТО	На принципиально новые виды продукции, процессы, услуги, методы испытаний
Правила	Документ в области стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации, устанавливающий обязательные для применения организационно- технические и (или) общетехнические положения, порядки (правила процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ соответствующих направлений, а также обязательные требования к оформлению результатов этих работ	ПР	Российская Федерация

Продолжение таблицы Б.2 Нормативные документы по стандартизации

1	2	3	4
Технические условия	Документ, разработанный на конкретную продукцию (изделие, материал, вещество)	ТУ	На конкретное изделие, материал, вещество
Рекомендации	Документ в области стандартизации, метрологии, сертификации, аккредитации, содержащий добровольные для применения организационно-технические и (или) общетехнические положения, порядки (правила процедуры), методы (способы, приемы) выполнения работ соответствующих направлений, а также рекомендуемые правила оформления результатов этих работ	Р	Российская Федерация
Правила по межгосударственной стандартизации	См. «Правила»	ПМГ	Страны — члены МГС и (или) МНКТС
Рекомендации по межгосударственной стандартизации	См. «Рекомендации»	РМГ	Страны — члены МГС и (или) МНКТС
Регламент	Документ, содержащий обязательные правовые нормы и принятый органами власти		Сфера действия регламента

Все действующие в Российской Федерации государственные, межгосударственные, региональные, национальные стандарты других стран вносятся в ежегодно переиздаваемый указатель «Национальные стандарты».

Национальные стандарты (ГОСТ Р) разрабатываются на продукцию, работы и услуги, имеющие межотраслевое значение, и не должны противоречить законодательству Российской Федерации.

Национальные стандарты должны содержать:

- требования к продукции, работам и услугам по их безопасности для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества, требования техники безопасности и производственной санитарии;
- требования по технической и информационной совместимости, а также взаимозаменяемости продукции;
- основные потребительские (эксплуатационные) характеристики продукции, методы их контроля, требования к упаковке, маркировке, транспортированию, хранению, применению и утилизации продукции;
- правила и нормы, обеспечивающие техническое и информационное единство при разработке, производстве, использовании (эксплуатации) продукции, выполнении работ и оказании услуг, в том числе правила оформления технической документации, допуски и посадки, общие правила обеспечения качества продукции, работ и услуг, сохранения и рационального использования всех видов ресурсов, термины и их определения, условные обозначения, метрологические и другие общетехнические и организационно-технические правила и нормы. В государственных стандартах содержатся как обязательные для выполнения требования к объекту стандартизации, так и рекомендательные.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 ОБЩЕРОССИЙСКИЕ КЛАССИФИКАТОРЫ

Код	Наименование ОК	Аббревиатура ОК	Год принятия ОК	Дата введения ОК
001	Общероссийский классификатор стандартов	ОКС	1993	01.01.95
002	Общероссийский классификатор услуг населению	ОКУН	1993	01.01.94
003	Общероссийский классификатор органов государственной власти и управления	ОКОГУ	1993	01.01.96
004	Общероссийский классификатор видов экономической деятельности, продукции и услуг	ОКДП	1993	01.01.94
005	Общероссийский классификатор продукции	ОКП	1993	01.07.94
006	Общероссийский классификатор информации по социальной защите населения	ОКИСЗН	1993	01.01.94
007	Общероссийский классификатор предприятий и организаций	ОКПО	1993	01.07.94
009	Общероссийский классификатор специальностей по образованию	ОКСО	1993	01.07.94
010	Общероссийский классификатор занятий	ОКЗ	1993	01.01.95
011	Общероссийский классификатор управленческой документации	ОКУД	1993	01.07.94
012	Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов	Классификатор ЕСКД	1993	01.07.94
013	Общероссийский классификатор основных фондов	ОКОФ	1994	01.01.96
014	Общероссийский классификатор валют	ОКВ	1994	01.07.95
015	Общероссийский классификатор единиц измерения	ОКЕИ	1994	01.01.96

016	Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов	ОКПДТР	1994	01.01.96
017	Общероссийский классификатор специальностей высшей научной квалификации	ОКСВНК	1994	01.07.95
018	Общероссийский классификатор информации о населении	ОКИН	1995	01.07.96
019	Общероссийский классификатор объектов административно-территориального деления	ОКАТО	1995	01.01.97
020	Общероссийский классификатор деталей, изготавливаемых сваркой, пайкой, склеиванием и термической резкой	ОКД	1995	01.07.96
021	Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения	ТКД	1995	01.01.96
022	Общероссийский технологический классификатор сборочных единиц машиностроения и приборостроения	ОТКСЕ	1995	01.01.97
023	Общероссийский классификатор начального профессионального образования	ОКНПО	1995	01.07.96
024	Общероссийский классификатор экономических регионов	ОКЭР	1995	01.01.97
025	Общероссийский классификатор стран мира	ОКСМ	1995	01.07.96
026	Общероссийский классификатор информации об общероссийских классификаторах	ОКОК	1995	01.07.96
027	Общероссийский классификатор форм собственности	ОКФС	1999	01.01.2000
028	Общероссийский классификатор организационно-правовых форм	ОКОПФ	1999	01.01.2000
029	Общероссийский классификатор видов экономической деятельности	ОКВЭД	2001	01.01.2003

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБОАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ (КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ)

ЧАСТЬ 3

«ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ»

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Глушкова Т.А., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 12 от 05.03. 2020
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета
_____
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 20.03. 2020
(Дата)

Екатеринбург
2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..2
1. Основные понятия……3
2. Цели, принципы и формы подтверждения соответствия……..3
3. Добровольное подтверждение соответствия……..4
4. Обязательное подтверждение соответствия……...5
5. Участники системы сертификации.....…….……9
6. Схемы сертификации продукции и услуг……10
7. Порядок обязательного подтверждения соответствия……13
8. Организация деятельности органов по сертификации……14
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…...…….……16
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ……...17
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК…...……...17
ПРИЛОЖЕНИЕ А……...……...17
ПРИЛОЖЕНИЕ Б…….…..18

ВВЕДЕНИЕ

Деятельность по установлению требований к качеству продукции, услуг, процессам их производства и реализации основана на системах стандартизации, оценки соответствия.

В условиях государственного управления экономикой в процессе управления качеством участвовали с одной стороны - государство в лице предприятий, выпускающих продукцию и оказывающих услуги, совместно с контролирующими и регулирующими органами, а с другой – потребители.

В составе органов, контролирующих деятельность предприятий по качеству продукции, входили отделы технического контроля предприятий, ведомственные комиссии, органы вневедомственного контроля. Главная задача контролирующих органов – предотвращение выпуска предприятиями продукции или услуг, не соответствующих требованиям стандартов и технических условий, утверждённым образцам, положениям проектно - конструкторской и технологической документации, условиям поставки и договоров.

В девяностых годах прошлого века в ходе становления в России экономики рыночного типа получили развитие существенные процессы:

- появление производителей продукции и услуг негосударственных форм собственности;
- увеличение номенклатуры и объёма товаров и услуг;
- расширение внутреннего и международного товарообмена;
- усиление внутренней и международной конкуренции производителей товаров и услуг;
- возникновение реальных перспектив вступления России в международные экономические и торговые организации – Европейский Союз, ВТО.

Названные процессы в сочетании с мировым техническим прогрессом привели к необходимости изменения системы оценки и управления качеством продукции и услуг. В этих условиях эффективным способом гарантии качества, широко применяемым в мировой практике, явилось подтверждение соответствия требованиям стандартов третьей стороной, независимой от изготовителя (продавца) и потребителя (покупателя), - сертификация.

Становление рыночной экономики было поддержано законодательно основополагающими Федеральными законами Российской Федерации:

- «О защите прав потребителей» от 07.02.92;
- «О стандартизации» от 10.06.93;
- «О сертификации продукции и услуг» от 10.06.93.

Дальнейшее развитие экономики России потребовало совершенствования процессов стандартизации и оценки соответствия. Достижению этой цели призван способствовать федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.02.

Подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции, процесса, работы, услуги предъявляемым к ним требованиям. Одной из форм оценки соответствия является общепризнанный в мировой практике способ - *сертификация соответствия*.

Сертификация (лат.) – «сделано верно». Чтобы убедиться в том, что продукция «сделана верно», в процессе сертификации необходимо ответить на вопросы:

- каким требованиям продукция, процесс, работа, услуга должны соответствовать?
- как путём можно получить доказательства этого соответствия?

1 Основные понятия

Аккредитация – официальное признание компетентности физического или юридического лица выполнять работы в области оценки соответствия.

Декларирование соответствия – форма подтверждения соответствия продукции требованиям ТР.

Декларация о соответствии – документ, удостоверяющий соответствие продукции требованиям ТР.

Заявитель – физическое или юридическое лицо, осуществляющее обязательное подтверждение соответствия.

Знак обращения на рынке – обозначение, информирующее приобретателя о соответствии продукции требованиям ТР.

Знак соответствия – обозначение, информирующее приобретателя о соответствии продукции требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту.

Идентификация продукции – установление тождественности характеристик продукции её существенным признакам.

Орган по сертификации – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в установленном порядке для выполнения работ по сертификации.

Оценка соответствия – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту.

Подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции, объектов, процессов требованиям ТР, положениям стандартов, условиям договоров.

Приобретатель – юридическое или физическое лицо, получающее товар или услугу для производственных, бытовых или личных целей.

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объекта требованиям ТР, положениям стандартов или условиям договоров.

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям ТР, положениям стандартов, условиям договоров.

Система сертификации – совокупность правил проведения сертификации, участников сертификации, правил функционирования системы.

Схема сертификации – состав, порядок и последовательность действий третьей стороны по оценке соответствия продукции, услуг, систем качества.

Форма подтверждения соответствия – определённый порядок документального удостоверения соответствия продукции или иных объектов, выполнения работ или оказания услуг требованиям ТР, положениям стандартов, условиям договоров.

2 Цели, принципы и формы подтверждения соответствия

Подтверждение соответствия осуществляют в *целях*:

- удостоверения соответствия продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ, услуг или иных объектов требованиям ТР, стандартов и условиям договоров;
- содействия приобретателям в компетентном выборе продукции, работ, услуг;

- повышения конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;

- создания условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории РФ;

- осуществления международного экономического, научно - технического сотрудничества и международной торговли.

Подтверждение соответствия осуществляют на основе *принципов*:

- доступности информации о порядке осуществления подтверждения соответствия заинтересованным лицам;

- недопустимости применения обязательного подтверждения соответствия к объектам, в отношении которых не установлены требования ТР;

- установления перечня форм и схем обязательного подтверждения соответствия в отношении определённых видов продукции в соответствующем ТР;

- уменьшения сроков осуществления обязательного подтверждения и затрат заявителя;

- недопустимости принуждения к осуществлению добровольного подтверждения соответствия, в том числе в определённой системе добровольной сертификации;

- защиты имущественных интересов заявителей;

- соблюдения коммерческой тайны в отношении сведений, полученных при осуществлении подтверждения соответствия;

- недопустимости подмены обязательного подтверждения соответствия добровольной сертификацией.

Подтверждение соответствия применяется равным образом и в равной мере независимо от:

- страны или места происхождения продукции, осуществления процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ и оказания услуг;

- видов или особенностей сделок и лиц, которые являются изготовителями, исполнителями, продавцами, приобретателями, конечными потребителями.

Подтверждение соответствия на территории РФ имеет *характер*:

- *добровольный;*

- *обязательный.*

Добровольное подтверждение соответствия осуществляют в *форме*:

- *добровольной сертификации*.

Обязательное подтверждение соответствия осуществляют в *формах*:

- *принятия декларации о соответствии*;

- *обязательной сертификации*.

Порядок применения форм обязательного подтверждения устанавливает федеральный закон «О техническом регулировании».

3 Добровольное подтверждение соответствия.

Добровольное подтверждение соответствия осуществляется по инициативе заявителя на условиях договора между заявителем и органом по сертификации в форме добровольной сертификации. Добровольное подтверждение соответствия осуществляется для установления соответствия товара, услуги требованиям национальных стандартов, стандартов организаций, систем добровольной сертификации, условиям договоров.

Орган по добровольной сертификации:

- осуществляет подтверждение соответствия объектов добровольного подтверждения соответствия;

- оформляет и выдаёт сертификаты соответствия на объекты, прошедшие добровольную сертификацию;

- предоставляет заявителям право на применение знака соответствия, предусмотренного соответствующей системой добровольной сертификации;

- приостанавливает или прекращает действие выданных им сертификатов соответствия.

Система добровольной сертификации может быть создана юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями. Система добровольной сертификации устанавливает:

- перечень объектов добровольной сертификации и их характеристик;

- правила выполнения работ по сертификации;

- порядок оплаты работ по сертификации;

- возможность применения знака соответствия.

Система добровольной сертификации проходит регистрацию в федеральном органе по техническому регулированию, который ведёт единый реестр зарегистрированных систем добровольной сертификации.

Системы добровольной сертификации характерны:

- активной ролью заявителя (выбирает требования к объекту, методы проверки, стандарты и другие нормативные документы, систему и схему сертификации);

- самоорганизацией системы (создание системы возможно любым субъектом хозяйственной деятельности, юридическим или физическим лицом);

- открытостью, возможностью для заинтересованных сторон ознакомиться с составом участников, правилами и процедурами сертификации;

- самостоятельностью, невмешательством федеральных и местных органов власти, общественных структур в деятельность системы.

Объекты, сертифицированные в системе добровольной сертификации, могут быть маркированы *знаком соответствия* системы. Применение знака соответствия национальному стандарту осуществляется заявителем на добровольной основе любым удобным для него способом (типографской печатью, тонкоплёночными технологиями, голографическими изображениями), месте (на товаре, упаковке, технической и сопроводительной документации, рекламе) в порядке, установленном национальным органом по стандартизации.

Знак соответствия:

- убеждает приобретателя, потребителя в надлежащем качестве и безопасности товара, услуги;

- помогает органам госнадзора принять решение о возможности реализации товара;

- является для страховых компаний гарантией безопасности товара.

В РФ действуют более ста систем добровольной сертификации, в том числе системы сертификации:

- в бизнесе и торговле;

- продукции машиностроения и приборостроения «Абрис»;

- веществ и материалов по химическому составу;

- банковских технологий;

- средств и систем в сфере информатизации;

- объектов и услуг;

- систем качества и производств Росстандарта;

- средств измерений;

- морской техники;

- интеллектуальной собственности;

- услуг связи;

- услуг информационных технологий и систем качества предприятий;

- программных средств, применяемых в обязательном медицинском страховании.

4 Обязательное подтверждение соответствия

Обязательное подтверждение соответствия проводится в случаях, установленных соответствующим ТР. Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть только

продукция, выпускаемая в обращение на территории РФ. Форма и схемы устанавливаются ТР с учётом степени риска не достижения его целей. Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу на всей территории РФ независимо от схем обязательного подтверждения соответствия. Работы по обязательному подтверждению соответствия оплачивает заявитель. Стоимость работ устанавливает Правительство РФ.

Декларирование соответствия осуществляют по одному из *вариантов*:

- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств;
- принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств и доказательств, полученных с участием органа по сертификации и (или) аккредитованной испытательной лаборатории (третьей стороны).

Заявителем может быть юридическое или физическое лицо, являющееся частным предпринимателем, изготовителем, продавцом, представителем иностранного изготовителя на основании договора с ним, круг заявителей устанавливает соответствующий ТР. Схему декларирование соответствия с участием третьей стороны ТР устанавливает, если отсутствие третьей стороны не приводит к достижению целей подтверждения соответствия.

При декларировании соответствия на основании собственных доказательств заявитель самостоятельно формирует доказательные материалы, в качестве которых использует техническую документацию, результаты собственных испытаний, исследований и (или) другие документы. Состав доказательных материалов определяет соответствующий ТР.

При декларировании соответствия на основании собственных доказательств и полученных с участием третьей стороны доказательств заявитель по своему выбору в дополнение к собственным доказательствам включает:

- протоколы исследований, испытаний и измерений, проведённых в испытательной лаборатории (центре);
- сертификат системы качества, в отношении которого предусмотрен контроль (надзор) органа по сертификации.

Декларация о соответствии оформляется на русском языке и содержит:

- наименование и указание местонахождения заявителя;
- наименование и указание местонахождения изготовителя продукции;
- информацию об объекте подтверждения соответствия;
- наименование ТР, на соответствие требованиям которого подтверждается продукция;
- указание схемы декларирования соответствия;
- заявление-декларацию изготовителя, продавца о безопасности продукции при её использовании в соответствии с целевым назначением;
- сведения о проведённых исследованиях, испытаниях и измерениях, сертификате системы качества, а также документах, послуживших основанием для подтверждения соответствия продукции требованиям ТР;
- указание срока действия декларации о соответствии;
- иные сведения, предусмотренные соответствующим ТР.

Срок действия декларации о соответствии определяет соответствующий ТР. Форму декларации утверждает федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию. Оформленная по установленным правилам декларация подлежит регистрации федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию в течение трёх дней. Порядок ведения реестра деклараций о соответствии, форму представления сведений в реестр, порядок оплаты определяет Правительство РФ.

Декларация о соответствии и доказательные документы хранятся у заявителя в течение трёх лет с момента окончания срока действия декларации. Второй экземпляр декларации хранится в федеральном органе исполнительной власти по техническому регулированию.

До вступления в силу соответствующего ТР Правительство РФ определяет и ежегодно дополняет номенклатуру (перечень) отдельных видов товаров и услуг, в отношении которых распространяется возможность принятия декларации о соответствии вместо обязательной сертификации.

В номенклатуру входят:

- продукция резинотехническая;
- приборы и аппараты оптические;
- подшипники;
- садово-огородный инвентарь;
- продукция деревообработки;
- продукция лёгкой и текстильной промышленности;
- продукция пищевой промышленности, животноводства, растениеводства;
- медицинские изделия.

Обязательное подтверждение соответствия в форме обязательной сертификации осуществляет орган по обязательной сертификации на основании договора с заявителем. Схемы сертификации устанавливает соответствующий ТР. Соответствие продукции требованиям ТР подтверждает сертификат соответствия, выданный заявителю органом по сертификации.

Сертификат соответствия оформляется на русском языке и содержит:

- наименование и указание местонахождения заявителя;
- наименование и указание местонахождения изготовителя продукции;
- наименование и указание местонахождения органа по сертификации, выдавшего сертификат соответствия;
- информацию об объекте сертификации;
- наименование ТР, на соответствие требованиям которого проводилась сертификация;
- заявление органа по обязательной сертификации о соответствии продукции, услуги предъявляемым к ней требованиям;
- информацию о проведённых исследованиях, испытаниях, измерениях;
- информацию о документах, представленных заявителем в качестве доказательств соответствия продукции требованиям ТР;
- указание срока действия сертификата соответствия.

Срок действия сертификата определяет соответствующий ТР. Форму сертификата соответствия утверждает федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию.

Обязательную сертификацию осуществляет орган по сертификации, аккредитованный в порядке, установленном Правительством РФ.

Орган по обязательной сертификации:

- привлекает на договорной основе для проведения исследований, испытаний и измерений испытательные лаборатории (центры), аккредитованные в порядке, установленном Правительством РФ;
- проводит анализ документов, принимает решение, оформляет и выдаёт сертификат соответствия, лицензию на применение знака обращения на рынке;
- ведёт реестр выданных им сертификатов соответствия;
- осуществляет инспекционный контроль за объектами сертификации, если контроль предусмотрен схемой обязательной сертификации, договором;
- информирует органы государственного контроля (надзора) о продукции, поступившей на сертификацию, но не прошедшей её;
- приостанавливает или прекращает действие выданного им сертификата соответствия;
- обеспечивает представление заявителям информации о порядке проведения обязательной сертификации;
- устанавливает стоимость работ по сертификации на основании утверждённой Правительством РФ методики определения стоимости работ.

Федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию ведёт единый реестр выданных сертификатов соответствия. Порядок ведения единого реестра, форму предоставления сведений в реестр, порядок оплаты устанавливает Правительство РФ.

Аккредитованная испытательная лаборатория (центр) оформляет результаты исследований, испытаний и измерений протоколами, на основании которых орган по сертификации при-

нимает решение о выдаче или отказе в выдаче сертификата соответствия. Аккредитованная лаборатория (центр) обязана обеспечить достоверность результатов исследований, испытаний и измерений.

Продукция, соответствие которой требованиям ТР подтверждено в установленном порядке, может быть маркирована *знаком обращения на рынке*. Изображение знака устанавливает Правительство РФ. Знак не является специально защищённым знаком и наносится заявителем в информационных целях любым удобным для него способом.

Заявитель в области обязательного подтверждения соответствия имеет право:

- выбирать форму и схему подтверждения соответствия, предусмотренные для определённых видов продукции соответствующим ТР;
- обращаться для осуществления обязательной сертификации в любой орган по сертификации, область аккредитации которого распространяется на предъявляемую к сертификации продукцию;
- обращаться в орган по аккредитации с жалобами на неправомерные действия органов по сертификации, испытательных лабораторий (центров).

Заявитель в области обязательного подтверждения соответствия обязан:

- обеспечивать соответствие продукции требованиям ТР;
- выпускать в обращение продукцию, подлежащую обязательному подтверждению соответствия, только после подтверждения соответствия;
- указывать в сопроводительной технической документации и при маркировке продукции сведения о сертификате или декларации соответствия;
- предъявлять в органы государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР, а также другим заинтересованным лицам документы, свидетельствующие о подтверждении соответствия – декларацию, сертификат соответствия или их копии;
- приостанавливать или прекращать реализацию продукции, если истёк срок действия, приостановлено или прекращено действие декларации, сертификата соответствия;
- извещать орган по сертификации об изменениях, вносимых в техническую документацию или технологические процессы производства сертифицированной продукции;
- приостанавливать производство продукции, которая прошла подтверждение соответствия и не удовлетворяет требованиям ТР на основании решений органов государственного контроля (надзора).

При ввозе на территорию РФ продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия, заявитель одновременно с таможенной декларацией передаёт в таможенные органы декларацию о соответствии или сертификат соответствия. Полученные за пределами территории РФ документы о подтверждении соответствия, протоколы исследований, испытаний и измерений продукции могут быть признаны в соответствии с международными договорами РФ.

В РФ действуют несколько десятков самостоятельных систем обязательного подтверждения соответствия, в том числе системы обязательной сертификации:

- авиационной техники и объектов гражданской авиации;
- посуды;
- лесопромышленной продукции;
- товаров детского ассортимента;
- электрооборудования на соответствие стандартам безопасности;
- металлорежущего, деревообрабатывающего и слесарно-монтажного инструмента;
- металлообрабатывающих станков;
- сельскохозяйственной техники;
- транспортных средств и прицепов;
- технических средств на электромагнитную совместимость;
- нефтепродуктов;
- пищевых продуктов и продовольственного сырья;
- химической продукции;
- «Электросвязь».

Документы об аккредитации, выданные органам по сертификации и аккредитованным испытательным лабораториям (центрам) до вступления в силу федерального закона «О техническом регулировании», а также документы, подтверждающие соответствие (сертификат соответствия, декларация о соответствии) считаются действительными до окончания срока, установленного в них.

Номенклатура продукции , подлежащих обязательному подтверждению соответствия и подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии, определено Правительством Российской Федерации в постановлении от 1 декабря 2009 г. № 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии».

Пример перечня приведен в таблице 1.

Таблица 1 ИНФОРМАЦИЯ О ПРОДУКЦИИ, ПОДЛЕЖАЩЕЙ ОБЯЗАТЕЛЬНОМУ ПОДТВЕРЖДЕНИЮ СООТВЕТСТВИЯ (В ФОРМЕ ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ) В СИСТЕМЕ СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р, С УКАЗАНИЕМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, УСТАНАВЛИВАЮЩИХ ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ [1]

Наименование объекта	**Код позиции объекта по ОК 005-93 [ОКП]**	**Обозначение определяющего нормативного документа**	**Подтверждаемые требования определяющего нормативного документа**
1	**2**	**3**	**4**
0110 Электроэнергия			
Электрическая энергия в электрических сетях общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц	01 1000	ГОСТ 13109-97	Пп. 5.2 (в части предельно допускаемых значений), 5.6
0251 Нефтепродукты светлые. Альтернативные виды топлива			
Этанольное моторное топливо для автомобильных двигателей с принудительным зажиганием. Бензанолы	02 5141	ГОСТ Р 52201-2004	П. 4.1
0253 Масла смазочные (нефтяные)			
Масла авиационные	02 5311	ГОСТ 21743-76	П. 2.2

5 Участники системы сертификации

Система сертификации – совокупность участников, осуществляющих сертификацию по правилам, установленным в этой системе.

В систему сертификации входят:

- национальный орган по сертификации;

[1] В данном документе учтены изменения в Постановление Правительства РФ от 01.12.2009 № 982, внесенные Постановлениями Правительства РФ от 17.03.2010 № 149, от 20.10.2010 № 848, от 13.11.2010 № 906.

- центральный орган по сертификации;
- орган по сертификации;
- испытательная лаборатория (центр);
- совет по сертификации;
- научно-методический центр по сертификации;
- комиссия по апелляциям;
- заявители сертификации.

Национальный орган по сертификации - федеральный орган исполнительной власти - Федеральное агентство РФ по техническому регулированию и метрологии, осуществляющий организацию работ по обязательной сертификации в соответствии с законодательными актами.

Центральный орган по сертификации – федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий разработку систем, правил, порядков сертификации однородной продукции.

Орган по сертификации – региональный орган, проводящий сертификацию, созданный на базе организаций, имеющих статус юридического лица и являющийся третьей стороной. Основные функции органа:

- формирование и актуализация фонда нормативных документов;
- разработка и ведение организационно-методических документов;
- приём и рассмотрение заявок на сертификацию;
- определение испытательной лаборатории, органа по оценке системы качества, проверке производства;
- оформление и выдача сертификата установленной формы, регистрация в Государственном реестре;
- признание зарубежных сертификатов;
- организация инспекционного контроля продукции, системы качества;
- отмена или приостановление действия сертификатов по результатам инспекционного контроля;

Заявители должны иметь беспрепятственный доступ к информации об услугах органа, правилах сертификации, результатах испытаний и сертификации, исключая информацию конфиденциального характера или содержащую коммерческую тайну.

Испытательная лаборатория (центр) – организация, имеющая статус юридического лица, являющаяся третьей стороной и осуществляющая для целей сертификации испытания конкретного вида продукции или конкретные виды испытаний с оформлением протоколов.

Совет по сертификации – орган, разрабатывающий рекомендации по формированию единой политики сертификации, повышению эффективности работ, распространению информации о деятельности системы. В состав совета входят представители центрального органа по сертификации, Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, министерств, ведомств, служб, агентств, изготовителей продукции, испытательных лабораторий, общественных организаций.

Научно-методический центр по сертификации – центр, созданный при центральном органе по сертификации и осуществляющий системные исследования, разрабатывающий методические и практические рекомендации для ведения технико-экономического анализа работ по сертификации.

Комиссия по апелляциям – комиссия, рассматривающая в установленный срок жалобы, поданные по результатам сертификации, извещает подателя и орган по сертификации о принятом решении. Комиссию создаёт центральный орган по сертификации для рассмотрения жалоб и решения спорных вопросов. В работе комиссии участвуют представители Федерального агентства РФ по техническому регулированию и метрологии, министерств, ведомств, служб, агентств, органов по сертификации, испытательных лабораторий, изготовителей сертифицируемой продукции.

Заявители сертификации – изготовители продукции, исполнители работ, продавцы, обратившиеся в орган по сертификации. Заявители обязаны:

- направлять заявку на проведение сертификации, предоставлять продукцию, необходимую нормативную, техническую и иную документацию;

- обеспечивать соответствие реализуемой продукции требованиям нормативных документов;

- маркировать продукцию знаком обращения на рынке;

- обеспечивать беспрепятственное выполнение полномочий должностными лицами органов по сертификации и инспекционному контролю;

- приостанавливать или прекращать реализацию продукции, если она не отвечает требованиям нормативных документов.

Права и обязанности заявителя регламентированы федеральным законом «О техническом регулировании».

6 Схемы сертификации продукции и услуг

Схема сертификации продукции – перечень мероприятий и последовательность действий третьей стороны по оценке соответствия различных видов продукции или услуг. Мероприятия объедены в три группы:

- испытания в испытательной лаборатории;

- проверка производства (системы качества);

- инспекционный контроль сертифицированной продукции (системы качества).

Среди мероприятий:

- испытания образца или партии продукции;

- анализ состояния производства, системы качества;

- рассмотрение декларации о соответствии;

- рассмотрение дополнительных документов, полученных заявителем помимо сертификации (протоколы приёмочных испытаний, гигиенический сертификат, ветеринарный сертификат, сертификат пожарной безопасности, сертификаты или декларации субпоставщиков, сертификаты происхождения, протоколы испытаний в зарубежных лабораториях).

Система сертификации продукции предусматривает несколько схем. Выбор схемы зависит: от вида продукции; особенностей производства, испытаний, поставки, использования продукции; требуемого уровня доказательности; возможных затрат заявителя. Схему устанавливает ТР.

Схемы сертификации продукции, применяемые в РФ, разработанные с учётом рекомендаций ИСО/МЭК и практики подтверждения соответствия ЕС, приведены в табл. 2.

Схемы 1…8 полностью соответствуют рекомендациям ИСО/МЭК. В российской практике дополнительно применяют модифицированные схемы 2а, 3а, 4а, а также схемы 9…10а, основанные на декларации изготовителя.

Современным актуальным направлением развития сертификации в российской и мировой практике является сертификация услуг (см. табл.3.1).

Объектами сертификации в сфере услуг могут быть:

- услуги, работы;

- организации, предоставляющие услуги, выполняющие работы;

- персонал, предоставляющий услуги, выполняющий работы;

- производственный процесс;

- система управления качеством.

Схемы, относящиеся к сертификации услуг и работ, включают:

- оценку мастерства исполнителя, процесса оказания услуги;

- аттестацию предприятия, сертификацию системы качества;

- проверку результатов оказания услуги;

- инспекционный контроль за сертифицированными услугами.

Таблица 2 - Схемы сертификации продукции

№ схемы	Испытания в испытательных лабораториях	Проверка производства (системы качества)	Инспекционный контроль сертифицированной продукции (системы качества)
1	Испытание типового образца продукции	--	--
1а	То же	Анализ состояния производства	--
2	То же	--	Испытания образцов продукции, взятых у продавца
2а	То же	Анализ состояния производства	То же
3	То же	--	Испытания образцов продукции, взятых у изготовителя
3а	То же	Анализ состояния производства	То же
4	То же	--	Испытания образцов продукции, взятых у продавца
4а	То же	Анализ состояния производства	Испытания образцов продукции, взятых у изготовителя
5	То же	Сертификация производства или системы качества	Контроль стабильности условий производства или функционирования системы качества
6	Рассмотрение декларации о соответствии	Сертификация системы качества	Контроль стабильности функционирования системы качества
7	Испытания партии продукции	--	--
8	Испытания каждого образца	--	--
9	Рассмотрение декларации о соответствии	--	--
9а	То же	Анализ состояния производства	--
10	То же	--	Испытания образцов, взятых у изготовителя или продавца
10а	То же	Анализ состояния производства	То же

Особенности услуг как объекта сертификации:

- субъективность проверки результата услуги (например, причёски);
- невозможность испытаний результата услуги (испытаний сложной бытовой техники после ремонта по установленным жёстким правилам испытаний);
- непосредственный контакт исполнителя и потребителя услуги требует оценки мастерства исполнителя с учётом этики общения (услуги косметического кабинета);
- предоставление услуги и её потребление происходит одновременно (парикмахерские услуги);
- некоторые характеристики услуг зависят от региона (транспортное обслуживание, общественное питание).

Схемы сертификации услуг, применяемые в РФ, приведены в табл. 3.

Таблица 3 -Схемы сертификации услуг

№ схемы	Оценка мастерства исполнителя	Оценка процесса оказания услуги	Аттестация предприятия	Сертификация системы качества	Выборочная проверка результата услуги	Инспекционный контроль
1	Оценка мастерства	--	--	--	Выборочная проверка	Проверка результатов услуги
2	--	Оценка процесса	--	--	Выборочная проверка	Контроль стабильности процесса оказания услуги
3	--	--	--	--	Выборочная проверка	Выборочная проверка результата услуги
4	--	--	Аттестация	--	Выборочная проверка	То же
5	--	--	--	Сертификация	--	Контроль стабильности функционирования системы

7 Порядок обязательного подтверждения соответствия

Порядок подтверждения соответствия на примере наиболее сложной процедуры подтверждения соответствия в форме обязательной сертификации можно представить в виде этапов:

- подача заявки на сертификацию;
- оценка соответствия продукции (услуг), системы качества, персонала;
- анализ документов;
- принятие решения;
- оформление и выдача сертификата соответствия;
- оформление и выдача лицензии на применение знака обращения на рынке;
- инспекционный контроль.
- мероприятия по результатам инспекционного контроля.

Подача заявки на сертификацию – заявитель выбирает орган по сертификации и направляет заявку установленной формы. При отсутствии органа по сертификации заявитель может обратиться в территориальный орган Федеральной службы РФ по техническому регулированию и метрологии или иной орган исполнительной власти. Орган по сертификации в течение одного месяца сообщает заявителю своё решение, в котором указаны условия сертификации – схема, наименование испытательной лаборатории, перечень нормативных документов, на соответствие которым будет проведена сертификация.

Оценка соответствия – имеет особенности в зависимости от объекта (схемы) сертификации. Для продукции – аккредитованная испытательная лаборатория осуществляет отбор и идентификацию образцов изделий, проводит испытания, оформляет и передаёт протоколы результатов испытаний заявителю и в орган по сертификации. Если схема предусматривает проверку производства, системы качества комиссия органа по сертификации проводит эти мероприятия и оформляет их актами. Для услуг (работ) орган по сертификации проводит мероприятия, соответствующие принятой схеме.

Анализ документов – протоколы испытаний, акты оценки производства, системы качества, квалификации персонала и иные документы, представленные заявителем, подвергаются анализу, для подготовки решения о соответствии продукции (услуг) требованиям ТР.

Принятие решения – на основании анализа документов, подготовленных органом по сертификации, испытательной лабораторией и представленные заявителем, эксперт составляет заключение, орган по сертификации принимает решение о соответствии продукции (услуг) требованиям ТР.

Оформление и выдача сертификата соответствия, лицензии на применение знака обращения на рынке – если решение положительное, орган по сертификации оформляет и выдаёт сертификат соответствия, лицензию на применение знака обращения на рынке, регистрирует выданные документы в Государственном реестре. Если решение отрицательное, орган по сертификации выдаёт отказ с указанием причин. Форма сертификата соответствия, срок его действия определяются правилами системы сертификации.

В сертификате соответствия продукции указаны:

- регистрационный номер, срок действия сертификата (3…5 лет);
- наименование органа по сертификации, выдавшего сертификат;
- наименование продукции, код по ОКП;
- заявление о соответствии продукции предъявляемым требованиям;
- нормативные документы, на соответствие которым выдан сертификат;
- протоколы исследований, акты проверки производства и иные документы, на основании которых выдан сертификат соответствия;
- подписи эксперта, руководителя органа по сертификации.

Инспекционный контроль – проводит орган, выдавший сертификат соответствия, если инспекционный контроль предусмотрен схемой сертификации. Контроль проходит в виде плановых (один раз в год в течение срока действия сертификата) и внеплановых (при поступлении рекламаций, при внесении существенных изменений в конструкцию изделия) проверок. В инспекционную комиссию входят представители территориального органа Федеральной службы РФ по техническому регулированию и метрологии, обществ потребителей и других заинтересованных организаций. Инспекционный контроль включает анализ информации, полученной в ходе проверок.

По результатам инспекционного контроля эксперт органа по сертификации составляет акт и принимает решение:

- о продолжении действия сертификата соответствия;
- о приостановлении или отмене действия сертификата соответствия.

Отмена действия сертификата соответствия происходит при несоответствии продукции (услуги) требованиям ТР, при изменении нормативного документа на предмет сертификации.

Мероприятия по результатам инспекционного контроля - проводит изготовитель на основании предписания об устранении нарушений требований ТР, выданном органом государственного контроля (надзора).

Обязательное подтверждение соответствия продукции в форме декларирования соответствия, добровольная сертификация проходят по упрощенной процедуре. При добровольной сертификации систему добровольной, а при её отсутствии систему обязательной сертификации, схему сертификации выбирает заявитель. При положительном решении органа по подтверждению соответствия заявитель получает документы установленной формы - декларацию соответствия, сертификат соответствия. Указанные документы имеют одинаковую юридическую силу.

8 Организация деятельности органов по сертификации

Качество сертификации товаров и услуг определяет высокая компетентность и независимость органов по сертификации, а также способность удовлетворять запросы заявителей и других заинтересованных лиц.

Деятельность органа по сертификации должна быть:

- открытой в информационном обеспечении;
- доступной в организационном и финансовом отношениях;
- антидискриминационной по признакам формы собственности и страны нахождения изготовителя (поставщика).

В административную структуру органа по сертификации входят:

- исполнительный директор;
- координационный (управляющий) совет;
- наблюдательный совет;
- комиссия по сертификации;
- комиссия по оценке системы качества;
- апелляционная комиссия;
- испытательная лаборатория.

Исполнительный директор - руководит текущей работой органа по сертификации в области аккредитации.

Координационный (управляющий) совет - обеспечивает деятельность органа по сертификации. Основные функции координационного совета:

- формирование и контроль реализации политики, определяющей деятельность органа;
- контроль стоимости работ по сертификации;
- определение в необходимых случаях состава нештатных специалистов, привлекаемых на договорных условиях для выполнения работ по сертификации;
- организация взаимодействия с национальным органом по сертификации и другими организациями, занимающимися вопросами оценки соответствия.

В координационный совет входят представители всех заинтересованных структур - министерств, служб, агентств, профессиональных ассоциаций, банков, страховых компаний, промышленных предприятий, научных и учебных организаций.

Наблюдательный совет – осуществляет общий надзор за деятельностью органа по сертификации, состоит из представителей организации учредителя.

Комиссии по сертификации и оценке системы качества - изучают отчёты экспертов, проводивших оценку соответствия, и принимают решения о выдаче или отказе в выдаче сертификата соответствия (см. прил.1).

Апелляционная комиссия - рассматривает жалобы, поступившие от заявителей на действия и решения органа по сертификации. В комиссию входят специалисты в области сертификации, независимые юристы.

Испытательная лаборатория – проводит испытания и оформляет протоколы испытаний продукции (см. прил.2), может входить в состав органа по сертификации или быть самостоятельной организацией.

Аккредитацию органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) осуществляют в целях:

- подтверждения компетентности органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работу по подтверждению соответствия;
- обеспечения доверия изготовителей, продавцов и приобретателей к деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров);
- создания условий для признания результатов деятельности органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров).

Аккредитацию органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия, осуществляют на основе принципов:

- открытости и доступности правил аккредитации;
- компетентности и независимости органов, осуществляющих аккредитацию;
- недопустимости ограничения конкуренции и создания препятствий пользованию услугами органов по сертификации и аккредитованных испытательных лабораторий (центров);
- обеспечения равных условий лицам, претендующим на получение аккредитации;

- недопустимости совмещения полномочий на аккредитацию и подтверждение соответствия;

- недопустимости установления пределов действия документов об аккредитации на отдельных территориях.

Аккредитацию органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия, осуществляют в порядке, установленным Правительством РФ.

Испытания продукции в целях оценки соответствия осуществляют испытательные лаборатории. Испытательная лаборатория может быть самостоятельной организацией, частью органа по сертификации или другой организации. Основные требования, предъявляемые к испытательным лабораториям (центрам):

- обладание статусом юридического лица;

- обеспечение испытаний квалифицированным персоналом, оборудованием, методиками;

- исключение возможности оказания давления на сотрудников с целью фальсификации результатов испытаний;

- предоставление результатов испытаний в виде протоколов установленной формы;

- соблюдение мер секретности конфиденциальной информации и защиты прав собственности.

Сведения о товаре (надёжности, экономичности, технических параметрах) с целью сравнения аналогичных товаров различных производителей получают по результатам *сравнительных испытаний*, проводимых в аккредитованных испытательных лабораториях. Анализ результатов публикуют в специальных изданиях.

Полученные за пределами территории РФ документы о подтверждении соответствия, знаки соответствия, протоколы исследований (испытаний) и измерений продукции могут быть признаны в соответствии с международными договорами РФ. При отсутствии такого договора товары, ввозимые на территорию РФ, проходят процедуру подтверждения соответствия на общих основаниях.

Орган по сертификации и его должностное лицо, нарушившие правила выполнения работ по сертификации, если такое нарушение повлекло за собой выпуск в обращение продукции, не соответствующей требованиям ТР, несут ответственность в соответствии с законодательством РФ.

Аккредитованная испытательная лаборатория (центр), эксперты за предоставление недостоверных или необъективных результатов исследований (испытаний) измерений несут ответственность в соответствии с законодательством РФ.

Финансирование работ в области технического регулирования осуществляют за счёт бюджетных средств, которые идут на:

- проведение государственного контроля (надзора) за соблюдением требований ТР;

- создание и ведение Федерального информационного фонда ТР и стандартов;

- реализацию программы разработки ТР, национальных стандартов, а также проведение экспертиз проектов ТР и стандартов;

- разработку общероссийских классификаторов;

- уплату взносов в международные организации по стандартизации.

Средства в федеральный бюджет поступают в виде:

- средств, полученных от заявителей за проведение работ по оценке соответствия;

- штрафов, накладываемых органами государственного контроля (надзора) на юридических и физических лиц;

- средств, вырученных от распространения стандартов, каталогов, справочников.

Расширение международного общественного движения в защиту прав человека и возрастание конкурентной борьбы на товарном рынке привели к повышению внимания к социальной лояльности.

Социальная лояльность – степень выполнения фирмой требований конвенций Международной организации труда (МОТ) и ООН в отношении использования детского труда, принудительного труда, обеспечения безопасности и гигиены работ, рабочего времени и вознаграждения, соблюдения свободы ассоциации и прав заключения коллективных договоров.

Принят международный стандарт SA 8000, который базируется на Всеобщей декларации прав человека, Конвенции ООН о правах ребёнка, рекомендациях Международной организации труда (МОТ), стандартах ИСО. Производители товаров заинтересованы в проведении независимого аудита, сертификации по требованию SA 8000 с целью получения сертификата соответствия социальной лояльности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Восстановление в начале двадцать первого века национального промышленного потенциала Российской Федерации, рост поставок по импорту, расширение списка стран партнёров в международной торговле привели к лавинообразному увеличению объёма, расширению номенклатуры товаров и услуг, подлежащих обязательной оценке соответствия. По опыту мировой практики и данным Федерального агентства Российской Федерации и по техническому регулированию и метрологии объём потенциально опасной продукции, подлежащей обязательной сертификации, достигает 80…90% от общего объёма и имеет тенденцию роста.

Практика сертификации в РФ выявила ряд существенных недостатков:

- неэффективность организационных принципов сертификации;
- завышенную номенклатуру товаров и услуг, подлежащих обязательной сертификации;
- необоснованный выбор сложных схем сертификации;
- неравномерное территориальное размещение органов по сертификации и испытательных лабораторий;
- дефицит квалифицированных кадров.

Перечисленные факторы привели к неоправданным материальным, временным, финансовым и людским затратам на организацию и осуществление процедур обязательного подтверждения соответствия.

В начале двадцать первого века в Российской Федерации назрела необходимость совершенствования и оптимизации процедур подтверждения соответствия, увеличения доли товаров и услуг, для которых обязательная сертификация может быть заменена менее затратной формой подтверждения соответствия - декларированием соответствия.

Федеральный закон «О техническом регулировании» предоставил новые возможности по дальнейшему совершенствованию оценки соответствия товаров и услуг обязательным требованиям стандартов.

Дальнейшее совершенствование процедур оценки соответствия является необходимым и определяющим условием роста национального валового продукта, успешной интеграции экономики России в мировую экономическую систему, расширения международного экономического и научно-технического сотрудничества, роста объёма и совершенствования структуры международного товарообмена в интересах нашего государства.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Цели, принципы подтверждения соответствия.
2. Характер, формы подтверждения соответствия.
3. Добровольное подтверждение соответствия.
4. Обязательное подтверждение соответствия по форме декларирования.
5. Обязательное подтверждение соответствия по форме сертификации.
6. Участники системы сертификации.
7. Схемы сертификации продукции.
8. Схемы сертификации услуг.
9. Порядок обязательного подтверждения соответствия.
10. Организация деятельности органов по сертификации.
11. Цели, принципы аккредитации органов по сертификации.
12. Финансирование работ по сертификации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 711 с.

2. Сертификация. Сборник нормативных документов Российской Федерации. / Под ред. д.т.н., проф. Фомина В.Н., - М.: Ассоциация авторов и издателей «Тандем». Издательство «ЭКМОС». – 2000. - 144 с.

3. Никифоров А.Д., Бакиев Т.А. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. пособие. – М.: Высш. Школа, 2002. – 422 с. : ил.

4. Басаков М.И. Сертификации продукции и услуг с основами стандартизации и метрологии: Учебное пособие. Издание 2-е, испр. и доп. – Ростов на /Д: издательский центр «МарТ», 2002. – 256 с.

5. Федеральный закон «О техническом регулировании». – М.: Ось-89, 2003. – 48 с. (Актуальный закон).

6. Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Логос, 2004. – 560 с.: ил.

7. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация: Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Юрайт-Издат, 2004. – 335 с.

8. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. - 432 с.: ил.

9. Закон Российской Федерации «О защите прав потребителей». – М.: ИКЦ «МарТ», 2004. – 48 с.

10. Яблонский О.П., Иванова В.А. Основы стандартизации, метрологии, сертификации: Учебник. – Ростов на/Д: Феникс, 2004. – 448 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ФОРМА СЕРТИФИКАТА СООТВЕТСТВИЯ НА ПРОДУКЦИЮ

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ
№_____

Срок действия с _____по _____

Орган по сертификации _____
_____
_____

удостоверяет, что должным образом идентифицированная заявителем продукция_____
_____
_____

код К-ОКП

изготовитель (продавец)_____
_____
_____

код ТН ВЭД

соответствует требованиям нормативных документов_____
_____
_____

сертификат выдан на основании_____
_____
_____

дополнительная информация_____
_____
_____

Руководитель органа _____ _____
М.П. подпись инициалы, фамилия
Эксперт _____ _____
подпись инициалы, фамилия

Сертификат имеет юридическую силу на всей территории Российской Федерации

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ФОРМА ПРОТОКОЛА ИСПЫТАНИЙ

Испытательная лаборатория _____
Регистрационный номер РОСС RU_____
Юридический адрес_____

Регистрационный номер пробы (образца)_____

ПРОТОКОЛ
испытаний проб (образцов)
от_____ 200 __ г.

ЗАЯВИТЕЛЬ_____
_____

Наименование пробы (образца)_____
Дата выработки_____
Изготовитель_____
Величина партии_____
Дата получения образца_____
Дата и место отбора проб_____
Дата проведения испытаний_____
Дополнительная информация_____
_____

Проба (образец) испытана на соответствие_____
_____

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

№ п/п	Наименование показателей	Результат испытаний	Нормируемые показатели	НД на методы испытаний
1. 2. 3.				

Испытание провели:

_____ _____
подпись (Ф. И. О.)

_____ _____
подпись (Ф. И. О.)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

ТИПЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Автор: Глушкова Т.А., к.т.н.

Одобрен на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 12 от 05.03. 2020
(Дата)

Рассмотрен методической комиссией факультета
_____
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 20.03. 2020
(Дата)

Екатеринбург
2020

Типы распределений

Различают дискретные и непрерывные вероятностные распределения. **Дискретное** распределение характеризуется тем, что оно сосредоточено в конечном или счетном числе точек. **Непрерывное** распределение "размазано" по некоторому вещественному интервалу.

Характеристики распределений

Вероятностное распределение может быть описано несколькими эквивалентными способами. Здесь приведены лишь некоторые из них.

- **Функция распределения**. Определена для любого вещественного распределения. Для случайной величины *X* ее функцией распределения называется
$$F_X(z) = \mathbf{P}(X \le z), \quad -\infty < z < \infty.$$
- **Плотность распределения**. Определена для непрерывных распределений. Представляет собой производную от функции распределения:
$$f_X(z) = F_X'(z), \quad -\infty < z < \infty.$$
- **Функция вероятности**. Альтернативный способ описания дискретных распределений. Если распределение случайной величины *X* сосредоточено в конечном или счетном числе точек x_1, x_2,..., x_n,... то его можно описать вероятностями принятия случайной величиной *X* соответствующих значений:

Значение	x_1	x_2	...	x_n	...
Вероятность	p_1	p_2	...	p_n	...

- Здесь $p_k = f(x_k) = P(X = x_k)$, $k=1,2,...,n,...$

Параметры распределений

Опишем некоторые параметры распределения.

- **Математическое ожидание (среднее значение) E***X* случайной величины *X*. Представляет собой интеграл вида
$$\mathbf{E}X = \int_{-\infty}^{\infty} z dF_X(z).$$
Для непрерывной случайной величины может быть выражено также через плотность ее распределения
$$\mathbf{E}X = \int_{-\infty}^{\infty} z f_X(z) dz,$$
а для дискретной случайной величины - через функцию вероятности:
$$\mathbf{E}X = \sum_k x_k p_k.$$
- **Дисперсия (рассеяние)** случайной величины *X* имеет вид
$$\mathbf{D}X = \mathbf{E}(X - \mathbf{E}X)^2.$$
В классических методах теории риска дисперсия часто использовалась в качестве меры риска, измерителя рискованности проектов.
- **Стандартное отклонение** случайной величины *X* задается выражением
$$\sigma(X) = \sqrt{\mathbf{D}X}.$$
- **Асимметрия** распределения случайной величины *X*:
$$\gamma(X) = \frac{\mathbf{E}(X - \mathbf{E}X)^3}{\sigma^3(X)},$$
характеризует различие "хвостов" распределения; асимметрия положительна при более тяжелом правом хвосте, и отрицательна при более тяжелом левом хвосте. Для симметричных распределений асимметрия равна 0.
- **Островершинность** распределения случайной величины *X*:
$$\varepsilon(X) = \frac{\mathbf{E}(X - \mathbf{E}X)^4}{\sigma^4(X)} - 3,$$
характеризует тяжесть "хвостов" распределения; положительные значения этого параметра соответствуют распределениям с более тяжелыми хвостами, чем у нормального распределения.

- **Медианой** $a = med(X)$ распределения случайной величины X называется корень уравнения

$$F_X(a) = \frac{1}{2}.$$

Медиана является средней характеристикой распределения в том смысле, что X с равными вероятностями принимает значения, лежащие справа и слева от a. Преимуществом медианы перед математическим ожиданием является тот факт, что математическое ожидание может быть неопределенным, если задающий его интеграл (в дискретном случае - ряд) расходится, как, например, в случае распределения Коши. Недостатком медианы является ее возможная неоднозначность для дискретных распределений. Медиана симметричного распределения совпадает с его средним значением (если последнее существует).

- **Модой** распределения называется наиболее вероятное значение случайной величины: в непрерывном случае - точка максимума плотности распределения, в дискретном случае - точка максимума функции вероятности. Мода распределения может быть неоднозначной, и использование этого параметра в теории риска ограничено.

Другие характеристики распределений

Вероятностное распределение может быть описано и другими характеристиками. Среди них:

- **Характеристическая функция**. Определена для произвольных распределений.

$$\varphi_X(z) = E\exp(izX) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(izx)dF_X(x), \quad -\infty < z < \infty.$$

Здесь i - мнимая единица. Для непрерывного распределения характеристическую функцию можно также выразить через плотность распределения:

$$\varphi_X(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(izx) f_X(x)dx, \quad -\infty < z < \infty,$$

а для дискретного распределения - через функцию вероятности

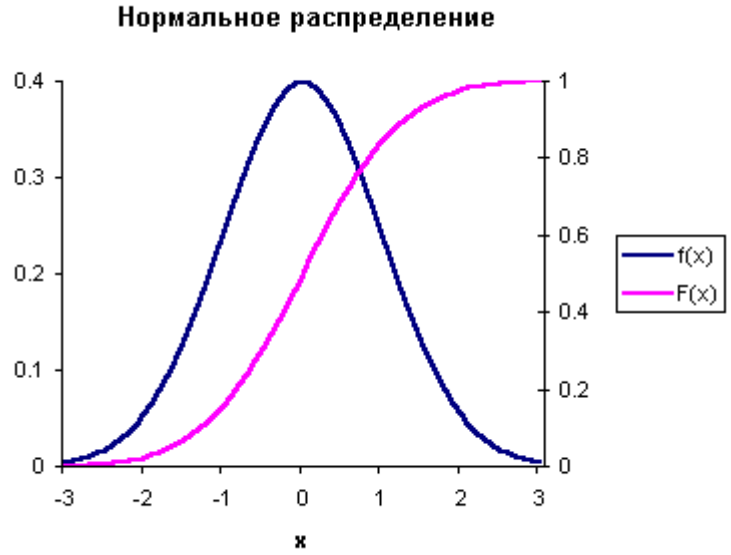
$$\varphi_X(z) = \sum_k \exp(izx_k) p_k, \quad -\infty < z < \infty.$$

Нормальное распределение

Описание

Нормальным называется вещественное непрерывное распределение с плотностью распределения $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$, где μ и σ>0 - параметры распределения. **Стандартным** называется нормальное распределение с параметрами μ = 0 и σ = 1.

На следующем рисунке показаны графики плотности распределения (привязан к левой оси ординат) и функции распределения (привязан к правой оси ординат) с параметрами μ = 0, σ = 1.



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик нормального распределения.

Плотность распределения	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
Функция распределения*	$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(t)dt$
Математическое ожидание	μ
Стандартное отклонение	σ
Дисперсия	σ^2
Асимметрия	0
Островершинность	0
Медиана	μ
Мода	μ
Характеристическая функция	$\varphi(z) = \exp(iz\mu - z^2\sigma^2/2)$

* Функция нормального распределения через элементарные функции не выражается.

Моделирование

Простейший метод воспроизведения значений случайной величины с заданным нормальным распределением для использования в методах Монте Карло состоит из следующих шагов:

Получить 12 независимых значений U_1, ..., U_{12} случайной величины с равномерным распределением на отрезке [0,1].

Вычислить $N = (U_1 + ... + U_{12} - 6)$. Величина N хорошо приближает величину со стандартным нормальным распределением (с параметрами $\mu = 0$, $\sigma = 1$). Преобразованная величина $\sigma N + \mu$ дает желаемый результат.

Распределение Стьюдента

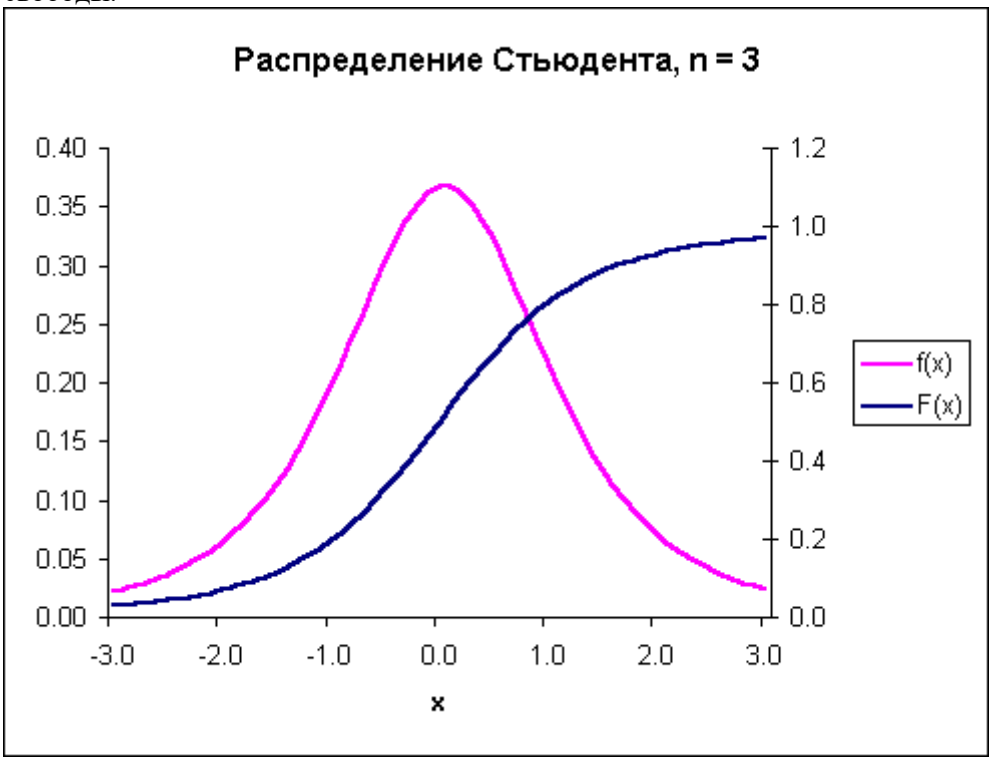
Описание

Распределением Стьюдента с n степенями свободы называется распределение случайной величины

$$t = \xi_0 / ((\xi_1^2 + ... + \xi_n^2)/n)^{1/2}, \quad (1)$$

где ξ_0, ξ_1, ... ξ_n - независимые стандартные нормальные случайные величины. Это распределение непрерывно, его плотность и значения параметров приведены ниже в таблице.

На следующем рисунке показаны графики плотности распределения (привязан к левой оси ординат) и функции распределения (привязан к правой оси ординат) Стьюдента с тремя степенями свободы.



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик распределения Стьюдента.

Плотность распределения	$f(x) = \frac{\Gamma((n+1)/2)}{\sqrt{\pi n}\Gamma(n/2)}\left(1+\frac{x^2}{n}\right)^{-(n+1)/2}$
Математическое ожидание	0, (n > 1)
Стандартное отклонение	$(n/(n-2))^{1/2}$, (n > 2)
Дисперсия	n/(n-2), (n > 2)
Асимметрия	0, (n > 3)
Медиана	0
Мода	0

Моделирование

Воспроизведение значений случайной величины с распределением Стьюдента с n степенями свободы производится по формуле (1).

Таблица функций распределения Стьюдента

Функции распределения Стьюдента

В следующей таблице приведены значения функции распределения Стьюдента $F_n(x)$ с n степенями

свободы для некоторых значений аргумента x в диапазоне от 0 до 20. В заголовках строк указано значение аргумента x, а в заголовках столбцов - количество степеней свободы n. Так, например, $F_5(0.9) = 0.795$.

Для отрицательных x можно вычислить значение функции по формуле $F_n(x) = 1 - F_n(-x)$. Например, $F_{10}(-1.2) = 1 - F_{10}(1.2) = 1 - 0.871 = 0.129$.

x	1	2	5	10	20	50
0	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
0.1	0.532	0.535	0.538	0.539	0.539	0.540
0.2	0.563	0.570	0.575	0.577	0.578	0.579
0.3	0.593	0.604	0.612	0.615	0.616	0.617
0.4	0.621	0.636	0.647	0.651	0.653	0.655
0.5	0.648	0.667	0.681	0.686	0.689	0.690
0.6	0.672	0.695	0.713	0.719	0.722	0.724
0.7	0.694	0.722	0.742	0.750	0.754	0.756
0.8	0.715	0.746	0.770	0.779	0.783	0.786
0.9	0.733	0.768	0.795	0.805	0.811	0.814
1	0.750	0.789	0.818	0.830	0.835	0.839
1.2	0.779	0.823	0.858	0.871	0.878	0.882
1.4	0.803	0.852	0.890	0.904	0.912	0.916
1.6	0.822	0.875	0.915	0.930	0.937	0.942
1.8	0.839	0.893	0.934	0.949	0.957	0.961
2	0.852	0.908	0.949	0.963	0.970	0.975
2.5	0.879	0.935	0.973	0.984	0.989	0.992
3	0.898	0.952	0.985	0.993	0.996	0.998
3.5	0.911	0.964	0.991	0.997	0.999	1.000
4	0.922	0.971	0.995	0.999	1.000	1.000
4.5	0.930	0.977	0.997	0.999	1.000	1.000
5	0.937	0.981	0.998	1.000	1.000	1.000
6	0.947	0.987	0.999	1.000	1.000	1.000
7	0.955	0.990	1.000	1.000	1.000	1.000
8	0.960	0.992	1.000	1.000	1.000	1.000
9	0.965	0.994	1.000	1.000	1.000	1.000
10	0.968	0.995	1.000	1.000	1.000	1.000
12	0.974	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000
14	0.977	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000
16	0.980	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000
18	0.982	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000
20	0.984	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000

Таблица функции нормального распределения

Функция стандартного нормального распределения

В следующей таблице приведены значения функции стандартного нормального распределения Φ(.) для значений аргумента в интервале от 0 до 4 с шагом 0.01. Каждый элемент матрицы представляет значение функции Φ в точке x, равной сумме заголовков строки и столбца. Например, для нахождения значения Φ в точке 0.26, достаточно взять число из строки 0.2 и столбца 0.06, то есть, Φ(0.26) = 0.6026. Аналогично, Φ(2.31) = Φ(2.3 + 0.01) = 0.9896.

Для отрицательных x можно вычислить значение функции по формуле Φ(x) = 1 - Φ(-x). Например, Φ(-1.67) = 1 - Φ(1.67) = 1 - 0.9525 = 0.0475.

Значения функции нормального распределения $\Phi_{\mu,\sigma}$ с параметрами μ, σ вычисляются по формуле $\Phi_{\mu,\sigma}(x) = \Phi((x - \mu) / \sigma)$.

	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997

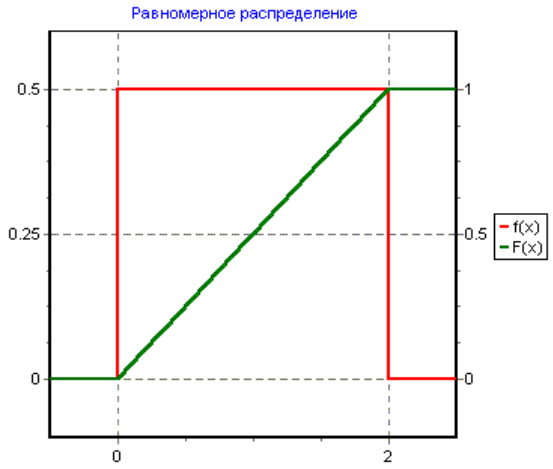
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Равномерное распределение

Описание

Говорят, что случайная величина X имеет **равномерное** распределение на отрезке [a,b], если она непрерывна, принимает значения только на отрезке [a,b], а плотность ее распределения постоянна на отрезке [a,b], и равна 0 вне этого отрезка.

На следующем рисунке показаны графики плотности (привязан к левой вертикальной оси ординат) и функции (привязан к правой оси ординат) равномерного распределения на отрезке [0,2].



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик равномерного распределения.

Плотность распределения	$f(x) = \begin{cases} (b-a)^{-1}, x \in [a,b] \\ 0, x \notin [a,b] \end{cases}$
Функция распределения	$F(x) = \begin{cases} 0, x < a \\ (x-a)/(b-a), x \in [a,b] \\ 1, x > b \end{cases}$
Математическое ожидание	(a + b) / 2
Стандартное отклонение	(b - a) / $2\sqrt{3}$
Дисперсия	(b - a)^2 / 12
Асимметрия	0
Островершинность	-6/5

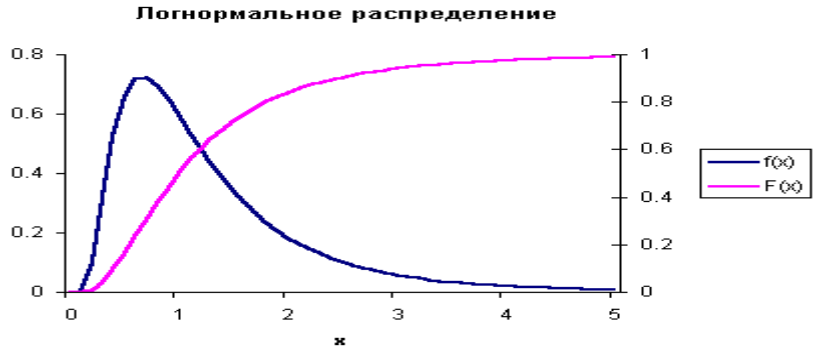
Моделирование

Моделирование значений случайной величины *U* с равномерным распределением на отрезке [0,1] доступно в большинстве современных систем программирования. Например, в языке VBA эту роль выполняет функция Rnd(), а в языках Паскаль и Дельфи - функция random.

Логнормальное распределение

Описание

Говорят, что случайная величина *X* имеет **логнормальное** распределение с параметрами μ, σ, если *X = exp(Y)*, где *Y* имеет нормальное распределение с параметрами μ, σ. Случайная величина с логнормальным распределением является непрерывной, и принимает только положительные значения. Графики плотности (привязан к левой вертикальной оси ординат) и функции (привязан к правой оси ординат) логнормального распределения с параметрами μ = 0, σ = 0.7 приведен на следующем рисунке.



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик логнормального распределения.

Плотность распределения	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}x\sigma}\exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
Функция распределения*	$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(t)dt$
Математическое ожидание	$\exp\left(\mu + \frac{1}{2}\sigma^2\right)$
Стандартное отклонение	$\exp\left(\mu + \frac{1}{2}\sigma^2\right)\sqrt{(\exp(\sigma^2)-1)}$
Дисперсия	$\exp(2\mu + \sigma^2)(\exp(\sigma^2)-1)$
Асимметрия	$(\exp(\sigma^2)+2)\sqrt{(\exp(\sigma^2)-1)}$
Мода	$\exp(\mu - \sigma^2)$

* Функция логнормального распределения F через элементарные функции не выражается. Для приближенного вычисления функции этого распределения с параметрами μ, σ можно воспользоваться формулой $F(x) = \Phi_{\mu,\sigma}(\ln x)$, где $\Phi_{\mu,\sigma}$ - функция нормального распределения с параметрами μ, σ, способ вычисления которой описан здесь.

Моделирование

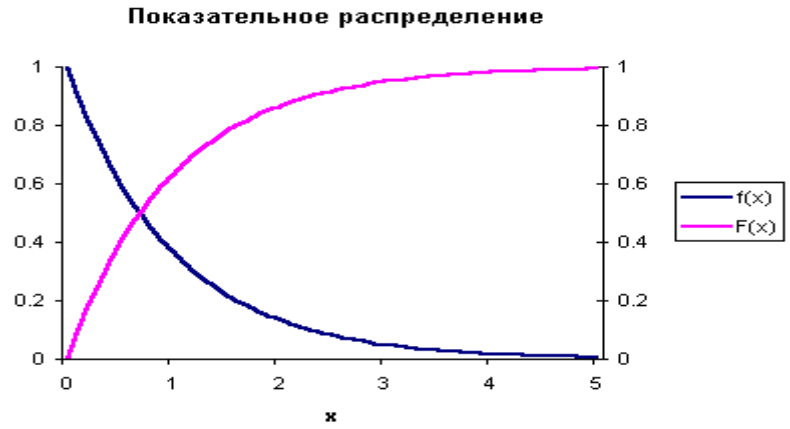
Моделирование значений случайной величины с логнормальным распределением (с параметрами μ, σ) проводится по формуле *X = exp(Y)*, где *Y* имеет нормальное распределение с теми же параметрами. Моделирование нормальных величин описано здесь.

Показательное распределение

Описание

Говорят, что случайная величина X имеет **показательное** распределение с параметром $\lambda > 0$, если она непрерывна, принимает только положительные значения, и имеет плотность распределения $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$ при $0 < x < \infty$.

На следующем рисунке показаны графики плотности (привязан к левой вертикальной оси ординат) и функции (привязан к правой оси ординат) показательного распределения с параметром $\lambda = 1$.



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик показательного распределения.

Плотность распределения	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$
Функция распределения	$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$
Математическое ожидание	$1 / \lambda$
Стандартное отклонение	$1 / \lambda$
Дисперсия	$1 / \lambda^2$
Асимметрия	2
Островершинность	6
Медиана	$\ln(2) / \lambda$
Мода	0

Моделирование

Моделирование значений случайной величины с показательным распределением (с параметром λ) проводится по формуле $-(\ln U) / \lambda$, где U имеет равномерное распределение на отрезке [0,1]. Моделирование равномерных случайных величин описано здесь.

Гамма распределение

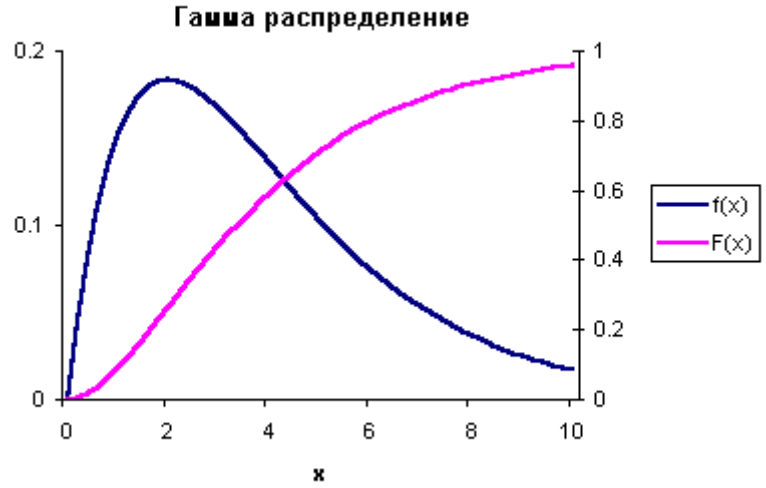
Описание

Говорят, что случайная величина *X* имеет **гамма** распределение с параметрами α > 0, β > 0, если она непрерывна, принимает только положительные значения, и имеет плотность распределения

$$f(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$$

.

На следующем рисунке показаны графики плотности (привязан к левой вертикальной оси ординат) и функции (привязан к правой оси ординат) гамма распределения с параметрами α = 2, β = 2.



Характеристики

В следующей таблице приведены формулы для вычисления характеристик гамма распределения.

Плотность распределения	$f(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$
Функция распределения*	$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(t)dt$
Математическое ожидание	αβ
Стандартное отклонение	$\sqrt{\alpha}\beta$
Дисперсия	$\alpha\beta^2$
Асимметрия	$2/\sqrt{\alpha}$

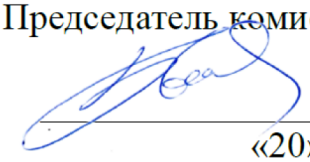
* Функция гамма распределения через элементарные функции не выражается.

Моделирование

Моделирование значений случайной величины с гамма распределением (с параметрами α, β) при целых значениях α > 0 проводится по формуле $\sum_{k=1}^{\alpha} P_k$, где $P_k, k = 1,\ldots,\alpha$ - независимые реализации показательных случайных величин с параметром 1/β.

МИНОБРНАУКИ РФ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Учебно-методическое пособие
по дисциплине для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки

Издание УГГУ Екатеринбург, 2020

Суставов О. А. Минералогия и петрография. Учебно-методическое пособие по дисциплине для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург: Изд-во УГГУ

В пособии даются сведения о морфологии, химическом составе и свойствам наиболее распространенных минералов, рассматриваются главные магматические, осадочные и метаморфические горные породы. В связи с нефтегазовым профилем специализаций НФ, ГИС, ГИН, РФ, ТТР особое внимание уделено осадочным породам и условиям их образования. Излагаются данные, необходимые для макроскопической диагностики наиболее распространенных минералов и горных пород. Приводится рекомендуемая литература, контрольные задания и контрольные вопросы по рассматриваемой дисциплине. Пособие может быть использовано при проведении аудиторных лабораторных занятий и для самостоятельной работы студентов.

Рецензент – Е. В. Коророва, ст. преподаватель кафедры литологии и геологии горючих ископаемых УГГУ

© Суставов О. А.
© Уральский государственный горный университет

ОГЛАВЛЕНИЕ

МИНЕРАЛОГИЯ 4

КРИСТАЛЛЫ МИНЕРАЛОВ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ 4
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛОВ 6
СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ 6
СИСТЕМАТИКА МИНЕРАЛОВ 12
Простые вещества 12
Сернистые соединения 13
Оксиды и гидроксиды 13
Галоиды 13
Соли кислородных кислот 13
Силикаты 13
НЕКОТОРЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ МИНЕРАЛОВ . 15
Литература 211
Контрольные задания 21
Контрольные вопросы ..... **Ошибка! Закладка не определена.**2

ПЕТРОГРАФИЯ 23

1. МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ 244
Плутонические (интрузивные) породы 288
Вулканические (эффузивные) породы 29
Плотность магматических пород 32
Литература 33
Контрольные вопросы 33
2. ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ 344
Стадии образования осадочных пород 344
Обломочные породы 39
Глинистые породы 422
Хемогенные и биогенные породы 455
Осадочные фации и формации 49
Словарь 53
Литература 54
Контрольные вопросы 54
3. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ 55
Регионально-метаморфические породы 55
Метасоматические породы 59
Литература 60
Контрольные вопросы 60

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 62

МИНЕРАЛОГИЯ

Минералогия занимается изучением свойств, состава и условий образования минералов. Минерал – химический элемент или химическое соединение, обычно кристаллическое, которое образуется в результате геологических процессов. Именно из минералов состоят объекты исследования геологов и геофизиков. Это одна из старейших и главных наук гелогического цикла. Она тесно связана с кристаллографией, физикой и химией. Из них минералогия черпает основные представления о внутреннем атомарном строении минералов, о законах роста и огранения кристалов, о химических реакциях, возможных при образовании минералов.

КРИСТАЛЛЫ МИНЕРАЛОВ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ

Кристаллы – твердые тела, обладающие упорядоченной атомной структурой и имеющие вследствие этого при определенных условиях форму многогранников.

Признаки кристаллического вещества

Однородность – в любых участках кристаллического вещества все его свойства тождественны.

Анизотропия – зависимость свойств от направления. В кристаллах свойства неодинаковы в непараллельных направлениях (и одинаковы по параллельным направлениям). Например, твердость одной и той же грани в разных направлениях различна. В некоторых случаях это различие можно заметить, царапая в разных направлениях грань кристалла (дистен). Кроме того, неодинакова и твердость разных граней и срезов одного и того же кристалла.

Симметрия – закономерная повторяемость в расположении отдельных частей кристалла на плоскости или в пространстве.

Образование кристаллов

Кристаллы минералов могут возникать в газовой, жидкой и твердой среде.

Жидкие среды минералообразования: *магма* – высокотемпературный раствор-расплав, *водные растворы* – гидротермальные и поверхностные (грунтовые, карстовые, почвенные, озерные, морские воды).

Кристаллы зарождаются и начинают расти при достижении критического пересыщения среды веществом будущих кристаллов. Это часто происходит в результате падения температуры (кристаллизация магматических расплавов) или за счет испарения растворителя (при испарении рассолов в озерах и лагунах кристаллизуются галит, сильвин, гипс, ангидрит). Примером

кристаллизации в твердой среде является рост ограненных кристаллов пирита и других минералов внутри горных пород.

После своего возникновенияния кристаллы минералов в ходе геологической истории могут подвергаться различным преобразованиям, в том числе:

механическим деформациям (хрупким – дроблению с образованием обломков кристаллов, или пластическим – например, сплющиванию, изгибанию и т. п.);

химическим изменениям – например, на месте пирита FeS_2 при выветривании может возникать лимонит $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$;

радиогенным изменениям – например, кварц под действием радиоактивного облучения нередко приобретает дымчатую окраску.

Облик кристаллов

Облик – общий вид кристалла минерала; характеризует развитие кристалла (ограненного или неограненного) по трем взаимно перпендикулярным направлениям:

1) изометрический - примерно одинаковые размеры по трем взаимно перпендикулярным направлениям (кристаллы пирита, граната);

2*)* вытянутый по двум направлениям - таблитчатый, пластинчатый, чешуйчатый (кристаллы слюды);

3) вытянутый в одном направлении - столбчатый, призматический, игольчатый, волокнистый, шестоватый (кристаллы актинолита, турмалина).

Строение минеральных агрегатов

Минералы чаще встречаются не отдельными кристаллами, а образуют различные скопления, называемые минеральными агрегатами.

По величине зерен агрегаты подразделяются на ***плотные*** (зерна на глаз неразличимы), ***мелкозернистые*** (зерна менее 1 мм, но различимы на глаз), ***среднезернистые*** (1-5 мм), ***крупнозернистые*** (5-20 мм), ***гигантозернистые*** (зерна крупнее 20 мм в поперечнике).

По форме выделяют ***чешуйчатые, игольчатые, шестоватые, волокнистые*** агрегаты. Шестоватые агрегаты состоят из вытянутых кристаллов, расположенных параллельно или почти параллельно друг другу.

Кроме того, выделяют:

друзы - совокупности кристаллов, прикрепленных к общему основанию;

конкреции - образования округлой формы, иногда радиально-лучистого строения, рост которых происходил от центра к периферии;

жеоды (например, жеода лимонита у входа в ИГГ);

натечные агрегаты - образуются за счет обволакивания стенок пустот минеральным веществом с образованием гроздьевидных, сталактитовых, почковидных форм.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛОВ

Минералы не являются химически чистыми веществами. В них всегда входят различные структурные химические примеси. В некоторых минералах количество таких примесей незначительно – их называют минералами постояного состава (например, кварц, пирит, галит), тогда как в большинстве минералов содержание примесей достаточно высокое и непостоянное – это минералы переменного состава.

Изоморфизм – способность химических элементов (атомов, ионов) замещать друг друга в минералах.

Изовалентный изоморфизм – взаимное замещение ионов одинаковой валентности.

Например, в кристаллической структуре оливина $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$ ионы Mg^{2+} могут замещаться на ионы Fe^{2+}. Здесь замещение Mg^{2+} на Fe^{2+} происходит в любых количественных соотношениях – *совершенный,* или *неограниченный* изоморфизм. Минерал оливин можно представить как *изоморфную смесь* $Mg_2[SiO_4]$ и $Fe_2[SiO_4]$.

При *ограниченном* изоморфизме (например, в рубине – разновидности корунда Al_2O_3, в которой 0,05 % ионов Al^{3+} замещено на Cr^{3+}) замещающий элемент (в данном случае Cr) называется *изоморфной примесью*.

От вхождения изоморфных примесей зависят свойства минералов: например, чистый сфалерит ZnS прозрачен и бесцветен, а при частичном замещении Zn^{2+} на Fe^{2+} минерал приобретает бурый цвет. В сфалерите могут быть различные изоморфные примеси, в том числе, например, нередко имеется изоморфная примесь индия. Поэтому при обнаружении сфалеритовых руд их нужно опробовать на индий, который из этих руд в основном и добывается.

Гетеровалентный изоморфизм – взаимное замещение ионов разной валентности. Осуществляется с сохранением электронейтральности (сумма зарядов замещаемых ионов должна быть равна сумме зарядов замещающих ионов). Например, в плагиоклазах имеет место совершенный гетеровалентный изоморфизм с замещением $Na^{1+}+Si^{4+}$ на $Ca^{2+}+Al^{3+}$. В связи с этим плагиоклазы представляют собой изоморфные смеси альбита $Na[AlSi_3O_8]$ и анортита $Ca[Al_2Si_2O_8]$.

Аметист – разновидность кварца SiO_2, в котором доли процента атомов Si^{4+} замещены на $Fe^{3+}+K^{1+}$ (несовершенный гетеровалентный изоморфизм).

СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

Плотность

Чем больше атомные веса химических элементов, слагающих минерал, тем обычно больше плотность минерала - тяжелые минералы состоят из элементов, располагающихся в нижней части таблицы Д. И. Менделеева.

Грубая оценка плотности состоит в отнесении минерала к одной из категорий - легких (плотность менее 2,5 г/см^3), средних (2,5-4 г/см^3) или тяжелых (более 4 г/см^3). Такое определение требует навыка и производится прикидкой на руке тяжести данного минерала по сравнению с каким-либо известным. Для этого нужно, чтобы образец был достаточно крупным и состоял в значительной своей части из испытуемого минерала.

Определение плотности крупных образцов минералов может проводиться методом гидростатического взвешивания. При этом образец подвешивается к коромыслу весов на тонкой нити и производится определение массы образца на воздухе и в воде (образец на нити опускается в емкость с водой). Величина плотности минерала вычисляется как отношение массы образца на воздухе к разности масс на воздухе и в воде.

Минералы переменного состава имеют непостоянную плотность. Например, плотность плагиоклазов изменяется от 2,61 (альбит $Na[AlSi_3O_8]$) до 2,77 г/см^3 (анортит $Ca[Al_2Si_2O_8]$). Возрастание плотности происходит строго пропорционально увеличению количества анортитового компонента в плагиоклазе.

Входящие в состав минералов анионы (OH, F) и молекулы воды понижают плотность минералов.

Минералы одинакового состава с разной степенью компактности кристаллической структуры имеют разную плотность: например, алмаз - 3,5, графит - 2,2 г/см^3.

Спайность

Спайность - способность минералов раскалываться по определенным кристаллографическим направлениям с образованием плоских зеркальных поверхностей (плоскостей спайности - рис. 1, 2).

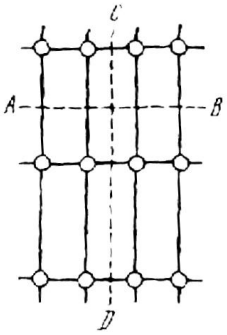


Рис. 1. Спайность по *AB* проявлена в кристаллической решетке сильнее, чем по *CD* (по А. Г. Булаху)

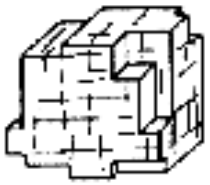


Рис. 2. Спайность по кубу у галенита (по А. Г. Булаху)

Выделяют следующие виды спайности:

весьма совершенная - кристалл легко расщепляется на тонкие гладкие листочки, его трудно разделить в другом направлении (слюды, тальк);

совершенная - поверхности менее гладкие, образуются при большом механическом усилии (раскалывании); наряду со спайными поверхностями может наблюдаться излом (ортоклаз, кальцит);

несовершенная - поверхности спайности отсутствуют или обнаруживаются с трудом (кварц, нефелин).

От естественных граней кристаллов плоскости спайности отличаются тем, что естественную грань можно отбить и она не повторится, а плоскости спайности можно получать многократно - раскалывая кристалл, пока позволяют его размеры. Плоскости спайности более гладкие и совершенные, чем естественные грани (последние могут иметь штриховку, следы растворения и т. д.).

Спайность может быть проявлена по одному (слюда, гипс), двум (ортоклаз, амфиболы, пироксены), трем (галит, галенит, кальцит) и большему числу направлений.

Твердость

Твердость определяется в единицах шкалы Мóоса (1822):

1. Тальк	***6. Ортоклаз***
2. Гипс	***7. Кварц***
3. Кальцит	***8. Топаз***
4. Флюорит	***9. Корунд***
5. Апатит	***10. Алмаз***

В дополнение к минералам шкалы Мооса при определении твердости можно использовать ноготь, твердость которого немного выше 2, и стекло - 5,5. Минералы с твердостью 1 пишут по бумаге, не царапая ее.

Твердость определяется методом царапания: более твердый минерал оставляет царапину на более мягком (отличать царапину от порошковатого следа, который дает менее твердый минерал на более твердом - в отличие от царапины такой след легко стереть).

Сначала образец минерала царапают стеклом и устанавливают его примерную твердость. Затем берется эталонный минерал из шкалы Мооса, имеющий твердость, близкую к предполагаемой. При равенстве твердости минерала и эталона они оставляют царапины друг на друге. Если минерал на одном из соседних эталонов оставляет царапину, а на другом нет, то твердость минерала считается по менее твердому эталону с добавлением 0,5 (например, если минералом можно царапать гипс и нельзя кальцит, то его твердость 2,5).

При некотором навыке твердость можно определять с помощью только стекла - сопоставляя глубину царапины и прилагаемую силу.

Хрупкость, ковкость

Хрупким называется минерал, который крошится при проведении царапины на его поверхности. Под ковкостью понимается притупление острых

краев минерала при ударе молотком. При царапании ковкого минерала на его поверхности получается гладкий блестящий след. Наиболее ярко ковкость проявлена у самородных металлов, например, у золота, зерна которого на наковальне расплющиваются молотком в тонкие пластинки.

Магнитные свойства

Магнитные свойства минералов пределяются магнитными свойствами атомов и магнитной структурой минералов (расположением и взаимодействием атомов). Особенно четко магнитность, т. е. способность намагничиваться в магнитном поле, проявлена у ионов Fe^{3+}, Mn^{2+}, Fe^{2+} и некоторых других.

Диамагнитные минералы обладают незначительной отрицательной магнитной восприимчивостью, слегка отталкиваются магнитом (кальцит, галит).

Парамагнитные минералы характеризуются положительной магнитной восприимчивостью, притягиваются мощными электромагнитами (биотит, пироксены и другие минералы, особенно железосодержащие).

Ферромагнитные минералы имеют наиболее высокую магнитную восприимчивость (на несколько порядков выше, чем у парамагнитных минералов) и в мелких обломках притягиваются подковообразным магнитом (магнетит $FeO{\cdot}Fe_2O_3$, пирротин FeS, слабее ильменит $FeTiO_3$, гематит Fe_2O_3). Магнетит в древности использовался в необработанном виде как компас.

При испытании на магнитность кусочек испытуемого минерала измельчают ударом молотка, после чего к полученному порошку подводят магнит. О магнитности судят по тому, притягиваются или не притягиваются зерна минерала к магниту. Обычным подковообразным магнитом притягиваются зерна наиболее сильно магнитных минералов - магнетита, пирротина. Кроме того, образцы этих минералов отклоняют стрелку поднесенного к ним компаса.

Электрические свойства

Электропроводность минералов изменяется в широких пределах – от лучших проводников (серебро) до лучших изоляторов (мусковит). Удельное электрическое сопротивление зависит от направления в кристалле (например, у кварца в одном направлении $2{\cdot}10^{14}$, а в другом – $2{\cdot}10^{16}$ ом/см) и от наличия примесей (например, в связи с этим светлоокрашенный касситерит не проводит электричества, а темный – проводит).

Деление минералов по электропроводности:

проводники – минералы с металлической связью, например, самородная медь, самородное железо;

полупроводники – некоторые сульфиды и оксиды, преимущественно с ковалентной химической связью; в некоторых полупроводниках повышение температуры на 100º увеличивает электропроводность до 50 раз;

диэлектрики – большинство минералов (например, кварц, полевые шпаты и др.), в том числе минералы с ионной химической связью.

Пьезоэлектрический эффект – электризация кристалла при сжатии или растяжении (кварц). У кварца сжатие кристалла в определенном направлении приводит к смещению ионов Si^{4+} и O^{2-} с появлением разноименных зарядов на поверхности, перпендикулярной направлению сжатия (рис. 3).

Имеется и обратный пьезоэлектрический эффект – кристалл, помещенный в электрическое поле, сжимается или растягивается (в переменном электрическом поле – вибрирует). Наличие пьезоэлектрического эффекта и почти совершенная упругость кварца (кристалл кварца может совершать до 10^5 колебаний в секунду) позволяют использовать этот минерал для стабилизации частот в радиоаппаратуре (пьезокварц). При этом природный кварц используется в наиболее ответственных радиотехнических устройствах, а в рядовых случаях применяются имеющие несколько более низкое качество кристаллы синтетического кварца (ежегодно в мире для этой цели выращивается более 1000 т кристалов искусственного кварца).

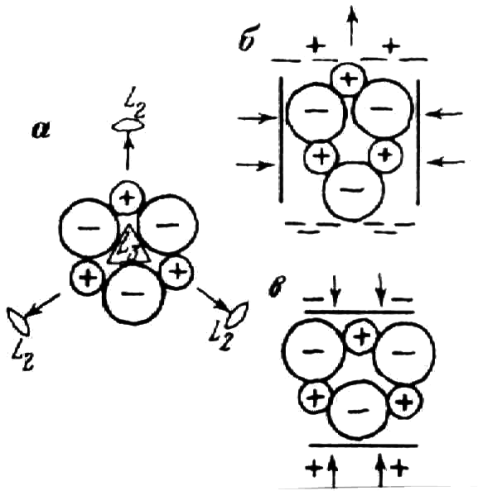


Рис. 3. Схема структуры кварца (*а*) и возникновение пьезоэлектрического эффекта (*б, в*); по А. Г. Булаху

Блеск

Термин "блеск" относится к виду поверхности минерала в отраженном свете. Выделяют два главных различимых на глаз вида блеска - металлический и неметаллический.

Минералы, поверхность которых отражает наибольшее количество света, имеют металлический блеск. Такие минералы непрозрачны и дают черную или очень темную черту (галенит, пирит, халькопирит).

Неметаллический блеск подразделяется по мере уменьшения количества отражаемого света:

а) алмазный - очень сильный, например, у сфалерита;

б) стеклянный - подобный отражению света от стекла, например, у кварца;

в) жирный - менее интенсивный, чем стеклянный: минерал выглядит, как будто его поверхность покрыта тонким слоем масла; возникает при рассеянии света микроскопическими неровностями поверхности, например, у талька;

г) матовый - главным образом у землистых минералов, например, у каолинита.

Минералы со стеклянным блеском в целом светлоокрашены и относительно прозрачны, по крайней мере в тонких сколах; черта минералов со стеклянным блеском светлоокрашенная.

Цвет, черта

Цвет минералов определяется их химическим составом, кристаллической структурой и примесями.

Некоторые ионы, придающие минералам определенный цвет: Fe^{3+} - бурый (лимонит), Fe^{2+} - зеленый (актинолит), Fe^{2+}+Fe^{3+} - черный (магнетит), Cu^{2+} - зеленый (малахит), синий (азурит), Cr^{3+} - красный (рубин), зеленый (изумруд).

Минералам с неметаллическим блеском часто свойственна переменная окраска - например, флюорит бывает бесцветным, желтым, розовым, зеленым, фиолетовым. Окраска таких минералов может быть обусловлена как химическим составом, так и дефектами кристаллической структуры (фиолетовый флюорит, синий галит, дымчатый и черный кварц). Так, синяя окраска галита возникает при замещении в его кристаллической решетке части ионов Na^{1+} на нейтральные атомы Na.

Цвет минерала, имеющего металлический блеск, следует определять на поверхности свежего излома - такие минералы на воздухе нередко покрываются тончайшей пленкой продуктов окисления (так называемой побежалостью), имеющей иную окраску, чем сам минерал.

На окраску минерала оказывает влияние степень его дисперсности: пирит в достаточно крупных кристаллах соломенно-желтый, в порошке - черный; гематит в крупных зернах черный, в порошке – вишнево-красный. Цвет порошка минерала определяется путем прочерчивания минералом по неглазурованной фарфоровой пластинке (по «черте» минерала). Фарфор употребляется потому, что он имеет сравнительно большую твердость (около 6), шероховатую поверхность, на которой остается порошок минерала, и белый цвет - фон, на котором хорошо различимы цветовые оттенки. Цвет черты, как правило, более постоянен, чем цвет самого минерала, и поэтому является важным признаком при идентификации.

Минералы с металлическим блеском дают черную или темноокрашенную черту, а минералы без металлического блеска - белую или светлоокрашенную черту. Землистые и тонкозернистые разновидности минералов имеют цвет, сходный с цветом черты.

Люминесценция

Люминесценция - это способность кристаллов светиться при нагревании (флюорит), под действием ультрафиолетовых (шеелит, кальцит), рентгеновских (алмаз – люминесцирует ярким голубым или желтым цветом, на чем основан способ его выявления в массе дробленой породы на ленте транспортера на обогатительных фабриках) и других лучей.

СИСТЕМАТИКА МИНЕРАЛОВ

В настоящее время известно более 4000 минералов и каждый год открывается несколько десятков новых минералов. Точная диагностика минералов производится с использованием химического и спектрального анализов, лазерного и рентгеноспектрального микроанализов, рентгеноструктурного и ряда других методов.

В основу классификации минералов положены их химический состав и кристаллическая структура.

Простые вещества

Золото, платина, алмаз, графит, сера.

Золото. Пробность (проба) золота – содержание чистого Au, в ‰ (в десятых долях процента). Наиболее распространенная примесь в золоте – серебро. Чем выше пробность, тем золото имеет более желтый оттенок окраски. Характерным признаком золота является его ковкость – стальная игла оставляет на золоте блестящую царапину.

Старейшее в России коренное месторождение золота – Березовское (к востоку от Екатеринбурга, открыто в 1745 г.); за время эксплуатации на нем добыто около 130 тонн золота. На этом месторождении золото преимущественно невидимое на глаз – оно находится главным образом в приуроченных к кварцевым жилам сульфидах (чаще всего в пирите) в виде зерен размерами в сотые доли миллиметра. На обогатительной фабрике из руды получают обогащенный сульфидами концентрат, из которого золото извлекается химическим путем. В настоящее время эксплуатация ведется на глубине 314 – 512 метров, а промышленное оруденение прослежено до глубины 1,1 – 1,2 км.

Всего в мире в 2000 г. добыто 2544 т золота. Самое крупное в мире месторождение золота – Витватерсранд (Южная Африка).

В России в настоящее время золото добывается преимущественно из россыпей (промывкой рыхлых отложений, главным образом песков).

Алмаз. Является одним из самых дорогих драгоценных камней, а также используется в технических целях - для изготовления буровых коронок, сверл, абразивных материалов и т. п. Технические алмазы составляют 75-80 % от общей добычи алмазов. На технические цели обычно идут непригодные для ювелирного дела алмазы, а также искусственные алмазы, которые в достаточно больших количествах производят во многих странах.

К настоящему времени в мире добыто более 500 т алмазов, из них около трети – за последние 25 лет. 10 % кристалов алмазов имеют форму правильных многогранников, а остальные представляют собой кристаллы несовершенной формы и обломки.

Наиболее крупные месторождения алмазов находятся в Южной Африке. В России начало открытию кореннных месторождений алмазов было положено в 1940 г., когда геолог В. С. Соболев установил, что территория Западной Якутии сходна по геологическому строению с Южно-Африканской платформой и сделал вывод, что алмазы следует искать именно здесь.

Планомерное изучение территории Западной Якутии на алмазы началось с 1945 г. При этом обычные методы поисков долгое время не приводили к обнаружению месторождений алмазов. В 1953 г. молодой геолог Л. Попугаева в ходе проведения поисковых работ нашла кристаллики красного минерала - граната на дне у берега одного из ручьев. Во время камеральной обработки их случайно увидел минералог, профессор Ленинградского университета А. А. Кухаренко. Он сразу определил, что это пироп -

разновидность гранатов, являющаяся в Южной Африке спутником алмазов. То есть по нему нужно искать алмазы и в Якутии.

В 1954 г. Л. Попугаева промывала пески в ручьях, ориентируясь на пироп. В одном из ручьев этот минерал привел ее к косе, где была найдена галька зеленоватой породы с кристаллами пиропа, а затем выше по склону, на водоразделе – содержащие алмазы коренные выходы подобной породы. Так было обнаружено первое местонахождение алмазов (алмазная трубка). После этого поиски алмазов по пиропу (минералогический метод поисков) стали общепринятыми и таким путем были обнаружены десятки алмазных трубок. Из геофизических методов при поисках алмазов начали использовать методы магниторазведки.

Наряду с якутскими месторождениями алмазов, в 1979 г. была выявлена Архангельская алмазоносная провинция. Она была открыта на основании находки при промывке песков в реках и ручьях на обширной изученной территории всего лишь двух зерен пиропа. Вокруг мест находки каждого из этих зерен на карте описали круг радиусом 11 км (при переносе с речным песком на 10 км зерна пиропа полностью истираются, т. е. коренной источник не может быть удален от места находки пиропа на расстояние более 10 км), и внутри каждого круга провели очень детальную и чувствительную магнитную съемку, которая и выявила ряд алмазных трубок.

Сернистые соединения

Пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, галенит, антимонит, сфалерит, киноварь.

Оксиды и гидроксиды

Магнетит, гематит, хромит, пиролюзит, рутил, корунд, лимонит.

Галоиды

Галит, сильвин, флюорит.

Соли кислородных кислот

А) карбонаты: *кальцит, доломит, магнезит, сидерит, малахит*.

Б) фосфаты: *апатит.*

В) сульфаты: *гипс, ангидрит, барит.*

Г) вольфраматы: *вольфрамит, шеелит.*

Галоиды, сульфаты, карбонаты легко растворимы и определяют солевой состав подземных вод и наличие ряда примесей в нефти.

Силикаты

Силикаты - это наиболее многочисленный класс минералов - на их долю приходится около половины всех известных минералов. Силикаты слагают до 95 % объема земн коры.

Рентгеноструктурным анализом (Брэгг, 1937) показано, что основой кристаллической структуры силикатов является кремнекислородный тетраэдр $[SiO_4]^{4-}$. Силикаты, в которых часть Si^{4+} в кремнекислородных тетраэдрах замещена на Al^{3+}, – алюмосиликаты.

Островные силикаты – с изолированными кремнекислородными тетраэдрами в кристаллической структуре: *оливин, гранаты, топаз, эпидот, циркон, берилл, турмалин.*

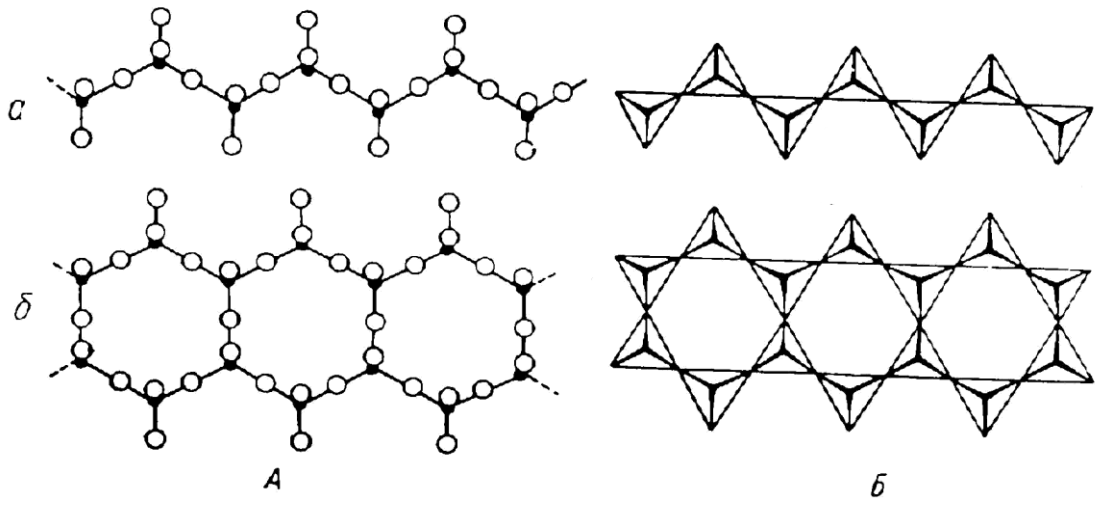


Рис. 4. Одинарная кремнекислородная цепочка $[Si_2O_6]^{4-}$ (*а,* пироксены) и сдвоенная кремнекислородная цепочка $[Si_4O_{11}]^{6-}$ (*б,* амфиболы). *А* – разреженная модель, *Б* – модель из кремнекислородных тетраэдров

Цепочечные силикаты: *пироксены, амфиболы (актинолит, роговая обманка)*.

Слоистые силикаты: *тальк, слюды (мусковит, биотит, серицит), хлорит, серпентин (хризотил-асбест), глинистые минералы (каолинит, гидрослюды, монтмориллонит).*

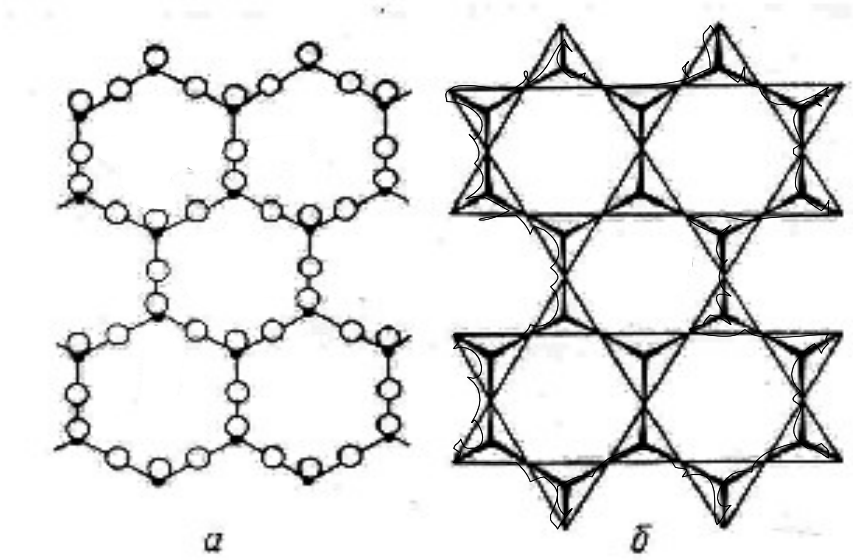


Рис. 5. Кремнекислородный лист $[Si_4O_{10}]^{4-}$: *а* – разреженная модель; *б* – в тетраэдрах

Каркасные силикаты – кремнекислородные тетраэдры в кристаллической решетке соединены друг с другом общими вершинными атомами кислорода, образуя трехмерную структуру (каркас) с достаточно большими пустотами. *Кварц, халцедон. Полевые шпаты - калиевые (ортоклаз, микроклин) и плагиоклазы (альбит, анортит), нефелин.*

НЕКОТОРЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ МИНЕРАЛОВ

Название минерала, химическая формула	Цвет	Твердость	Плотность	Другие свойства
Простые вещества				
Золото Au	Желтый	2,5-3	15,6-19,2	Ковкость
Платина Pt	Серый	4-4,5	15-19	Ковкость
Алмаз C	Бесцветный	10	3,5-3,6	Люминесцирует в ультрафиолетовых и рентгеновских лучах
Графит C	Серый	1	2,1-2,2	Жирный на ощупь, пачкает руки, пишет на бумаге
Сера S	Желтый	1,5-2	2,0-2,1	Хрупкость
Сернистые соединения				
Молибденит MoS_2	Светло-серый	1	4,7-4,8	Чешуйчатый
Антимонит Sb_2S_3	Серый	2		Игольчатый
Галенит PbS	Серый	2,5-3	7,4-7,6	Спайность совершенная
Арсенопирит FeAsS	Серый	5,5-6,0		
Халькопирит $CuFeS_2$	Латунно-желтый	3-4		
Пирротин FeS	Бронзово-желтый	3.5-4.5		Магнитен
Пирит FeS_2	Светло-желтый	6-6,5		Черта черная, нередко кристаллы в форме куба
Сфалерит ZnS	Бурый и др.	3,5-4,0		Черта бурая
Ки́новарь HgS	Красный	2,5	8,1	

Название минерала, химическая формула	Облик кристаллов, строение агрегата	Цвет	Черта	Твер-дость	Другие свойства
Оксиды и гидроксиды					
Пиролюзит MnO_2	Землистый Плотный	Черный	Черная		Землистые разности пачкают руки
Магнетит $FeO{\cdot}Fe_2O_3$		Черный	Черная	5-6	Магнитен
Ильменит $FeTiO_3$		Черный	Черная бурая	5-6	
Лимонит (полиминеральная смесь примерного состава $Fe_2O_3{\cdot}nH_2O$)	Плотный, натечный, охристый	Бурый , черный	Бурая	1-5,0	
Гематит Fe_2O_3	Пластинчатый, плотный	Черный, серый	Красно-бурая	5,5-6	
Хромит $FeCr_2O_4$		Черный	Бурая	5,5-7,5	
Опал $SiO_2{\cdot}nH_2O$	Плотный, натечный	Белый и др.		5-6	
Рутил TiO_2	Игольчатый	Красный Черный		6,5	
Корунд Al_2O_3		Серый		9	
Галоиды					
Галит NaCl		Бесцветный		2-2,5	Растворяется в воде, соленый на вкус
Сильвин KCl		Белый		2,0	Растворяется в воде, горьковатый на вкус
Флюорит CaF_2		Бесцветный, фиолетовый, зеленый		4	

Название минерала, химическая формула	Цвет	Твер-дость	Спайность	Другие свойства
Соли кислородных кислот: а) карбонаты				
Кальцит $CaCO_3$	Бесцветный, белый	3,0	Совершенная	Вскипает от капли соляной кислоты
Доломит $CaMg(CO_3)_2$	Бесцветный, белый, серый	3,5-4	Совершенная	Реагирует с соляной кислотой в порошке
Магнезит $MgCO_3$	Бесцветный, белый, серый	4-4,5	Совершенная	Не реагирует с холодной соляной кислотой
Сидерит $FeCO_3$	Бурый, серый	3,5-4,5	Совершенная	Плотность 3,9
Малахит $Cu(CO_3)\cdot Cu(OH)_2$	Зеленый	3,5		Вскипает от капли соляной кислоты
б)фосфаты				
Апатит $Ca_5[PO_4]_3(F,Cl)$	Бесцветный зеленый голубой	5	Несовершен-ная	Призматический
в) сульфаты				
Гипс $Ca[SO_4]\cdot 2H_2O$	Бесцветный, белый	2	Весьма совершенная	Плотность 2,3
Ангидрит $CaSO_4$	Голубовато-серый	3,5	Совершенная	
Барит $BaS0_4$	Белый	3-3,5	Совершенная	Плотность 4,5
г) вольфраматы				
Вольфрамит $(Fe, Mn)WO_4$	Черный, бурый	4,5-5,5	Совершенная	Плотность 6,7-7,5 черта бурая

Название минерала, химическая формула	Облик кристаллов Строение агрегата	Цвет	Твер-дость	Спайность	Другие свойства
Силикаты: а) островные					
Оливин $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$	Зернистый	Зеленый черный	6,5-7	Несовер-шенная	Бурая корка выветривания
Гранаты $T_3R_2[SiO_4]_3$ (T=Mg, Fe, Ca R=Al, Fe, Cr)	Изометри-ческий	Бурый	6,5-7,5	Отсутствует	
Топаз $Al_2[SiO_4](F, OH)_2$		Бесцвет-ный	8	Совершен-ная	
Эпидот $Ca_3(Al,Fe)_2[SiO_4] \cdot [Si_2O_7]\ O(OH)$	Призмати-ческий	Желтовато - зеленый	6-6,5	Совершен-ная	
Циркон $Zr[SiO_4]$	Призмати-ческий	Бурый	7-7,5		Иногда радиоактивен
Берилл $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$	Призмати-ческий	Зеленова-тый, жел-товатый	7,5-8	Несовер-шенная	Шестиугольная форма сечений кристаллов
Турмалин $NaFe_3Al_6[Si_6O_{18}] \cdot [BO_3]_3(OH)_4$	Игольчатый	Черный	7-7,5	Отсут-ствует	
б) цепочечные					
Пироксены $R_2[Si_2O_6]$ (R=Mg, Fe, Ca, Na, Al)	Призмати-ческий (часто корот-копризма-тический)	Темно-зеленый, черный	5-6,5	Совершен-ная по 2 направлениям под углом 87°	

Название минерала, химическая формула	Облик кристаллов, строение агрегата	Цвет	Твердость	Спайность	Другие свойства
Амфиболы: $R_7[Si_4O_{11}]_2 \cdot (OH)_2$ (R=Na, Mg, Ca, Fe) **актинолит** **роговая обманка**	Призматические	Зеленый Черный	5,5-6	Совершенная по 2 направлениям под углом 124°	Игольчатый
в) слоистые					
Тальк $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	Чешуйчатый	Белый светло-зеленый	1	Весьма совершенная	Жирный наощупь
Слюды: **мусковит** $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ **биотит** $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2$	Чешуйчатый	Бесцветный Черный, бурый	2-2,5 2,5-3	Весьма совершенная	
Хлорит $R_n[T_2O_5](OH)_8$ (R=Mg, Al, Fe, T=Si, Al, Fe)	Чешуйчатый	Зеленый	2-2,5	Весьма совершенная	
Серпентин $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ **Хризотил-асбест** $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	Волокнистый	Зеленый Белый, зеленый	3-4 2,5		Жирный блеск Расщепляется на тонкие волокна

Название минерала, химическая формула	Облик кристаллов, строение агрегата	Цвет	Твердость	Спайность	Другие свойства
Глинистые минералы: **каолинит** $Al_2[Si_2O_5](OH)_4$ **монтмориллонит** $(Al,Mg)_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH2O$ **гидрослюда** $K_{0,65}Al_2[Al_{0,65}Si_{3,35}O_{10}](OH)_2$	Землистые, плотные, с водой становятся пластичными	Белый и др.	2-2,5		При смачивании водой увеличивается в объеме
г) каркасные					
Кварц SiO_2	Зернистый	Белый и др.	7	Отсутствует	Плотность 2,6
Халцедон SiO_2	Скрытозернистый	Белый и др.	7	Отсутствует	Полосчатый - агат
Полевые шпаты: **калиевые (ортоклаз, микроклин)** $K[AlSi_3O_8]$ **плагиоклазы (альбит** $Na[AlSi_3O_8]$, **анортит** $Ca[Al_2Si_2O_8]$**)**	Зернистый	Белый, серый, буро-красный	6	Совершенная по 2 направлениям под прямым углом	Плотность 2,6-2,8
Нефелин $Na_3K[AlSiO_4]$		Серый, серо-зеленый	5,5-6	Отсутствует	

ЛИТЕРАТУРА

Основная:
Миловский А. В. Минералогия и петрография. М., Недра, 1979.
Булах А. Г. Минералогия с основами кристаллографии. М., Недра, 1989.
Дополнительная:
Булах А. Г. Общая минералогия. Изд. СПб ун-та, 1999.
Лазаренко Е. К. Курс минералогии. М., Высшая школа. 1971.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Студентами заочной формы обучения содержание дисциплины осваивается путем самостоятельной проработки рекомендованной литературы и изучения коллекционного материала на кафедре и в экспозиции геологического музея.

До приезда на сессию студент-заочник должен выполнить домашнее задание по составлению конспекта свойств перечисленных выше (выделены курсивом) минералов (форма конспекта – табл. 1). Конспект свойств составляется по рекомендованной учебной литературе.

Таблица 1

Форма конспекта свойств минералов

Название минерала, химическая формула	Сингония	Облик кристаллов	Строение агрегата	Спайность	Цвет, черта
1	2	3	4	5	6

Блеск	Твердость	Плотность	Особые свойства	Сходные минералы	Месторождения	Применение
7	8	9	10	11	12	13

При составлении конспекта следует обратить внимание на химический состав минералов, наиболее важные диагностические признаки и на применение минералов.

Успешное овладение минералогией невозможно без практической работы с минералами. При самостоятельном изучении предмета полезно использование коллекций минералов геологических объектов, на которых работает студент-заочник, а также ознакомление с экспозицией ближайшего геологического или краеведческого музея.

Студент, занимающийся по индивидуальному плану, перед изучением дисциплины может получить на кафедре для изучения в межсессионный

период шкалу твердости и коллекцию минералов (в последующем возвращаются на кафедру).

Занимаясь со шкалой твердости, следует научиться определять твердость, царапая одним минералом по другому, а также царапая минералом по стеклу или стеклом по минералу, запомнить каждый минерал шкалы и значение его твердости. При изучении спайности следует заполнить в табл. 2 колонки, описывающие спайность ряда минералов шкалы твердости (при этом можно контролировать себя по характеристике спайности этих минералов в конспекте свойств минералов)

Используя составленный конспект свойств минералов, следует изучить полученную на кафедре коллекцию минералов с тем, чтобы запомнить и научиться определять эти минералы.

Таблица 2

Спайность минералов шкалы твердости

Твер-дость	Минерал	Спайность		
		Вид (степень совершенства)	Число направлений спайности	Угол между плоскостями спайности (прямой или косой)
1 2 3 4 6 7 8	Тальк Гипс Кальцит Флюорит Ортоклаз Кварц Топаз			

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите разновидности минеральных агрегатов.
2. Что такое изоморфизм? Приведите примеры изоморфизма.
3. Охарактеризуйте зависимость удельного веса от химического состава и структуры кристаллов.
4. Перечислите минералы шкалы твердости.
5. Охарактеризуйте спайность минералов шкалы твердости.
6. Электрические и магнитные свойства минералов.
7. Окраска и люминесценция минералов.

8. Сернистые соединения.
9. Назовите минералы - руды свинца, цинка, меди.
10. Назовите минералы, в состав которых входят: мышьяк, ртуть, сурьма.
11. Охарактеризуйте сульфиды, содержащие железо.
12. Дайте характеристику оксидов и гидроксидов.
13. Назовите минералы - руды железа и марганца.
14. Назовите минералы, в состав которых входят: титан, хром, марганец.
15. Галоиды.
16. Сульфаты.
17. Перечислите минералы из группы карбонатов. Охарактеризуйте их диагностические признаки.
18. Кристаллические структуры силикатов.
19. Назовите силикаты, содержащие: натрий, магний.
20. Приведите химические формулы островных силикатов.
21. Охарактеризуйте химический состав и диагностические признаки цепочечных силикатов.
22. Слоистые силикаты.
23. Глинистые минералы.
24. Каркасные силикаты.
25. Кварц и его применение.
26. Калинатровые полевые шпаты и плагиоклазы.

ПЕТРОГРАФИЯ

Петрография изучает горные породы – минеральные агрегаты, сложенные одним или несколькими минералами и занимающие значительные участки земной коры.

Как самостоятельная наука петрография начала развиваться после того, как для изучения горных пород был использован микроскоп (Сорби, 1858). До введения микроскопа породы изучались при помощи лупы и химического анализа. С появлением микроскопа стало возможным значительно более точное определение породообразующих минералов и их взаимоотношений.

С 20-х годов XX века эксперименты по образованию горных пород в лабораторных условиях положили начало аналитическому этапу в развитии петрографии. Применение большого числа разнообразных точных методов исследования и экспериментальных данных сделало петрографию точной наукой (петрология).

Новый этап развития петрографии начался в 60-х годах XX века в связи с внедрением рентгеноспектрального микроанализатора (электронного микрозонда), позволившего с большой точностью изучать химический состав отдельных зерен минералов в горных породах.

Горные породы подразделяются на магматические, осадочные и метаморфические. Земная кора на 95 % сложена магматическими и метаморфическими породами; однако выходы этих пород занимают лишь 25 % поверхности суши (остальные 75 % поверхности суши заняты распространяющимися на относительно небольшую глубину осадочными породами).

1. МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Магматические породы образуются из флюидно-силикатных расплавов (магм). Магмы являются продуктами частичного плавления вещества мантии и континентальной земной коры на глубинах от 200-300 до 10-20 км, и могут подниматься из глубин в верхние части земной коры и на земную поверхность.

При застывании магмы на глубине возникают интрузивные породы (плутонические и жильные), а на земной поверхности (на суше или в море) – вулканические породы (эффузивные и вулканогенно-обломочные). Вулканогенно-обломочные породы образуются, когда магмы выбрасываются взрывами в атмосферу в виде обломков - вулканических бомб, лапиллей, пепловых частиц. Многие обломки образуются при разрушении твердеющих лав, особенно подводных.

Химический состав

Химический состав положен в основу общей классификации магматических пород.

90 % объема земной коры (47 % по весу) приходится на кислород – в земной коре преобладают кислородсодержащие минералы. Результаты химических анализов горных пород представляют в форме процентного содержания оксидов.

Породообразующие оксиды (в сумме составляют 97 весовых % от среднего состава магматических пород): SiO_2 (*кремнезем, кремнекислота*), Al_2O_3 (*глинозем*), Fe_2O_3, FeO (*окись и закись железа*), MgO, CaO (*основания*), Na_2O, K_2O (*щелочи*).

По химическому составу магматические породы разделяются на группы:

ультраосновные породы - 30-44 % SiO_2 (дуниты, перидотиты, кимберлиты);

основные породы - 44-53 % SiO_2 (базальты, габбро);

средние породы - 53-64 % SiO_2 (андезиты, диориты, трахиты, сиениты);

кислые породы - 64-78 % SiO_2 (риолиты, граниты).

Кроме перечисленных выше главных химических элементов, в породах имеются элементы-примеси: в ультраосновных и основных породах - Cr, Co, Ni и др., в кислых породах - Li, Be, Zr и др. Радиоактивные элементы (U, Th) в минимальном количестве содержатся в ультраосновных породах, а в максимальном – в кислых породах (гранитах). В связи с этим в районах

развития гранитов уровень γ-радиации в 3-4 раза выше фонового значения. В современных домах при использовании в качестве наполнителя бетона гранитного щебня уровень радиации в несколько раз выше, чем в деревянных домах, и при использовании в качестве наполнителя бетона щебня основных и ультраосновных пород.

Минеральный состав

По количественному значению минералы магматических пород разделяются на главные - присутствуют в породе в количестве более 5 %, и второстепенные - менее 5 %. Главные минералы делятся на светлые (салические) и темноцветные (фемические).

Светлые минералы:	***Темноцветные минералы:***
кварц	биотит
полевые шпаты (плагиоклазы,	пироксены
калинатровые полевые шпаты)	амфиболы
	оливин

Второстепенными могут быть как перечисленные, так и более редкие специфические (акцессорные) минералы, например, хромит, магнетит, апатит, сфен, циркон (из этих минералов циркон содержит наибольшее количество радиоактивных элементов-примесей).

Кварц SiO_2 распознается по отсутствию спайности, стеклянному блеску, раковистому излому, высокой твердости (его зерна легко царапают стекло), изометричной форме зерен; в породах встречается как бесцветный, так серый и черный кварц.

Полевые шпаты (плагиоклазы и калинатровые полевые шпаты) обладают твердостью 6 (свежие) и спайностью по двум направлениям под углом около 90°. Цвет белый, серый, розовый, редко светло-зеленый. В неизмененных вулканических породах они прозрачны и напоминают кварц, отличаясь от него удлиненной формой зерен и наличием спайности.

Плагиоклазы - минералы переменного состава, представляют собой изоморфные смеси альбита $Na[AlSi_30_8]$ и анортита $Ca[A1_2Si_20_8]$; процентное содержание анортита в плагиоклазе называется номером плагиоклаза.

Номер плагиоклаза		
0 - 10	альбит	кислый плагиоклаз
10 - 30	олигоклаз	"
30 - 50	андезин	средний плагиоклаз
50 - 70	лабрадор	основной плагиоклаз
70 - 90	битовнит	"
90 - 100	анортит	"

Отличить плагиоклаз от калинатрового полевого шпата $K[AlSi_30_8]$ макроскопически часто затруднительно, в этом случае следует пользоваться общим названием "полевой шпат".

Биотит $K(Mg, Fe)_3(OH, F)_2[AlSi_3O_{10}]$. Из всех породообразующих минералов биотит может концентрировать в себе наибольшее количество изоморфных примесей редких элементов – Ba, Sr, Rb, Cs, Rb, Ge, U, Th и др.

Характерны черный цвет, пластинчатая форма зерен, весьма совершенная спайность (чешуйки расщепляются по плоскостям спайности), низкая твердость.

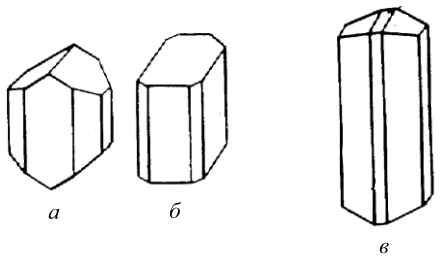


Рис. 6. Форма кристаллов пироксенов (*а* – авгит; *б* – диопсид) и амфиболов (*в* – роговая обманка)

Пироксены и амфиболы внешне сходны друг с другом и нередко трудно различимы, особенно при мелких размерах зерен. Для отличия пироксенов и амфиболов (роговой обманки) могут быть использованы следующие признаки:

1) те и другие минералы имеют спайность по двум направлениям, но угол спайности у пироксенов - около 90°, а у амфиболов - около 120°;

2) облик кристаллов пироксенов обычно короткопризматический (кроме эгирина $NaFe[Si_2O_6]$, который образует длиннопризматические кристаллы), а амфиболов - длиннопризматический (рис. 6);

3) окраска роговой обманки черная, пироксенов - как черная, так с серыми и зелеными оттенками.

Оливин $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$ встречается в виде изометричных зерен с несовершенной спайностью. В свежем виде имеет зеленый цвет и стеклянный блеск. Легко подвергается серпентинизации, приобретая матовый блеск и черную окраску. При выветривании буреет (на поверхности образца возникает характерная бурая корка выветривания) .

Структуры

Понятие "структура" охватывает особенности строения горной породы, которые обуславливаются размерами, формой и взаимоотношениями минералов и вулканического стекла.

Равнозернистые структуры:

гигантозернистая - более 20 мм
крупнозернистая - 5-20 мм
среднезернистая - 1-5 мм
мелкозернистая - менее 1 мм, но зерна видны невооруженным глазом
афанитовая - зернистость обнаруживается лишь под микроскопом

Неравнозернистые структуры:

порфировая - заметные невооруженным глазом зерна (вкрапленники) располагаются среди стекловатой, афанитовой или очень мелкозернистой основной массы; порфировая структура характерна для эффузивных пород (рис. 7).

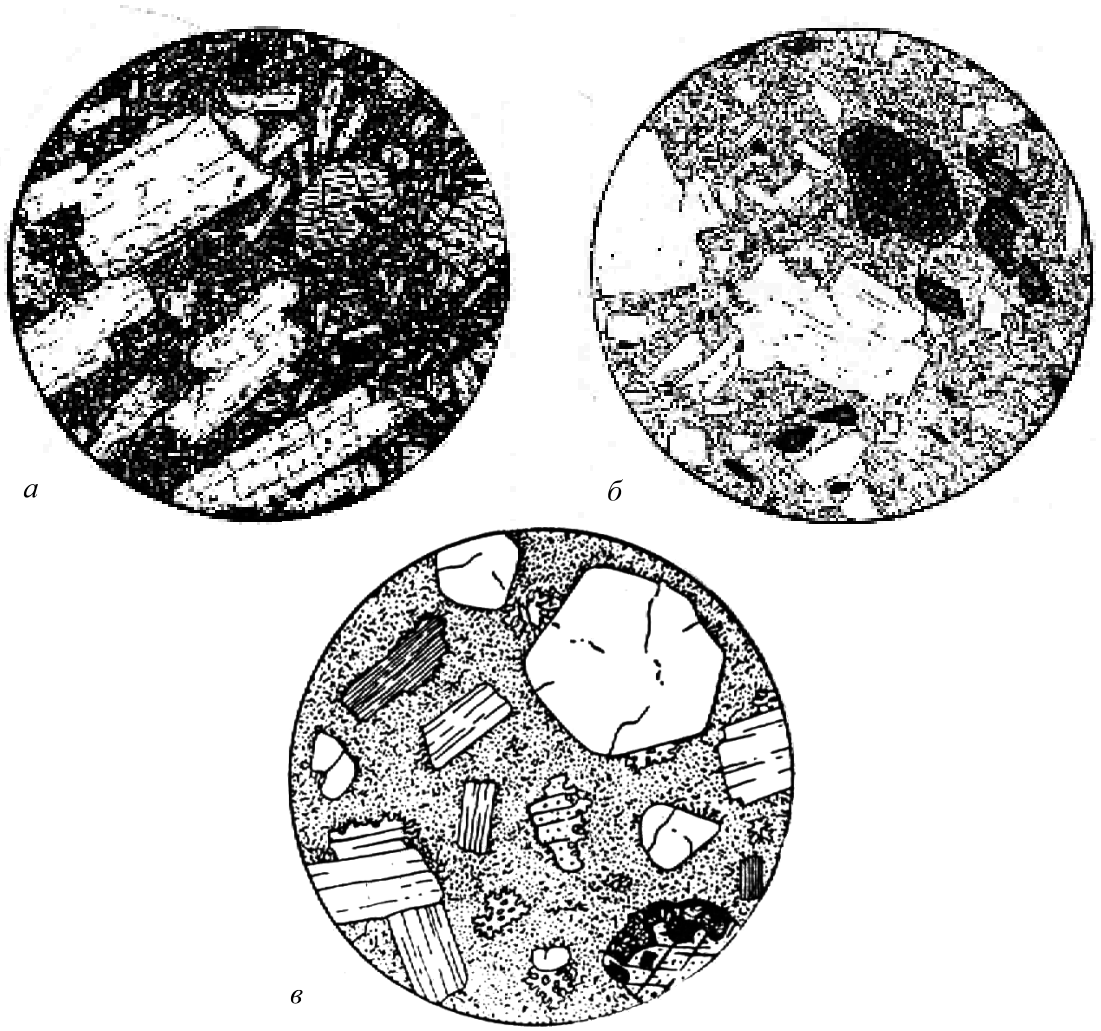


Рис. 7. Эффузивные породы порфировой структуры (по А. Н. Заварицкому и Х. Вильямсу):

а - плагиоклазовый ***базальт*** **(**вкрапленники - плагиоклаз, пироксен, оливин);

б – роговообманковый ***андезит*** **(**вкрапленники - роговая обманка, плагиоклаз; в основной массе преобладает вулканическое стекло);

в – ***риолит*** (вкрапленники - кварц, калинатровый полевой шпат, олигоклаз, биотит; основная масса афанитовой структуры).

Диаметр поля зрения: а – 5,3 мм, б – 3,4 мм, в – 4 мм

Текстуры

Текстуры определяются ориентировкой, относительным расположением составных частей породы и характером заполнения ими пространства:

однородная (массивная) – состав и структура породы в любом направлении одинаковы, ориентировка минералов изотропна; возникают при спокойной кристаллизации магмы;

- пятнистая (пятна образованы группами зерен);
- шаровая, подушечная – в эффузивах основного состава образуются при подводном излиянии лав;
- полосчатая (рис. 7);
- директивная – плоскостная или линейная ориентировка каких-либо зерен (преимущественная ориентировка оливина в мантийных перидотитах - причина сейсмической анизотропии мантии);
- пористая – в эффузивных породах (поры - газовые пузырьки, образующиеся при кипении лавы);
- миндалекаменная – поры в эффузивных породах заполнены более поздними минералами.



Рис. 8. Габбро полосчатой текстуры с Денежкина Камня на Урале (по Ф.Ю.Левинсон-Лессингу)



Рис. 9. Гранит. Плагиоклаз, калиевый полевой шпат, кварц и биотит; акцессорный магнетит; диаметр поля зрения 4,3 мм (по А. Н. Заварицкому)

Плутонические (интрузивные) породы

Плутонические породы образовались при длительной кристаллизации магматических расплавов в земной коре.

Они имеют яснозернистую, большей частью средне- или крупнозернистую, реже гиганто- или мелкозернистую структуру; обычно не бывает порфировой структуры.

Минеральный состав плутонических пород:

Дунит - оливин (> 90 %)

Перидотит - оливин (>40 %), пироксен

Га́ббро - основной плагиоклаз (35-65 %), темноцветный минерал (пироксен, реже роговая обманка, оливин)

Диорит - средний плагиоклаз (>60 %), темноцветный минерал (пироксен, реже роговая обманка, оливин)

Сиенит - калинатровый полевой шпат, плагиоклаз (не всегда), темноцветный минерал (часто биотит) - 20-30 %

Гранит - кварц (25-40 %), полевые шпаты (50-65 %), темноцветные минералы (биотит, мусковит, роговая обманка) - 3-10 %

Вулканические (эффузивные) породы

Вулканические (эффузивные) породы – продукты кристаллизации магмы, вышедшей на земную поверхность по вулканическим каналам и быстро застывшей на суше или в подводных условиях.

Структуры: порфировая, мелкозернистая, афанитовая, стекловатая; текстуры: массивная, пористая, миндалекаменная.

Минеральный состав вулканических пород отвечает минеральному составу соответствующих плутонических аналогов (табл. 3; породы, находящиеся в таблице в одной строке, имеют одинаковый минеральный состав: риолит имеет состав гранита, трахит - сиенита и т. д.). Макроскопическая диагностика вулканических пород ведется по составу порфировых вкрапленников; минеральный состав основной массы на глаз не определяется.

Таблица 3

Вулканические аналоги плутонических пород

Плутонические породы	Вулканические породы
габбро (диорит) сиенит гранит	базальт андезит трахит риолит

Окраска базальтов и андезитов темно-серая до черной (между собой базальты и андезиты нередко различимы лишь под микроскопом), а трахиты и риолиты имеют более светлую окраску. Иногда трахиты внешне сходны с андезитами - те и другие породы могут иметь одинаковую серую окраску. Измененным (палеотипным) эффузивным породам свойственны буроватая, красноватая, зеленоватая окраска (последняя особенно характерна для основных и средних эффузивных пород).

Измененные (палеотипные) разности вулканических пород обозначают приставкой "мета-": например, метабазальты (ранее называемые базальтовыми

порфиритами), метаандезиты (андезитовые порфириты), метатрахиты (бескварцевые порфиры), метариолиты (кварцевые порфиры).

Наиболее распространенные эффузивные породы – базальты. В пределах континентов их количество (объем) в 5 раз превышает все остальные вместе взятые эффузивные породы. Вторыми по распространенности эффузивами являются андезиты. В отличие от базальтов, которые широко развиты на океаническом дне, андезиты распространены на островных дугах и в окраинно-континентальных вулканических поясах (например, в обрамлении Тихого океана).

Одной из разновидностей **вулканогенно-обломочных** пород являются *вулканические туфы* – породы, состоящие из обломков вулканического материала и цементирующей обломки массы. По размерам обломки разделяются на вулканические бомбы (более 50 мм), лапилли (2-50 мм) и вулканический пепел (менее 2 мм).

Если обломки образованы породами (андезитом, риолитом и т.д.), туфы называются литокластическими; если обломки образованы отдельными минералами – кристаллокластическими, а если обломки сложены вулканическим стеклом – витрокластическими.

При наличии обломков различного типа даются смешанные названия - например, при совместном присутствии обломков кристаллов и большего количества обломков пород - кристаллолитокластический туф (первым упоминается тот компонент, которого в породе меньше).

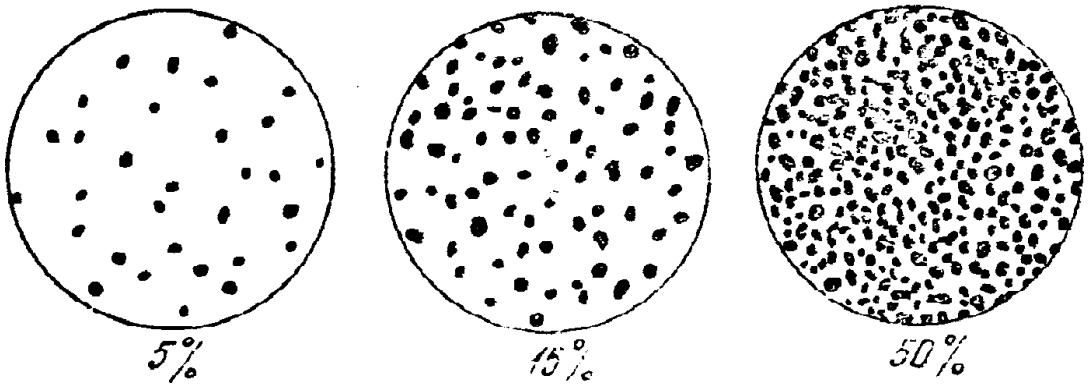
Геолог в поле изучает и картирует геологические тела, обычно образованные той или иной совокупностью (ассоциацией) горных пород. Устойчивые ассоциации магматических пород, которые, закономерно повторяясь в разных регионах, всюду формируются в сходных геологических условиях, называются магматическими формациями. Например, дунит-перидотитовая формация, габбро-пироксенит-дунитовая формация
(к последней относится, например, Уктусский массив), базальт-риолитовая формация (в том числе в районе Сухоложской геологической практики), трапповая формация (наземные излияния базальтов на громадных площадях, в том числе на Сибирской платформе) и др.

Описание образцов

План описания образца магматической породы:

- название, текстура, структура, окраска породы;
- минеральный состав, в процентах (точность 5-10 %; для пород порфировой структуры указывается процентное содержание порфировых вкрапленников и основной массы);
- характеристика каждого минерала породы - размеры зерен, диагностические признаки (цвет, спайность, форма зерен и др.).

Трафареты для визуального определения процентного содержания минералов



Примеры описания образцов плутонической (А) и вулканической (Б) пород (по Л. И. Кравцовой, М. Н. Чукашевой, с изменениями).

А) Роговообманковый кварцевый диорит. Массивная среднезернистая порода серой окраски, состоящая из плагиоклаза (60-65 %), темноцветного минерала (20-25 %) и кварца (около 15 %).

Плагиоклаз зеленоватой окраски, со спайностью, образует прямоугольные в изломе зерна размером до 5-6 мм.

Кварц серого цвета, с раковистым изломом, в виде изометричных зерен размерами 2-3 мм, выполняющих промежутки между зернами плагиоклаза.

Темноцветный минерал представлен роговой обманкой – черная, с блестящими плоскостями спайности (по двум направлениям под косым углом), образует вытянутые призматические зерна шириной до 1-2 мм, длиной до 5-6 мм.

Б) Биотитовый риолит. Массивная порода порфировой структуры с вкрапленниками кварца, полевого шпата, биотита и буровато-серой афанитовой основной массой. Вкрапленники составляют третью часть породы и сложены на 70 % полевым шпатом, 20 % - кварцем, 10 % - биотитом.

Вкрапленники полевого шпата имеют размер от 3 до 6 мм**,** правильную форму и хорошо выраженную спайность. По окраске выделяются два вида полевых шпатов - белый, местами слегка зеленоватый, по-видимому, плагиоклаз, и розоватый, очевидно, калинатровый полевой шпат.

Вкрапленники кварца имеют округлую форму, их размеры колеблются от 3 до 5 мм, обладают дымчато-серым цветом, стеклянным блеском и раковистым изломом.

Биотит образует шестиугольные блестящие чешуйки черного цвета размерами 1-2 мм.

Плотность магматических пород

Плотность светлых (салических) минералов (калиевый полевой шпат 2,55, кварц 2,65, альбит 2,61, анортит 2,76 г/см^3) ниже плотности темноцветных (мафических) минералов (3,2-3,3 г/см^3).

Плотность плутонических пород находится в строгом соответствии с их минеральным и химическим составом и повышается по мере перехода от кислых к средним и далее к основным и ультраосновным породам (средние значения плотности гранитов 2,58, гранодиоритов - 2,69, габбро - 2,95, дунитов – более 3,2 г/см^3). Уменьшение содержания кремнезема на 20 % соответствует увеличению плотности на 0,37 г/см^3.

Плотность вулканических пород в целом ниже, чем соответствующих плутонических пород (из-за пористости, наличия стекла и других особенностей вулканических пород), но также возрастает по мере перехода от кислых к средним, основным и ультраосновным вулканическим породам. Из-за большего разнообразия структур и текстур диапазон изменения плотности вулканических пород шире, чем у плутонических пород. За счет отсутствия значительной пористости измененные (палеотипные) вулканические породы обычно имеют более высокую плотность, чем свежие (кайнотипные) вулканические породы того же состава.

Плотность плутонических пород при вторичных изменениях обычно уменьшается. Например, плотность ультраосновных пород при их серпентинизации (при замещении оливина и пироксена серпентином – рис. 10) уменьшается (плотность серпентина ниже, чем плотность замещаемых им оливина и пироксена). В массиве Рай-Из (Полярный Урал) слабо- (5 %) серпентинизированные перидотиты имеют плотность (объемный вес)

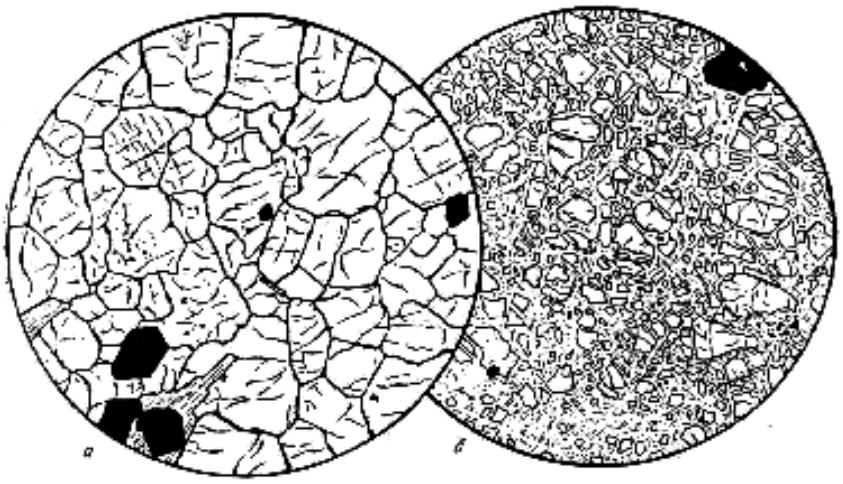


Рис. 10. Дунит: *а* – свежий (оливин, отдельные зерна хромита);
б - серпентинизированный (остатки оливина в в массе серпентина);
диаметр поля зрения: *а* – 4,7 мм, *б* – 4,0 мм (по А. Н. Заварицкому).

3,06 г/см^3, средне- (40 %) серпентинизированные – 2,91 г/см^3, сильно- (70 %) серпентинизированные – 2,70 г/см^3.

При выветривании плотность пород также уменьшается (до 20-25 %) – за счет минеральных превращений (например, образования глинистых минералов) и особенно за счет увеличения пористости (которая в результате выветривания может достигать 25 %).

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

Белоусова О. Н., Михина В. В. Общий курс петрографии. М., Недра, 1972.

Миловский А. В. Минералогия и петрография. М., Недра, 1979.

Дополнительная:

Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических пород. М., Логос, 2001.

Петрографический кодекс. Л., Недра, 1995.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

В процессе изучения дисциплины необходимо подготовить ответы на эти вопросы в письменном виде.

1. Химический состав магматических пород
2. Ультраосновные магматические породы
3. Минеральный состав базальтов, андезитов, риолитов
4. Назвать разновидности структур плутонических и вулканических пород
5. Магматические породы основного состава
6. Светлые минералы магматических пород
7. Плотность плутонических и вулканических пород
8. Кислые магматические породы
9. Структуры и текстуры магматических пород
10. Плутонические породы основного и среднего состава
11. Структуры и текстуры эффузивных пород
12. Темноцветные минералы магматических пород

2. ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ

Наука об осадочных породах - литология. Это одна из наиболее молодых наук геологического цикла - как геохимия и геофизика, она обязана своим развитием XX веку. Задачей литологии является всестороннее изучение осадочных пород и условий их образования.

Особое значение осадочных пород состоит в том, что они занимают 75 % поверхности суши (мощность осадочной оболочки 0-24 км) и вмещают около 70 % всех извлекаемых человеком полезных ископаемых – уголь, нефть, газ, руды Al, Fe, Mn, U, соли, фосфориты, полезные ископаемые россыпей и др., а также вмещают основную массу подземных вод.

Осадочная порода – геологическое тело, образованное из продуктов физического и химического выветривания литосферы в результате их механического, химического или биологического переноса и осаждения.

Стадии образования осадочных пород

Гипергенез

Гипергенез - это образование исходного материала для осадочных пород – физическое и химическое выветривание более древних горных пород.

Физическое выветривание приводит к преобразованию массивной породы в совокупность обломков (глыбы, щебень, песок). В аридных областях (например, пустынях и полупустынях), в полярных и холодных горных странах развито преимущественно только физическое выветривание.

Химическое выветривание сопровождается разложением исходных минералов выветривающейся породы и образованием новых минералов. При этом происходят различные химические реакции, главной из которых является гидролиз – реакция взаимодействия между минералом и водой. В результате гидролиза наиболее распространенные минералы – полевые шпаты - преобразуются в такие глинистые минералы, как *гидрослюда и каолинит*; при этом кремнезем из полевых шпатов частично переходит в воду, а Na, K, Ca полевых шпатов полностью выносятся водой:

$K[AlSi_3O_8]$ (ортоклаз) + $H_2O \rightarrow$

$KAl[Al_2Si_2O_{10}](OH)_2 \cdot mH_2O$ (гидрослюда) + KOH + $SiO_2 \rightarrow$

$Al_2[Si_2O_5](OH)_4$ (каолинит) + KOH + $SiO_2 \rightarrow$

$Al(OH)_3$ (гиббсит) + SiO_2

Для обеспечения процесса гидролиза нужна интенсивная циркуляция воды, которая уносит с собой растворимые продукты выветривания (в данном случае KOH и SiO_2).

Рассмотренное выше образование каолинита и гиббсита на месте полевых шпатов происходит *во влажном тропическом климате*. В этом климате в каолинит, гидроксиды Fe, Al и растворенные ионы K^{1+}, Na^{1+}, Ca^{2+}, Mg^{2+} преобразуются все минералы, кроме кварца. *В умеренном климате* химическое

выветривание проявлено слабее и сопровождается образованием на месте минералов магматических пород таких глинистых минералов, как гидрослюды и монтмориллонит.

Седиментогенез

Седиментогенез - это перенос осадков с места их образования при физическом и химическом выветривании главным образом в морские бассейны; он осуществляется преимущественно реками. Обломки минералов и горных пород переносятся реками преимущественно волочением по дну, глинистые минералы – в виде тонкой взвеси; K^{1+}, Na^{1+}, Ca^{2+}, Mg^{2+} и другие ионы – в виде растворов.

Осаждение в морских бассейнах

При впадении рек в морские бассейны материал, принесенный речной водой, осаждается на дне моря.

Механическое осаждение. Скорость осаждения частиц в воде пропорциональна квадрату размера частиц, поэтому крупные частицы осаждаются быстро, а мелкие – значительно медленнее, т. е. могут переноситься водами на большее расстояние от берега. В связи с этим достаточно крупнообломочный материал (галька, песок) захороняется в прибрежной зоне. По мере увеличения глубин и расстояния от суши на дне моря происходит отложение все более мелких частиц. Например, песок на дне Черного моря отлагается на глубинах до 20-30 м. Еще более мелкие алевритовые и пелитовые (глинистые) частицы, переносимые в виде взвеси, осаждаются на более значительных глубинах.

Глубоководный шельф и материковый склон в морских бассейнах покрыты главным образом алевропелитовыми осадками, а главная часть ложа океана является областью развития глубоководной глины и биогенных илов. Хотя иногда мутьевыми (суспензионными) потоками по подводным каньонам, которые прорезают шельф и материковый склон, мелководный грубый материал достигает и ложа океана.

В осадках водных бассейнов почти всегда присутствует органическое вещество. В глинистых отложениях его значительно больше, чем в алевритовых и песчаных осадках.

Химическое осаждение. Воды морей и океанов, особенно на глубинах до 100 м, периодически насыщены и пересыщены бикарбонатами кальция, что приводит к осаждению из морской воды кальцита:

$$Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O.$$

Повышение температуры увеличивает летучесть CO_2 и смещает реакцию вправо. Поэтому карбонатные осадки образуются преимущественно в теплых морях, причем особенно на малых глубинах в зоне действия волн. Часто образование карбонатных осадков связано с жизнедеятельностью организмов (биохимическое осаждение).

При жарком аридном климате и повышенной солености морской воды в прибрежно-морских условиях (в лагунах и заливах) происходит осаждение солей (рис. 11). Они выпадают из морской воды в следующей последовательности: гипс (ангидрит) – галит – сильвин – карналлит.

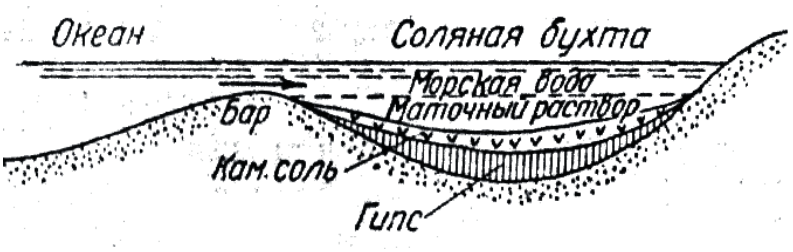


Рис. 11. Схема осаждения солей (по Оксениусу)

Слоистость - характерная особенность строения осадочных пород. Слои обособляются друг от друга или вследствие различия в составе или благодаря наличию поверхностей напластования, являющихся следствием пауз в седиментации (рис. 12). Одна из основных причин слоистого строения осадочных толщ, чередования в разрезе пород различного состава – тектонические колебательные движения при осадкообразовании.

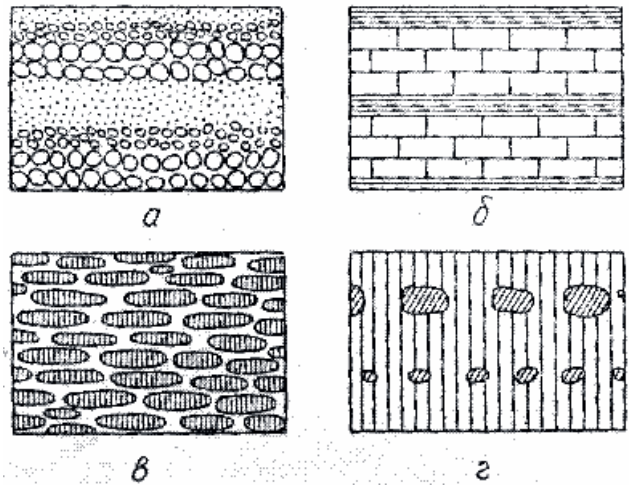


Рис. 12. Слоистость, обусловленная: *а* – изменением крупности зерна; *б* – чередованием слоев разного состава; *в* – горизонтальной ориентировкой частиц; *г* – расположением в одной плоскости какого-либо материала (конкреций, валунов и т.п.); по Л. В. Пустовалову

Отдельные слои могут состоять из мелких (мощностью от долей миллиметра до первых сантиметров) *слойков* (слойчатость); слойки, в отличие от слоев, не имеют какой-либо внутренней структуры и образуются за значительно меньший период времени, в связи с колебаниями факторов седиментации. Граничные поверхности слоя или слойка могут быть параллельными и непараллельными, волнистыми и изогнутыми.

Слоистая текстура породы часто определяет анизотропию коллекторских свойств породы – перпендикулярно слоистости проницаемость пород значительно меньше, чем вдоль слоистости.

Горизонтальная слоистость может быть свойственна различным - аллювиальным, озерным, пролювиальным, водно-ледниковым, лагунным и морским - отложениям. Например, она наблюдается в алевритовых и пелитовых

осадках, которые образуются из частиц, переносимых в виде взвеси и медленно осаждающихся в спокойной воде. Горизонтальная слоистость озерных отложений нередко характеризуется чередованием песчаных слойков, возникших в период весеннего снеготаяния и дождевых периодов, когда в озеро поступает большое количество обломочного материала, и глинистых слойков, возникающих в зимнее время.

Косая (по отношению к горизонтальной плоскости) слоистость – элементарные слойки располагаются под углом к плоскостям наслоения. В большинстве случаев образуется в перемещающихся осадках (прибрежно-морская, дельтовая, речная косая слоистость); встречается в песчаниках, алевролитах, карбонатных породах.

Градационная слоистость – от подошвы к кровле слоя размерность осадочного материала измененяется (например, снизу вверх галька в слое сменяется песком, а затем глиной – рис. 12, *а*); обычно образуется в толщах флишевого типа при отложении осадков из мутьевых (суспензионных) потоков.

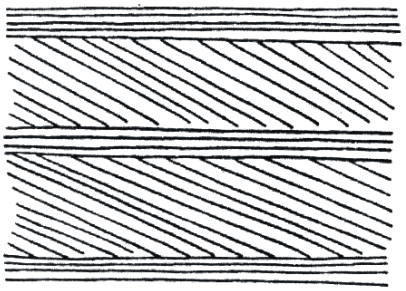


Рис. 13. Потоковая слоистость (по Н.В. Логвиненко)

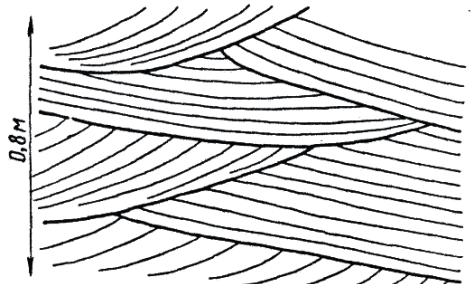


Рис. 14. Диагональная слоистость прибрежно-морского типа

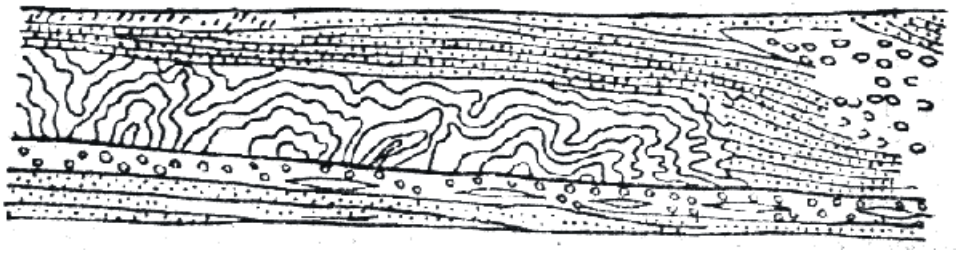


Рис. 15. Подводный оползень в артинских отложениях на западном склоне Урала (по А. А. Иванову)

Диагенез

Свежевыпавший осадок представляет собой рыхлую массу, состоящую из обломков, химически осажденных компонентов и органического вещества, в том числе бактерий. Изменения, происходящие в осадке после его образования, называются диагенезом. В водных бассейнах эти изменения определяются стремлением к достижению химического равновесия между осадком и наддонной водой.

• В морских осадках при высокой солености воды и теплом климате происходит образование доломита на месте первоначально выпавшего кальцита:

$$CaCO_3 + Mg^{2+} \text{ (морской воды)} \rightarrow CaMg(CO_3)_2 .$$

• Характерная особенность осадка, образовавшегося в водной среде – обилие микроорганизмов. Они развиваются в осадке за счет органического вещества. Чем выше дисперсность осадка и меньше глубина погружения осадка, тем больше в нем микроорганизмов.

Сульфатвосстанавливающие бактерии, присутствующие на дне водных бассейнов в восстановительной обстановке, окисляют органическое вещество, отнимая кислород из сульфат-иона наддонной воды. Для бактерий эта реакция играет роль дыхательного акта. Окисленный углерод выделяется при этом в виде углекислого газа CO_2, а восстановленная сера - в форме сероводорода H_2S.

Сероводород может взаимодействовать в осадке с оксидами железа с образованием сульфидов железа, в том числе пирита FeS_2. Пирита образуется тем больше, чем больше в осадке органического вещества, за счет которого развиваются микроорганизмы. В результате пестроты физико-химических условий в разных участках осадка пирит, как и другие диагенетические минералы, может перераспределяться, уходя из одних мест и создавая в других местах сгущения: пятна, линзы, конкреции.

Катагенез

Катагенез - изменения осадков при их погружении на глубину более нескольких десятков метров. Отложения в зоне катагенеза называют не осадками, а осадочными породами.

Зона катагенеза - область развития подземных вод. Нижняя граница зоны катагенеза находится в области прекращения свободного перемещения растворов при почти полном исчезновении пористости пород. Температура при катагенезе может достигать 200 ºС, давление – 200 МПа.

• По мере увеличения глубины залегания пород их пористость и проницаемость понижаются, а плотность и хрупкость возрастают (катагенез глинистых пород – см. ниже).

• При разложении присутствующего в осадочных породах органического вещества на глубинах 2-4 км при температуре 60-150 ºС в осадочных бассейнах образуются нефть и газ (по некоторым авторам, нефть образуется на глубинах 1,8-3,5 км, газ – 3,5-5 км).

• При взаимодействии карбонатов с водой (при температуре выше 75 ºС) может происходить их гидролиз, сопровождающийся выделением CO_2. Гидролиз карбонатов происходит в том случае, если CO_2 может удаляться с места реакции, т. е. при достаточной проницаемости вышележащих пород. Растворение CO_2 в воде приводит к образованию углекислых водных

растворов, из которых при катагенезе может происходить отложение карбонатов в трещинах пород и в виде цемента песчаников.

• В результате процессов растворения под давлением происходит снижение пористости обломочных пород и образование стилолитовых швов (рис. 16).

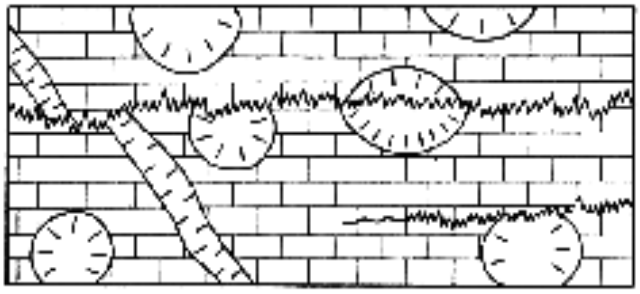


Рис. 16. Стилолитовые швы в известняке, пересекающие стебли кораллов и прожилок кальцита. Верхняя юра, Крым; ½ нат. вел. (по Г. И. Бушинскому)

При более высоких температурах и давлении катагенез сменяется метаморфизмом. В связи с этим ниже осадочных пород часто залегают метаморфические породы, являющиеся в значительной своей части продуктом преобразования осадочных пород. Кроме того, осадочные породы иногда залегают на коре выветривания магматических, метаморфических или более древних осадочных пород.

Обломочные породы

Грубообломочные породы

Псефитовая (грубообломочная) структура - обломки имеют размеры более 2 мм.

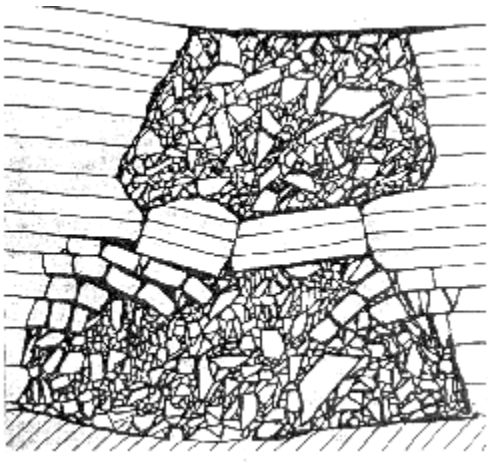


Рис. 17. Доломитовая брекчия, образовавшаяся в результате обрушения слоистых доломитов в полости карстовой пустоты. Среднее Поволжье, 1/20 нат. вел.

Сцементированные породы:
конгломераты (обломки окатаны), *брекчии* (обломки не окатаны – рис. 17)

Несцементированные породы:

(окатанные)	(не скатанные)	(размер обломков)
валуны	*глыбы*	> 200 мм
галька	*щебень*	20-200 мм
гравий	*дресва*	2-20 мм

Песчаные породы

Песчаные породы составляют около 15 % общего объема осадочных пород. Псаммитовая (песчаная) структура - обломки имеют размеры 0,05-2,0 мм:

пески (несцементированные) и *песчаники* (сцементированные)

По размеру обломков пески и песчаники разделяются на крупнозернистые (0,5-2,0 мм), среднезернистые (0,25-0,5 мм), мелкозернистые (0,1-0,25 мм) и тонкозернистые (0,05-0,1 мм).

По составу обломков (определяют с помощью лупы) пески и песчаники разделяются на *кварцевые* и *полимиктовые* (среди обломков наряду с кварцем присутствуют и другие минералы). Среди полимиктовых песчаников выделяют *аркозовые* (светло-серые, розовые - состоят из кварца, полевого шпата, мусковита) и *граувакковые* (темные зеленовато-серые /«грау» - серый/, состоят из кварца, полевого шпата, темных обломков пород).

Граувакковые песчаники – наиболее широко распространенные песчаные породы. Они образуют мощные толщи в складчатых областях. Подавляющее большинство современных континентальных и шельфовых песков также представлено граувакками.

Типы цемента в песчаниках:

базальный – зерна не соприкасаются друг с другом (*а* на рис. 18);
поровый – зерна соприкасаются друг с другом (*б* на рис. 18);
пленочный – цемент покрывает поверхность зерен пленкой (*в* на рис. 18);
контактовый – локальный, только в местах контактов зерен (*г* на рис. 18).

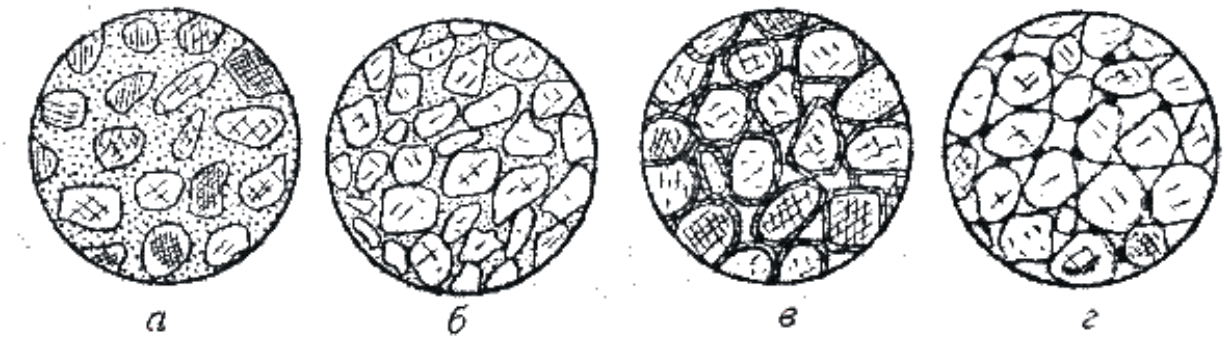


Рис. 18. Типы цемента обломочных пород

По составу цемент в песчаниках может быть глинистым, карбонатным, опаловым, кварцевым и др. Наличие в цементе песчаника карбонатов (кальцита, доломита) устанавливается реакцией с соляной кислотой.

Фациальные разновидности песчаных пород

Прибрежно-морские песчаные породы - преимущественно средне- и мелкозернистые.

Морские песчаные породы - образуют значительные по размерам геологические тела, имеющие форму пластов с постепенно возрастающей в сторону моря мощностью. Встречаются и локальные песчаные тела – бары (протягиваются в море параллельно берегу валами протяженностью до десятков километров при ширине 2-5 км и мощности несколько метров).

Окраска морских песчаников обычно серая, близ поверхности из-за проникновения по порам и трещинам поверхностных вод - серовато-желтая. Цемент морских песчаников часто глинистый или кальцитовый.

Речные песчаные породы - дают геологические тела протяженностью в сотни и тысячи километров при относительно небольшой ширине, мощность – единицы метров.

Дельтовые песчаные породы - образуют тела сложной формы и резко меняющейся мощности. По мере удаления от берега в дельтовых песчаных отложениях возрастает роль алевритового и глинистого материала. При этом из-за повышения содержания органического материала песчаники приобретают все более темную окраску.

Эоловые песчаные породы – в пустынях, полупустынях, на островах и прибрежных частях суши (дюны).

Алевритовые породы

Алевритовая (пылеватая) структура - обломки имеют размеры 0,005-0,05 мм: *лёсс* (несцементированный), *алевролит* (сцементированный).

Пористость обломочных пород

Обломочные породы – одни из самых распространенных коллекторов нефти, газа, подземных вод. Из обломочных пород-коллекторов добывается более половины общего мирового объема добываемых углеводородов, в России и США – это главные породы-коллекторы.

Чаще всего коллекторами являются морские песчаные и алевритовые образования шельфа, прилегающие к континентам морей, дельтовые, речные и эоловые отложения. Типичные представители обломочные пород-коллекторов – мелкозернистые пески и песчаники, крупнозернистые алевриты и алевролиты, песчано-алевритовые породы, реже среднезернистые песчаники. Грубообломочные породы, крупнозернистые пески и песчаники, мелкозернистые алевриты и пелиты редко бывают коллекторами.

Одним из основных факторов, определяющих фильтрационную способность обломочных пород и продуктивность нефтегазоносных пластов, является размер пор в породах. Поровое пространство в обломочные породах представляет собой систему извилистых каналов изменяющегося сечения. Основные пути фильтрации флюидов - самые крупные поры в породе и соединяющие их каналы. Мелкие поры (менее 1-2 мкм) заполнены физически связанной водой и практически непроницаемы.

Размеры межзерновых пор тем больше, чем крупнее и однороднее по размеру обломочные зерна. Поэтому чем больше размер обломочных частиц, тем проницаемость пород выше. Породы, сложенные окатанными частицами, более проницаемы, чем сложенные неокатанными частицами.

Чем однороднее частицы по размерам, тем выше пористость и проницаемость пород (и несколько ниже их плотность). При слабой отсортированности мелкие обломочные частицы заполняют пространство между крупными частицами и снижают пропускную способность поровых каналов.

Песчано-алевритовые породы с большим количеством слюды, чешуйки которой ориентированы параллельно слоистости, отличаются сильной анизотропией проницаемости. В направлении, перпендикулярном ориентировке чешуек слюды, она резко понижена по сравнению с направлением параллельно ориентировке слюды.

Межзерновые поры могут быть первичными – образовавшимися при седиментогенезе, и вторичными – образовавшимися при катагенезе. Кроме межзерновых пор в обломочные породах могут быть и трещинные поры (зияющие трещины).

Пористость во многом определяется характером цемента обломочных пород. При базальном и поровом типах цемента межзерновая пористость очень низка или отсутствует. В песчаниках с карбонатным (кальцитовым) цементом иногда отмечается частичное растворение цемента при катагенезе; это приводит к повышению пористости пород. Например, в мезозойских песчаных и алеритовых породах Прикаспийской впадины при погружении на 2-2,5 км растворяется до 60 % кальцита, в результате чего пористость пород на этих глубинах возрастает до 20-25 % (в целом пористость песчаных пород изменяется от долей процента до 50 %).

Глинистые породы

Глинистые породы - это наиболее распространенные осадочные породы, на них приходится около 70 % от общего объема осадочных пород. Глинистые породы характеризуются высоким содержанием (20-50 %) Al_2O_3 (глинозема).

Глины - тонкодисперсные породы особого минерального состава, размокающие в воде. По мере насыщения водой мельчайшие частицы глинистых минералов покрываются водной оболочкой, в результате чего глины в смеси с водой дают вязкое тесто и становятся пластичными.

Минеральный состав глин (каолинитовые, монтмориллонитовые, гидрослюдистые) может быть макроскопически определен лишь в отдельных случаях для некоторых чистых глин. Многие каолинитовые глины - белые, светло-серые, в воде не разбухают. Монтмориллонитовые глины - светло-серые с желтовато-зеленоватыми оттенками, разбухают или "мылятся" в воде. Гидрослюдистые глины - различной окраски, в воде не разбухают. Точное определение минерального состава глин производится рентгеновским и другими специальными методами.

Каолинитовые глины образуются при химическом выветривании горных пород во влажном тропическом климате. Попадая в море, каолинит преобразуется в гидрослюды.

Гидрослюдистые глины образуются при более слабом химическом выветривании, в том числе в холодном и умеренном климате; это наиболее распространенные глины, к ним относится большинство четвертичных глин России.

Монтмориллонитовые глины – наиболее пластичные и наименее водопроницаемые глинистые породы. Нередко монтмориллонит присутствует в некоторых гидрослюдистых глинах. Иногда среди морских глин встречаются почти мономинеральные протяженные пласты монтмориллонитовых глин (мощностью в единицы или десятки см), которые образуются за счет морского подводного химического разложения вулканического пепла. Это светлые кремовые, светло-зеленые или желтовато-серые породы.

Морские глинистые породы из-за примеси тонкодисперсного органического вещества имеют серую или черную окраску (последнюю придает породе 3-4 % органического вещества). Глинистые породы с тонкодисперсным органическим веществом часто содержат повышенные концентрации U, V, Mo, Ni, Co, Cu.

Глины морского происхождения, состоящие почти исключительно из глинистых частиц, имеют ***пелитовую*** структуру (размер глинистых частиц менее 0,005 мм), в то время как глины континентального происхождения обычно содержат примесь алевритового или псаммитового материала - имеют алевропелитовую или псаммопелитовую структуру.

Катагенез глинистых пород

В ходе катагенеза пористость глинистых пород уменьшается: на глубине до 1 км пористость морских глин составляет десятки процентов, а на глубине 3-5 км - первые проценты (рис. 19). Седиментогенные воды, заполняющие поры в глинистых породах, при катагенезе отжимаются из этих пор в смежные более жесткие пласты (сложенные, например, песчаниками), где еще сохраняется достаточно высокая пористость.

При температуре 100-140 ºС (на глубине 1-3,5 км) монтмориллонит начинает превращаться в глинистых породах в гидрослюду. В ходе этого

процесса из 1 м^3 глины в окружающие породы выделяется до 100-110 л воды, которая находилась в монтмориллоните в химически связанном состоянии.

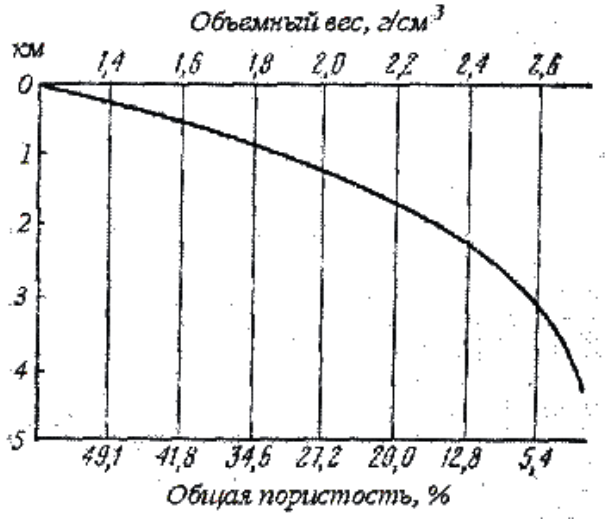


Рис. 19. Зависимость пористости и объемного веса глинистых пород от глубины их погружения (по Белоусовой и Михиной)

Каолинит при повышении температуры в присутствии К также начинает превращаться в гидрослюду, а в присутствии Mg (который может поставляться в раствор при гидрослюдизации монтмориллонита) – в хлорит. В связи с этим глинистые породы преобразуются при катагенезе в хлорит-гидрослюдистые глинистые породы, которые не размокают в воде, не пластичны, имеют пористость 1-2 % – *аргиллиты* (массивной текстуры) или *глинистые сланцы* (раскалываются на тонкие плитки).

Глинистые породы на месторождениях углеводородов

Хотя глинистые породы – флюидоупоры, в некоторых случаях в них может содержаться нефть – в трещинах, образовавшихся после уплотнения глинистых пород. То есть глинистые породы иногда могут быть. трещинными и кавернозно-трещинными коллекторами.

В баженовской свите верхней юры Западной Сибири черные битуминозные гидрослюдистые глины с тонкими прослоями и линзочками алевритистых, кремнистых и карбонатных разностей являются нефтепродуцирующей толщей. В этих глинах наряду с преобладающими гидрослюдами широко развиты смешанослойные минералы (гидрослюда-монтмориллонит), имеются примеси каолинита и хлорита. Темная окраска глин обусловлена примесью органического вещества. Генерируемая нефть накапливается в глинах в микротрещинах длиной 0,01-0,03 мкм и по плоскостям наслоения.

Отложения баженовской свиты образовались в морских и прибрежно-морских условиях. При этом в центральных частях морского бассейна отлагались наиболее битуминозные глины, а в прибрежных частях морских бассейнов в глинах появляются прослои песчаников и алевролитов. В результате периодического поступления в морской бассейн холодных

арктических вод и массовой гибелью в связи с этим теплолюбивых морских организмов, в глинистых осадках накапливалось большое количество органического вещества, за счет которого при катагенезе генерировалась нефть.

Хемогенные и биогенные породы

Хемогенные породы образуются в результате выделения из морской воды тех или иных минералов без участия организмов, а биогенные – при участии организмов. Оба вида пород рассматриваются вместе, так как могут иметь одинаковый химический и минеральный состав, часто встречаются совместно и не всегда различимы между собой.

Карбонатные породы

Карбонатные породы составляют 20 % от всех осадочных пород, образуются в теплых мелководных морях, по способу осаждения в основном биогенные.

Обычно имеют светлую окраску, но в случае присутствия органического вещества (обычно являющегося спутником глинистой примеси) могут иметь темно-серую окраску, а нефтеносные карбонатные породы могут быть черными или буровато-черными.

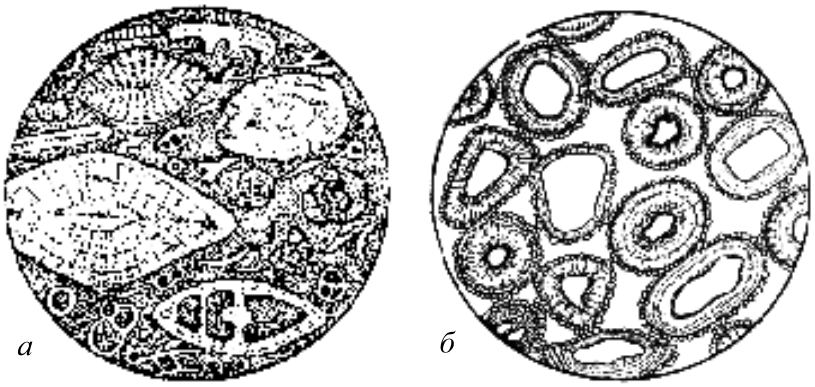


Рис. 20. Известняки под микроскопом: *а* – органогенный (раковины фораминифер находятся в связующей массе, состоящей из микрокристаллического кальцита); *б* – оолитовый (оолиты состоят из обломочных зерен кварца, окруженных каемкой карбоната). Диаметр 3 мм (по Х. Вильямсу)

Известняк - состоит из кальцита $CaCO_3$, вскипает при взаимодействии с разбавленной (2-5 %) соляной кислотой:

- органогенный (цельнораковинный и детритовый - состоящий из обломков раковин);
- оолитовый (оолиты - шарики концентрического строения размерами до 1-2 мм);
- пелитоморфный (зерна менее 0,005 мм);
- перекристаллизованный: микрозернистый 0,005-0,05 мм
  мелкозернистый 0,05-0,25 мм

среднезернистый	0,25-0,5 мм
крупнозернистый	0,5-1,0 мм
грубозернистый	>1,0 мм

(те же названия структур используются и для других приводимых ниже осадочных пород).

Цельнораковинные органогенные известняки могут быть рифовыми и ракушняковыми.

Рифы – подводные или надводные известковые постройки, сложенные скелетами организмов в их прижизненном положении. В период своего образования риф возвышался над дном моря и организмы жили вблизи поверхности воды (рифы образуются в зоне прогибания морских бассейнов).

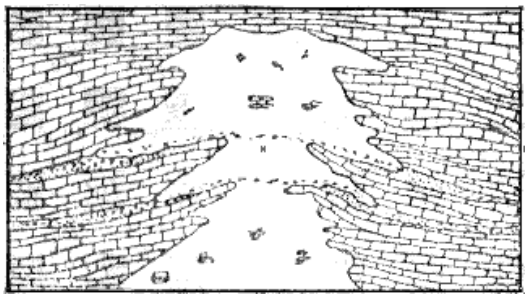


Рис. 21. Коралловый риф (по У. Твенхофелу)

Рифовые известняки могут состоять из скелетов известковых водорослей, кораллов, мшанок и др. Карбонат выпадает на поверхностях, а иногда и внутри клеток водорослей в результате поглощения ими CO_2 из морской воды и практически сразу становится твердым; последнее объясняет каркасообразующую роль водорослевых известняков в теле рифа. В современных морях главные рифоообразующие организмы – кораллы, коралловые водоросли и фораминиферы.

Ракушняковые известняки образуются на отмелях.

Пелитоморфные известняки могут иметь хемогенное и биогенное происхождение. Писчий мел - одна из разновидностей пелитоморфных известняков – сложен главным образом мельчайшими известковыми фрагментами водорослей.

Ме́ргель близок к писчему мелу, но содержит до 50% глинистой примеси. С глинистой примесью часто ассоциирует органическое вещество, придающее породам серый и черный цвет. Так как мергель представляет собой смесь кальцита и глинистого вещества, под действием разбавленной соляной кислоты он вскипает и на месте капли кислоты остается грязное глинистое пятно.

Доломит $CaMg(CO_3)_2$ - под действием разбавленной соляной кислоты не вскипает или вскипает значительно слабее, чем известняк (доломит вскипает в порошке, который можно получить, поцарапав породу куском стекла).

Коллекторские свойства карбонатных пород

Карбонатные породы обладают достаточно высокой пористостью (средняя пористость известняков 5,3 %). Иногда пористость даже на больших глубинах (более 8 км) достигает 20 %. Поры сообщаются между собой и

жидкость через них может фильтроваться. Таким характером пористости во многом объясняется как сильная обводненность карбонатных пород, так и приуроченность к карбонатным породам значительной части мировых промышленных запасов нефти.

Поры в карбонатных породах разделяются на первичные (образуются на стадии седиментогенеза) и вторичные (образуются на стадии катагенеза и при гипергенезе). Поры располагаются между зернами карбонатов, между раковинами, их обломками, между оолитами, внутри раковин (фораминифер, кораллов и др.). Наиболее высокая пористость и наиболее благоприятные коллекторские свойства - у биогенных, органогенно-детритовых и обломочных известняков. Микрозернистые и пелитоморфные известняки и доломиты имеют низкую пористость и проницаемость.

Состоящие из раковин карбонатные породы из-за жесткого каркаса раковин при погружении практически не уплотняются и пористость в них поэтому не сокращается, тогда как пелитоморфные и микрозернистые карбонатные породы при погружении значительно уплотняются и их пористость в связи с этим уменьшается.

В связи с растворимостью карбонатов в воде (растворимость кальцита воде при наличии CO_2 может достигать 1 г/л) в карбонатных породах могут образовываться вторичные поры. Вода, попадая в первичные поры и трещины карбонатных пород, частично растворяет (выщелачивает) карбонат, что приводит к увеличению размеров пор и возрастанию пористости.

Подобное выщелачивание происходит в первично-пористых и исходно-трещиноватых карбонатных породах, в которые может проникать и через которые может фильтроваться вода. В пелитоморфных и микрозернистых карбонатных породах, которые обладают низкой исходной пористостью, вторичные пустоты выщелачивания возникают преимущественно лишь вдоль трещин в породах.

Соляные породы (эвапориты)

Каменная соль - состоит из галита NaCl (бесцветный, красноватый, синий; соленый на вкус).

Образует мощные (от сотен метров до 1-2 км) толщи однородной породы, на флангах переслаивающиеся с другими соляными породами, доломитами и известняками, а также с глинами. Каменной соли свойственны высокие экранирующие свойства – она обладает высокой пластичностью и поэтому, в отличие от других осадочных пород, обычно не содержит трещин, по которым могла бы происходить фильтрация жидкости или газа.

Сильвинит - смесь галита NaCl и сильвина KCl (сильвин молочно-белый с буро-красными оторочками, горько-соленый на вкус).

Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ - белый, серый, твердость 2. Гипс растворяется в воде в 10-20 раз сильнее, чем карбонаты: его растворимость в воде достигает 2,6 г/л.

Ангидрит $CaSO_4$ - серый, реже белый, красноватый, твердость 3,5. Нередко возникает при дегидратации гипса на глубинах 100-200 м и более.

Кремнистые породы



Рис. 22.Схема залегания кремня в известняке (по Теодоровичу)

Кремнистые породы, сложенные **опалом** $SiO_2 \cdot nH_2O$:

диатомит (сложен скорлупками диатомовых водорослей), *трепел* (состоит из комочков опала, возникает при преобразовании диатомитов) - легкие, светлые, рыхлые;

опока (наиболее глинистая разность опаловых кремнистых пород, в которой отдельные комочки опала в той или иной степени сцементированы между собой) - серая, белая, очень легкая, хрупкая, с раковистым изломом, тонкопористая (прилипает к языку).

Кремнистые породы, сложенные **халцедоном и кварцем**:

кремни - серые, черные, нередко встречаются в виде конкреций в карбонатных породах;

яшмы - бурые, красные, серые, зеленые, темносерые, черные; образуются в результате преобразования кремнистых илов, содержащих органические остатки, при осаждении кремнезема в местах подводной вулканической деятельности и др.

Глиноземистые породы

Бокситы (содержание глинозема Al_2O_3 более 46 %)- внешне разнообразны: от белых глиноподобных пород до очень плотных темно-серых, почти черных зернистых пород; часто красно-коричневый цвет, бобовая и оолитовая структура.

Каустобиолиты

Торф – полуразложившиеся растительные остатки от бурого до почти черного цвета (содержание углерода до 57-59 %). Образуется при избытке влаги и отсутствии или слабом доступе кислорода (в восстановительных условиях).

Сапропель – ил, содержащий большое количество органических веществ (до 60-70 % углерода), – образуется на дне болот и озер, часто вместе с торфом.

Горючие сланцы – глинистые или известковистые породы, содержащие 20-60 % органического вещества, загораются от спички; образуются в озерах, лагунах, морях.

При катагенезе под влиянием давления вышележащих осадков и повышения температуры торф превращается в ископаемый уголь. Сначала образуется *бурый уголь* (рыхлый землистый бурого цвета или плотный черного

цвета), затем *каменный уголь* (содержание углерода до 82 %). Наиболее высокой степенью углефикации отличаются *антрациты*, состоящие из почти чистого углерода.

Осадочные фации и формации

Важная задача литологии – определение условий образования осадочных пород на основе их детального изучения (литолого-фациальный анализ). Фация – комплекс отложений, отличающийся составом и физико-географическими условиями образования от соседних отложений того же стратиграфического интервала. Фация характеризует обстановку образования породы.

Морские фации

Являются наиболее широко распространенными среди осадочных пород. Морским фациям свойственно постоянство состава пород на обширных территориях и обилие органических остатков животного происхождения.

Фации прибрежных частей шельфа (глубина моря до 30 м). Здесь образуются песчаники с незначительной примесью глинистых частиц, окатанными зернами и характерной разнонаправленной косой слоистостью; алевролиты и глины с примесью песка; оолитовые, органогенно-обломочные и обломочные известняки (пористость возникающих здесь карбонатных пород достигает 20-30 %).

Пляжевые отложения образованы береговыми валами, сложенными хорошо отсортированными осадками с различными косослоистыми текстурами (углы наклона косых слойков до 15º). Пляжевые отложения образуются за счет песков, выбрасываемых морем.

В прибрежных частях шельфа встречаются бары – песчаные валы, выходящие гребнем на поверхность моря, которые образуются за счет перемещения обломочного материала волнами со стороны моря к суше. Они располагаются параллельно берегу моря, имеют плоское основание и выпуклую верхнюю поверхность. Длина отдельных баров более 100 км при ширине 10-16 км.

Коллекторами в прибрежно-морских фациях могут быть терригенные (подводные валы и гряды, бары, отложения пляжа, береговых дюн), терригенно-карбонатные и карбонатные породы. Среди этих отложений практически нет флюидоупоров - глинистых пород (они более глубоководные). Поэтому прибрежно-морские фации обычно перспективны на нефть и газ лишь в случае их перекрытия трансгрессивными глинистыми отложениями более глубоководных частей морских бассейнов.

Фации мелководных частей шельфа (глубина моря 30-100 м). Образованы главным образом мелкозернистыми и среднезернистыми песчаниками, алевролитами. Глинистых пород мало (присутствуют в отдельных впадинах), они обычно содержат примесь обломочного материала. Встречаются известняки, в том числе рифовые. Характерна горизонтальная и

пологоволнистая слоистость. Условия для накопления органического вещества лучше, чем в прибрежных фациях, но из-за преобладания окислительной геохимической обстановки все же малоблагоприятны.

К мелководно-морским фациям в нефтегазоносных провинциях часто приурочены основные скопления углеводородов (коллекторы - терригенные и карбонатные породы). Среди карбонатных пород наибольшее промышленное значение имеют рифовые известняки (пористость 25-35 %), меньшее – органогенные, органогенно-обломочные и обломочные карбонатные породы (пористость 17-25 %), образовавшиеся в мелководных морях со значительной гидродинамической активностью.

Из-за примеси песчано-алевритового материала глинистые отложения мелководно-морских фаций дают покрышки невысокого качества.

Фации умеренно-глубоководных частей шельфа (глубина моря 100-200 м, реже до 400 м). Характерны слабые течения и бедный органический мир.

Здесь образуются гидрослюдистые и монтмориллонитовые глины, отмученные, без примеси песчаных частиц. В зонах донных течений присутствуют песчаники. Имеются как планктоногенные органогенные породы – фораминиферовые известняки, диатомиты, опоки, так биохемогенные и хемогенные породы. Наблюдается тонкая горизонтальная слоистость.

Эти отложения благоприятны для накопления органического вещества (планктона). Горючие сланцы доманикового горизонта и баженовской свиты, являющиеся генераторами нефти в Волго-Уральской и Западно-Сибирской нефтегазоносных провинциях, накопились в этих частях морских бассейнов.

В образовавшихся в зонах морских течений песчано-алевритовых и грубообломочных породах, изолированных глинами, могут быть нефть и газ. Мощные чисто глинистые толщи умеренно-глубоководной фации являются региональными глинистыми покрышками высокого качества.

Глубоководные фации (глубина более 400 м). В современных глубоководных отложениях 60% составляют глины, 25 % - пески, 10 % - галька и гравий, 5 % - раковины и оолиты. Осадочный материал привносится морскими течениями и подводными мутьевыми потоками по каньонам, рассекающим материковый склон от шельфа до абиссальных глубин. Отложения мутьевых потоков встречаются на глубинах до 10 км.

Глубоководные фации благоприятны для образования глинистых флюидоупоров высокого качества. В периферических частях глубоководных областей накапливается планктоногенный органический материал, а центральные наиболее глубоководные части этих областей резко обеднены органической жизнью и неблагоприятны для образования потенциально нефтегазоматеринских толщ.

Фации, переходные от морских к континентальным

Для этих фаций характерны пестрота состава, невыдержанность его по площади и разрезу, наличие органических остатков.

Лагунные фации (лагуны - мелководные части морских бассейнов, отделенные от основного моря песчаными косами, пересыпями или барами). Сложены мелкозеристыми песками, алевритами, глинами.

В условиях влажного климата лагуны опресняются и постепенно превращаются в торфяные болота, происходит образование лагунных угленосных песчано-глинистых толщ. В теплом климате в лагунах может также накапливаться сапропелевое органическое вещество, за счет которого происходит образование природного газа.

В сухом и жарком климате происходит засолонение лагун и отложение в них эвапоритов (см. рис. 11), которые являются регионально выдержанными флюидоупорами - некоторые соленосные лагуны занимали в прошлом громадные территории и в них могли накапливаться скопления солей мощностью более 1,5 км.

Дельтовые фации (в устьях рек и в прилегающих прибрежных зонах морских бассейнов или озер). Отложения дельт могут занимать площади во многие тысячи км^2, мощность дельтовых отложений может достигать нескольких километров.

Эти фации образованы преимущественно тонкозернистыми аллювиальными отложениями русловых потоков, часто меняющих свое положение, а также отложениями озер и болот, периодически возникающих на месте дельт, прибрежно-морскими образованиями. Доля песчаных пород составляет около 25 %. Характерно широкое развитие косослоистых текстур.

Дельтовые отложения являются нефтегазоматеринскими – из-за смешения вод различной солености и температуры в дельтах происходит массовая гибель планктона и в большом количестве накопливаются органические остатки. Из-за резкой фациальной изменчивости в дельтовых отложениях имеются многочисленные литологические ловушки нефти и газа; их покрышками служат глинистые дельтовые отложения.

Континентальные фации

Элювиальные фации (коры выветривания). При длительных перерывах осадконакопления на породах нередко образуются коры выветривания мощностью до нескольких десятков метров. Они представляют собой коллекторы с высокой пористостью (особенно нижние части кор выветривания). Залежи нефти и газа известны, например, в корах выветривания доюрских отложений Западной Сибири и в корах выветривания фундамента Русской платформы.

Аллювиальные фации. Русловые песчаные и алевритовые отложения узкими извилистыми полосами (с линзовидным поперечным сечением) прослеживаются среди пойменных отложений, преимущественно глинистых. Характерна направленная вниз по течению реки косая слоистость. Потенциальными коллекторами являются наиболее грубозернистые русловые аллювиальные фации (пористость русловых песчаников 3-20 %).

Озерные и болотные фации. Озерные фации гумидного климата благоприятны для накопления органического вещества сапропелевого типа (особенно в неглубоких хорошо проветриваемых озерах с восстановительной обстановкой в придонном слое). В болотных фациях накапливаются громадные массы органического вещества преимущественно гумусового типа, в дальнейшем преобразующегося в каменные угли.

Осадочные формации

Осадочные формации – литологически однородные крупные геологические тела, образующиеся в определенных палеотектонических и палеогеографических условиях и соответствующие по своему стратиграфическому объему ярусу или отделу, реже – нескольким отделам или части яруса. Осадочные формации – это комплексы фаций, сформировавшихся в постоянных или слабо изменяющихся тектонических и климатических условиях. Например, песчано-глинистые угленосные формации состоят из прибрежно-морских, лагунных, дельтовых, аллювиальных, озерных и болотных фаций, возникавших в гумидном климате при существенной дифференциации тектонических движений. Смена формаций обусловлена существенным изменением тектонического режима и (или) климата.

Для формаций платформ характерна относительно небольшая мощность при обширных площадях распространения. Образование этих формаций происходило преимущественно в мелководно-морских, переходных и континентальных условиях при небольшой скорости осадконакопления (метры, первые десятки метров за 1 миллион лет). Формации складчатых областей имеют огромные мощности, измеряемые километрами, полосовидное распространение.

Формации, благоприятные для формирования скоплений нефти и газа:

- песчано-глинистые и карбонатные (для древних платформ);
- песчано-глинистые угленосные, песчано-глинистые глауконитовые, карбонатные и карбонатно-терригенные (для молодых платформ);
- угленосные, карбонатные, терригенно-карбонатные, терригенно-туффито-кремнистые, тонкая моласса, флиш (для геосинклинальных и переходных областей).

Среди терригенно-карбонатных нефтегазоносных формаций выделяются доманиковые формации – с аномально высоким содержанием рассеянного органического вещества преимущественно сапропелевого типа. Характерна тонкодисперсность и повышенная кремнистость терригенных пород, тонкая слоистость. Доманиковая субформация баженовской свиты Западной Сибири на 80 % сложена глинами (см. выше).

В Апшеронской нефтегазоносной области развита тонкая молассовая формация – переслаивание глин, алевролитов, песчаников, гравеллитов и конгломератов общей мощностью более 4 км (речные, дельтовые, озерные фации). На глинистые породы приходится 50-60 % от общего количества пород.

Коллекторами являются песчаникики и алевролиты. Образование формации происходило в условиях пресноводного мелководного бассейна озерного типа, куда реками сносился обильный обломочный материал с окружающей суши (большое значение имеют отложения палеодельты Волги).

Флиш – мощная серия морских осадочных отложений с регулярным чередованием не менее трех разновидностей пород, зернистость которых уменьшается вверх по разрезу (градационная слоистость – рис. 12, *а*). Характерен полимиктовый состав песчано-алевритового материала и малое количество органических остатков.

Флиш образуется в узких морских бассейнах глубиной до 1 км (например, Кавказский флишевый бассейн – прогиб длиной в несколько сотен километров при ширине 50-150 км). Осадки отлагаются на значительной глубине у подножья крутых склонов из мутьевых потоков, которые возникают в результате подводных оползней при землетрясениях или при сильных паводках рек (некоторые потоки перемещаются на расстояние до 1000 км со скоростью до сотен километров в час).

СЛОВАРЬ

Аридный климат – жаркий засушливый, с малыми годовыми суммами осадков при очень сильном солнечном нагреве.

Глауконит – зеленый минерал из группы гидрослюд, встречающийся в морских осадках.

Гравеллит – сцементированный гравий.

Гумидный климат – влажный, с резким преобладанием количества осадков над испарением.

Коллектор – пористая, проницаемая порода, в которой возможно перемещение воды и углеводородов.

Покрышки – непроницаемые породы, перекрывающие залежи углеводородов.

Пролювий – отложения селевых потоков горных рек или других временных потоков, возникающих в периоды интенсивного выпадения осадков или таяния снега и ледников в горах.

Терригенные осадки – состоящие в основном из твердых продуктов денудации суши (обломков пород, минералов, глинистых частиц).

Трансгрессия – наступание моря на сушу.

Туффит – осадочно-вулканогенная порода, состоящая из осадочного и вулканогенного материала (последнего не менее 50%).

Флюидоупор – порода, непроницаемая или мало проницаемая для углеводородов и воды.

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

Прошляков В. К., Кузнецов В. Г. Литология. М., Недра, 1991.

Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород. М., Недра, 1974.

Дополнительная:

Фролов В. Т. Литология. М., Изд. МГУ, 1992 (кн. 1), 1993 (кн. 2), 1995 (кн. 3).

Логвиненко Н. В., Сергеева Э. И. Методы определения осадочных пород. М., Недра, 1986.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличается физическое и химическое выветривание в условиях разного климата?
2. Механическое и химическое осаждение осадков в морских водоемах.
3. Типы слоистости осадочных пород.
4. Охарактеризуйте процессы диагенеза и катагенеза.
5. Приведите классификацию обломочных пород.
6. Назовите разновидности песчаников по размеру обломков и по минеральному составу.
7. Фациальные разновидности песчаных пород.
8. Условия образования и применение каолинитовых, гидрослюдистых и монтмориллонитовых глин.
9. Катагенез глинистых пород и переход воды из химически связанного в свободное состояние.
10. Разновидности карбонатных пород и условия их образования.
11. Пористость, прочность и растворимость карбонатных пород.
12. Коллекторские свойства песчаных и карбонатных пород.
13. Охарактеризуйте соляные породы и условия их образования.
14. Фации морских отложений.
15. Лагунные и дельтовые фации.
16. Континентальные фации.
17. Приведите примеры осадочных формаций, с которыми могут быть связаны месторождения нефти и газа.

3. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Метаморфизм – изменение структуры и состава породы, происходящее при повышении температуры и давления, при участии растворов, без расплавления породы. Например, при метаморфизме на месте глинистой породы может образоваться гранат-мусковит-кварцевый сланец. Метаморфизму подвергаются осадочные, магматические и ранее образованные метаморфические породы. Температура метаморфизма – от 100-200 ºС до температуры частичного плавления пород (650-1000 ºС).

Изохимический метаморфизм – не сопровождающийся изменением химического состава породы.

Текстуры метаморфических пород

Выделяются следующие разновидности текстур метаморфических пород:

- *сланцеватая* - параллельное расположение чешуек слоистых силикатов, из-за чего порода раскалывается на тонкие плитки; породы сланцеватой текстуры называются сланцами;
- *гнейсовидная* - менее строгая параллельность чешуек слоистых силикатов и их меньшее содержание, чем в сланцах; при раскалывании порода гнейсовидной текстуры дает, в отличие от сланцеватой текстуры, плитки толщиной не менее нескольких сантиметров;
- *линейная* – призматические минералы ориентированы в одном направлении (линейность);
- *полосчатая*;
- *массивная*.

Метаморфические породы разделяются на 5 классов: 1) регионально-метаморфические; 2) контактово-метаморфические; 3) ультраметаморфические; 4) тектоно-метаморфические; 5) метасоматические.

Регионально-метаморфические породы

Регионально-метаморфические породы - это наиболее распространенные метаморфические породы, которые развиты на обширных площадях в областях складчатости и гранитообразования. В не подвергшихся складчатости прогибах, несмотря на значительное (до 25 км) погружение толщ, региональный метаморфизм не проявляется.

Метаморфическая фация – совокупность горных пород, образовавшихся при определенных температурах и давлении.

Зеленосланцевая фация (350-450 ºС)

В породах присутствуют хлорит, серицит, тальк, серпентин и др. Зерна минералов нередко очень мелкие.

Филлиты - тонкозернистые сланцеватые породы с шелковистым блеском плоскостей сланцеватости (из-за параллельного расположения обычно не различимых на глаз чешуек серицита и хлорита) и низкой твердостью. В связи с примесью углеродистого вещества часто имеют окраску от темно-серой до черной. Образуются при метаморфизме глинистых пород (метапелиты).

Зеленые сланцы - тонкозернистые породы, содержат хлорит, а также более твердые минералы (актинолит, эпидот, альбит и др.), из-за чего царапают стекло. Образуются при метаморфизме основных магматических пород, главным образом базальтов (метабазиты).

Серпентиниты – состоят из серпентина (иногда содержат хризотил-асбест), образуются по ультраосновным магматическим породам (дунитам, перидотитам).

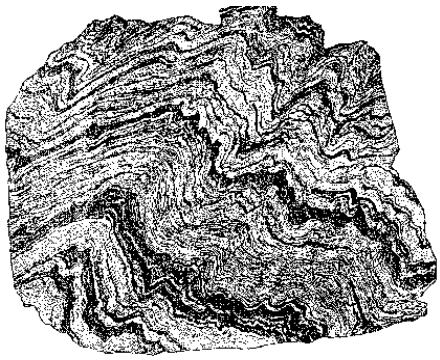


Рис. 23. Зеленый сланец плойчатой текстуры (по Ю. И. Половинкиной)



Рис. 24. Гранат (*гр*)-кварц (*кв*)-биотитовый (*би*) сланец

Амфиболитовая фация (550-750 ºС, 400-800 МПа)

Зерна минералов достаточно крупные, различимы макроскопически. Названия породам даются путем перечисления минералов в порядке возрастания их количества: например, гранат-биотитовый сланец, мусковит-кварцевый сланец и т. п.

Кристаллические сланцы (*кристаллосланцы*) - содержат гранат, биотит, мусковит, кварц и др. минералы; полевых шпатов не более 20 % (рис. 24). Образуются при метаморфизме глинистых пород.

Гнейсы - гнейсовидная текстура, более 20 % полевых шпатов. Образуются при метаморфизме кварц-полевошпатовых магматических (граниты) и осадочных (песчаники) пород.

Амфиболиты - содержат в значительных количествах роговую обманку; в зависимости от сопутствующих минералов выделяются плагиоклазовые, гранатовые, эпидотовые и другие амфиболиты. Образуются при метаморфизме основных магматических пород, преимущественно базальтов.

Гранулитовая фация (700-800 ºС, высокое давление)

Гранулиты - пироксеновые гнейсы (кварц, полевые шпаты, пироксен, гранат).

Большинство пород гранулитовой фации образуется в докембрии. Они обычно находятся в пределах щитов, но иногда присутствуют и в фанерозойских орогенических поясах (например, на Урале) в виде поднятых блоков докембрийского фундамента.

Эклогитовая фация (700 ºС, 1300 МПа)

Эклогиты - содержат красно-бурый гранат и зеленый пироксен.

Во всех фациях метаморфизма встречаются:

- *кварциты* - состоят из зерен кварца, отличаются от исходных кварцевых песчаников тем, что раскалываются с разрывом кварцевых зерен и образованием ровной поверхности скола;
- *мраморы* - состоят из зерен карбонатов (кальцита, доломита), отличаются от исходных карбонатных осадочных пород (например, известняков) более крупной зернистостью.

Таблица 4

Некоторые метабазиты и метапелиты

Исходные породы	Фация зеленых сланцев	Амфиболитовая фация	Эклогитовая и гранулитовая фации
Магматические породы основного состава	Зеленые сланцы	Амфиболиты	Эклогиты
Глинистые и кварц-полевошпатовые породы	Филлиты	Кристаллические сланцы и гнейсы	Гранулиты

С повышением степени метаморфизма плотность метаморфических пород возрастает: зеленые сланцы – 2,6-2,7 г/см^3, амфиболиты – 2,9-3,3 г/см^3, эклогиты – 3,3-3,6 г/см^3.

Ультраметаморфические породы

Ультраметаморфические породы образуются в условиях начинающегося плавления пород (550-670 ºС). *Мигматиты* - кристаллические сланцы и гнейсы с многочисленными возникающими в результате начинающегося плавления гранитными, аплитовыми или пегматитовыми выделениями.

Наиболее широко развиты полосчатые мигматиты. Присутствующий в них жильный материал гранитного состава в виде параллельных полос прослеживается иногда на десятки метров и первые километры.

Контактово-метаморфические породы

Контактово-метаморфические породы образуются на относительно небольших глубинах (до 1-3 км) вокруг массивов интрузивных пород. Температуры контактового метаморфизма 300-800 ºС, давление до 100-300 МПа. Магма, нагретая до 800 ºС и застывающая на глубине 1-2 км от земной поверхности, может прогреть породы у контакта до 550 ºС. Продукты контактового метаморфима – *контактовые роговики* - нередко имеют очень мелкозернистую структуру.

Динамометаморфические породы (тектониты)

Динамометаморфические породы образуются главным образом в зонах разломов.

Тектонические брекчии – остроугольные обломки исходных пород сцементированы мелкодробленой массой (рис. 13, *а*).

Катаклазиты – продукты начальной стадии дробления (рис. 13, *б*).

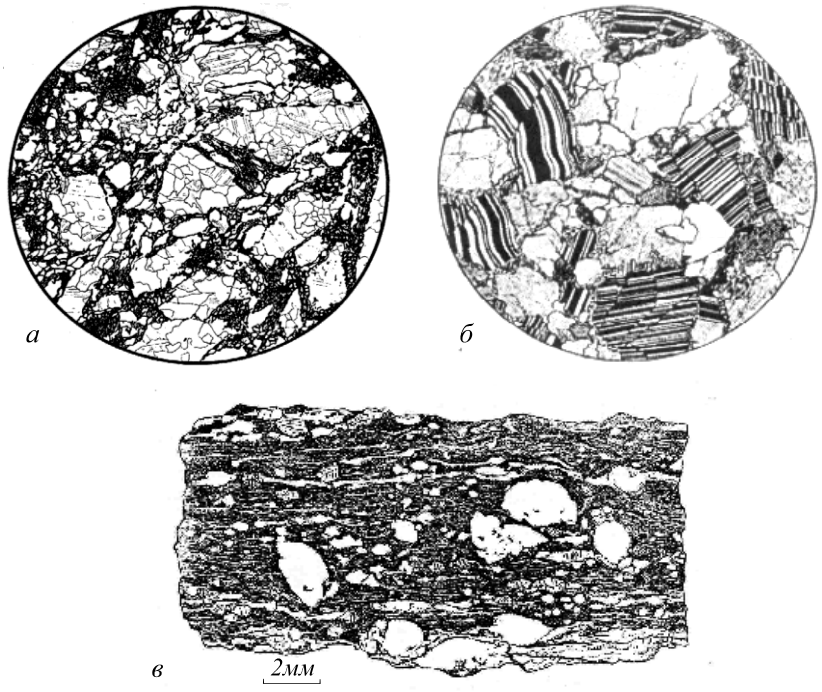


Рис. 25. Динамометаморфические породы: *а*- ***брекчия*** гранита; гранит разбит на угловатые обломки, связанные тонкоперетертым материалом того же гранита; *б* – ***катаклазированный*** гранит (ув. 30); *в* – ***милонитизированный*** гранит; обломки зерен полевых шпатов в тонко «истертой» породе; текстура породы параллельная, сланцеватая и очковая (по Ю. И. Половинкиной)

Милониты – результат самой сильной деформации, сложены более, чем на 50 % новообразованным мелкозернистым агрегатом. В отличие от катаклазитов, им свойственны сланцеватые и полосчатые текстуры. В мелкозернистой массе имеются реликты минералов исходной породы (рис. 13, *в*).

Метасоматические породы

Метасоматоз – метаморфизм с изменением химического состава породы (сопровождается привносом и выносом компонентов).

При метасоматических изменениях пористость пород часто увеличивается, объемный вес и предел прочности пород на сжатие нередко уменьшается.

А) **Кислотные метасоматиты**

Образуются под действием кислых растворов (кислотность обусловлена высокой концентрацией в растворах CO_2, Cl^{1-}, F^{1-}).

Грейзены - кварц, мусковит (крупные чешуйки), иногда флюорит, турмалин, топаз и др. Образуются по породам кислого состава. Температура образования грейзенов (грейзенизации) 350-450 град. Часто встречаются на месторождениях олова и вольфрама (рис. 26).

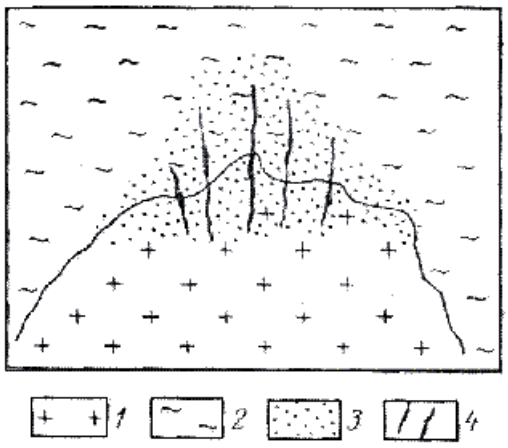
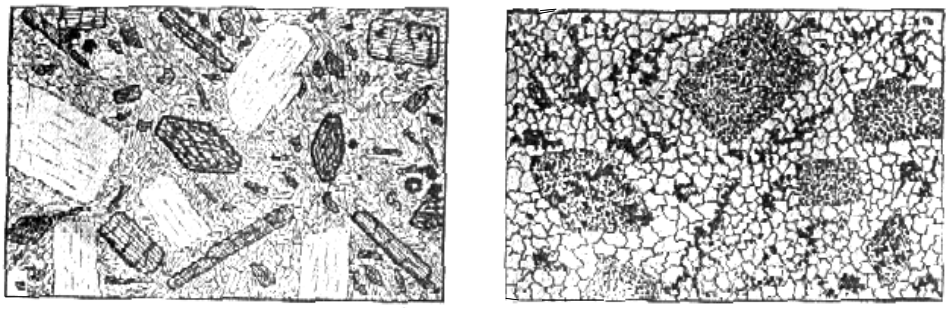


Рис. 26. Схема пространственных соотношений гранитов (1) и вмещающих их сланцев и гнейсов (2) с грейзенизированными породами (3) и рудными жилами (4); по Б. И. Омельяненко.

Березиты - кварц, серицит (очень мелкая белая слюда), пирит, карбонат. Образуются по породам кислого и среднего состава (рис. 27). Температура березитизации менее 350ºС. Встречаются на месторождениях золота (например, на Березовском месторождении золота, по которому и дано название породы), урана и др.

Лиственити - железисто-магнезиальный карбонат (не вскипает под действием разбавленной соляной кислоты), кварц, зеленая хромовая слюдка. Возникают по ультраосновным породам. Встречаются на месторождениях золота (Березовское) и др.



а *б*

Рис. 27. Березитизация диоритового порфирита (по Б. И. Омельяненко):
а – неизмененная порода: порфировые вкрапленники плагиоклаза и роговой обманки в мелкозернистой основной массе; *б* – березитизированная порода (внутренняя зона березитизации): вкрапленники плагиоклаза и роговой обманки замещены мелкозернистым пирит-кварц-серицитовым, а основная масса – пирит-кварцевым агрегатом (пирит – черное)

Тальк- и хлорит-карбонатные породы - образуются по ультраосновным породам (например, на Шабровском месторождении талька).

Б) **Скарны**

Известковые скарны - *высокотемпературные* (гранат-андрадит, пироксен, магнетит и др.) и *низкотемпературные* (эпидот, амфиболы, кальцит, халькопирит и др.). Образуются преимущественно на контактах карбонатных пород с гранитами.

В) **Щелочные метасоматиты**

К щелочным метасоматитам относятся, например, а*льбитизированные породы* и к*алиевые метасоматиты*

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

Белоусова О. Н., Михина В. В. Общий курс петрографии. М., Недра, 1972.

Миловский А. В. Минералогия и петрография. М., Недра, 1979.

Дополнительная:

Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических пород. М., Логос, 2001.

Петрографический кодекс. Л., Недра, 1995.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите факторы метаморфизма.
2. Охарактеризуйте текстуры метаморфических пород и условия их образования.
3. Назовите минеральный состав пород зеленосланцевой и амфиболитовой фаций регионального метаморфизма.
4. Продукты метаморфизма глинистых пород.

5. Продукты метаморфизма основных пород.
6. Приведите примеры метасоматических пород, возникших по а) кислым, б) ультраосновным магматическим породам.
7. Минеральный состав и условия образования скарнов.
8. Охарактеризуйте метасоматические изменения пород под действием кислых растворов.
9. Изменения плотности и пористости горных пород при регионально-метаморфических и метасоматических изменениях.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

(Минералы, породы, термины)

Актинолит 19
Акцессорные минералы.....25
Алевритовая структура.....41
Алевролит 41
Аллювиальные фации.....51
Алмаз 12, 15
Альбит 20
Алюмосиликаты 13
Аметист 6
Амфиболит.....56
Амфиболы.....19, 26
Ангидрит.....17, 47
Андезит 29
Анизотропия 4
Анортит.....20
Антимонит 15
Апатит 17
Аргиллит 44
Аридный климат 53
Арсенопирит.....15
Афанитовая структура.....26
Базальт 29, 30
Барит.....17
Бар.....41, 49
Берилл 18
Биотит.....19, 25
Биохимическое осаждение.....35
Боксит.....48
Болотные фации 51
Брекчия.....40
Вольфрамит 17
Вулканический туф.....30
Вулканогенно-обломочные породы...24, 30
Габбро 29
Галенит.....15
Галит.....16
Гематит.....16
Гиббсит 34
Гидрослюда.....20, 34
Гипс 17, 47
Глауконит.....53
Глинистый сланец.....44
Глинозем 24
Глина 42
Гнейс 56
Гнейсовидная текстура.....55
Горючие сланцы.....48
Гравеллит.....53
Гравий 39
Гранаты.....18
Гранит 29
Гранулит 56
Графит.....15
Грейзен.....59
Гумидный климат 53
Дельтовые фации 41, 51
Диамагнитные минералы 9
Диатомит.....48
Диорит.....29
Доломит 17, 38, 46
Доманиковые формации 52
Дресва 39
Друза 5
Дунит.....28, 32
Зеленый сланец 55
Золото.....12, 15
Известняк.....45
Ильменит 16
Калиевый полевой шпат.....20
Кальцит 17
Каменная соль 47
Каолинит.....20, 34,
Катаклазит 58
Кварц.....20, 25
Кварцевый диорит 31
Кварцит.....56
Киноварь.....15
Кислые породы 24
Коллектор 53
Конгломерат 40
Конкреция.....5, 38
Корунд 16
Кремнекислота 24
Кремень.....48
Кристаллические сланцы 56
Лагунные фации.....50
Лапилли 30
Лесс 41
Лимонит.....16
Линейная текстура.....55
Лиственит 59
Магматическая формация 30

Магнезит 17
Магнетит 16
Малахит....17
Ме́ргель 46
Метаморфическая фация....55
Метасоматоз 58
Мигматит 57
Микроклин....20
Милонит....58
Молассовая формация 52
Молибденит 15
Монтмориллонит 20
Морские фации....41, 49
Мрамор....57
Мусковит....19
Мутьевые потоки 35, 37, 53
Натечные агрегаты....5
Нефелин 20
Озерные фации 51
Оливин 18, 26
Оолит....45
Опал....16
Опока....48
Ортоклаз....20
Осадочная формация 52
Основные породы 24
Парамагнитные минералы 9
Пелитовая....43
Пелитоморфный известняк 45, 46
Перидотит 28
Песчаник 40
Пирит....15, 38
Пироксены 18, 26
Пиролюзит 16
Пироп 12
Пирротин....15
Плагиоклазы 6, 7, 20, 25
Платина 15
Побежалость 11
Покрышки 53
Полевые шпаты 20, 25
Порфировая структура....27
Прибрежно-морские фации....41
Пролювий....53
Псаммитовая структура....40
Псефитовая структура 39
Пьезоэлектрический эффект 9
Растворения под давлением....39
Речные фации 41
Риолит 29, 31
Риф 46
Роговая обманка....19
Рубин....6
Рутил 16
Сапропель 48, 51
Сера 15
Серпентин....19
Серпентинизация 33
Серпентинит....55
Сидерит....17
Сиенит....29
Сильвин....16
Сильвинит....47
Скарн....60
Сланцеватая текстура 55
Слоистость....36
Слойчатость....36
Слюды 19
Средние породы....24
Стилолитовый шов 39
Сфалерит....6, 15
Тальк- 19, 59
Тектоническая брекчия 58
Терригенные осадки 53
Топаз 18
Торф 48
Трансгрессия 53
Трапповая формация 30
Трахит 29
Трепел 48
Турмалин 18
Туффит....53
Ультраосновные породы....24
Фация осадочная....49
Ферромагнитные минералы....9
Филлит 55
Флиш....53
Флюидоупор....53
Флюорит 16
Халцедон....20
Халькопирит....15
Хлорит....19
Хлорит-карбонатные породы 59
Хризотил-асбест....19
Хромит 16
Циркон....18
Эклогит 56
Элювиальные фации....51
Эоловые фации....41
Эпидот....18

Олег Анатольевич Суставов

МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

Учебно-методическое пособие
по дисциплине для студентов специальностей 080400 - «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» (РФ) и 080900 - «Геофизические методы исследования скважин» (ГИС)

.

Корректура кафедры минералогии, петрографии и геохимии

Подписано в печать
Бумага писчая. Формат 60x84 1/16. Печать на ризографе.
Печ .л. 4,0. Уч.-изд. л. 3,6. Тираж 100 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Лаборатория множительной техники

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методическому комплексу

_____ С.А. Упоров

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ ЗЕМЛИ

Специальность:

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Болотнова Л. А.,Филатов В. В.

Екатеринбург

2020

Ф 51

Рецензенты: *Д. С. Васшаль*, канд. геол.-минерал. наук, Геофизический отдел Комитета природных ресурсов по Свердловской области;
В. В. Кормильцев, д-р геол.-минерал. наук, профессор, зав. лабораторией электрометрии ИГ УрО РАН

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Уральского государственного горного университета

Филатов В. В., Кузин А. В.

Ф 51 ФИЗИКА ЗЕМЛИ: практикум / В. В. Филатов, А. В. Кузин; Урал. гос. горный ун-т. – Изд. 3-е, исправл. и доп. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. – 26 с.

Практикум содержит темы, методические указания, формулы, варианты заданий для выполнения практических занятий по дисциплине «Физика Земли». В справочном отделе приведены численные значения основных физических параметров Земли и физических констант, указания по переводу единиц физических величин в Международную систему СИ.

Практикум предназначен для студентов вузов, обучающихся по специальности 21.05.03 – «Технология геологической разведки».

© Филатов В. В., Кузин А. В., 1999
© Филатов В. В., Кузин А. В., 2001
© Филатов В. В., Кузин А. В., 2011
© Уральская государственная горно-геологическая академия, 1999, 2001
© Уральский государственный горный университет, 2011

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБСОЛЮТНОГО ВОЗРАСТА ГОРНЫХ ПОРОД

Содержание работы: по результатам определения изотопов свинца Pb^{204}, Pb^{206}, Pb^{207}, Pb^{208} в горных породах различных месторождений вычислить абсолютный возраст этих пород.

Расчетные формулы:

$$\frac{Pb^{206}}{Pb^{204}} = 18{,}90 - 12{,}00\left(e^{0{,}155t} - 1\right); \qquad (1.1)$$

$$\frac{Pb^{207}}{Pb^{204}} = 15{,}98 - 0{,}086\left(e^{0{,}972t} - 1\right); \qquad (1.2)$$

$$\frac{Pb^{208}}{Pb^{204}} = 38{,}82 - 37{,}00\left(e^{0{,}049t} - 1\right). \qquad (1.3)$$

Пример задания исходных данных и оформления результатов расчетов дан в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Содержание изотопов свинца, возраст абразцов горных пород

Месторождение	Изотопный состав свинца			Возраст по трем изотопным отношениям, млрд лет	Среднее значение возраста, млрд лет
	Pb^{206}	Pb^{207}	Pb^{208}		
Рудник Садбери	16,20	15,36	36,99		
Рудник Садбери	16,15	15,60	35,94		
Юго, Швеция	15,92	15,61	35,89		
Корске, Финляндия	15,95	15,57	36,26		
Перцайя, Финляндия	15,85	15,51	36,00		
Сандала, Карелия	14,88	14,91	33,31		
Шиткеранта, Карелия	14,26	14,77	33,23		
Кемь, Карелия	15,43	14,87	34,50		
Сала, Швеция	15,40	14,95	34,00		

Примечание. Содержание Pb^{204} равно 1, варианты исходных заданий приведены в главе 10.

Задание

1. Преобразовать формулы (1.1)–(1.3) к виду, позволяющему определить время *t*.

2. Провести расчеты абсолютного возраста для каждого образца по трем преобразованным формулам (1.1)–(1.3).

3. Рассчитать среднее значение возраста каждого образца по трем определениям (резко отличающиеся значения возраста при расчете среднего значения следует отбросить, так как отдельные изотопы могли быть привнесены или вынесены из горных пород при метасоматозе и других геологических явлениях).

2. ВЫЧИСЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Содержание работы: по формуле Гельмерта 1884 г. и одной из формул (2)–(15) вычислить нормальное значение ускорения силы тяжести в зависимости от ширины точки на поверхности Земли в интервале широт от 90° (полюс) до 0° (экватор). Шаг измерения широты $\Delta\varphi = 10°$. Величину долготы (при расчетах по некоторым формулам) принять 60°. По результатам расчетов построить графики (рис. 2.1).

Расчетные формулы:

1. Гельмерт, 1884 г.

$$\gamma_0 = 978{,}00\left(1 + 0{,}005310\sin^2\varphi\right);$$

2. Гельмерт, 1901–1909 гг.

$$\gamma_0 = 978{,}030\left(1 + 0{,}005302\sin^2\varphi - 0{,}000007\sin^2\varphi\right);$$

3. Гельмерт, 1915 г.

$$\gamma_0 = 978{,}052\left[1 + 0{,}005285\sin^2\varphi - 0{,}000007\sin^2\varphi + 0{,}000018\cos^2\varphi\cos 2\left(\lambda + 17^\circ\right)\right];$$

4. Боуи, 1917 г.

$$\gamma_0 = 978{,}039\left(1 + 0{,}005294\sin^2\varphi - 0{,}000007\sin^2 2\varphi\right);$$

5. Гейсканен, 1924 г.

$$\gamma_0 = 978{,}052\left[1 + 0{,}005285\sin^2\varphi - 0{,}000007\sin^2 2\varphi + 0{,}000027\cos^2\varphi\cos 2\left(\lambda + 18^\circ\right)\right];$$

6. Гейсканен, 1928 г.

$$\gamma_0 = 978{,}049\left[1 + 0{,}005293\sin^2\varphi - 0{,}000007\sin^2 2\varphi + 0{,}000019\cos^2\varphi\cos 2\left(\lambda + 0^\circ\right)\right];$$

7. Гейсканен, 1928 г.

$$\gamma_0 = 978{,}049\left(1 + 0{,}005289\sin^2\varphi - 0{,}000007\sin^2 2\varphi\right);$$

8. Кассинис, 1930 г.

$$\gamma_0 = 978{,}049\left(1 + 0{,}0052884\sin^2\varphi - 0{,}0000059\sin^2 2\varphi\right);$$

9. Гейсканен, 1938 г.

$$\gamma_0 = 978{,}0524\left[1 + 0{,}0052970\sin^2\varphi - 0{,}0000059\sin^2 2\varphi + 0{,}0000276\cos^2\varphi\cos 2\left(\lambda + 25^\circ\right)\right];$$

10. Жонглович, 1952 г.

$$\gamma_0 = 978{,}0573\left(1 + 0{,}0052837\sin^2\varphi - 0{,}0000059\sin^2 2\varphi\right);$$

11. Жонглович, 1952 г.

$$\gamma_0 = 978{,}0573\left[1 + 0{,}005268\sin^2\varphi - 0{,}0000059\sin^2 2\varphi + 0{,}0000155\cos^2\varphi\cos 2\left(\lambda + 6^\circ\right)\right];$$

12. Гейсканен, 1957 г.

$$\gamma_0 = 978{,}0497\left(1 + 0{,}0032902\sin^2\varphi - 0{,}0000059\sin^2 2\varphi\right);$$

13. Гейсканен, 1957 г.

$$\gamma_0 = 978{,}0516\left[1 + 0{,}0052910\sin^2\varphi - 0{,}0000059\sin^2 2\varphi + 0{,}0000106\cos^2\varphi\cos 2\left(\lambda + 6^\circ\right)\right];$$

14. Грушинский, 1960 г.

$$\gamma_0 = 978{,}0531\left(1 + 0{,}0052883\sin^2\varphi - 0{,}0000059\sin^2 2\varphi\right);$$

15. Международная формула, 1967 г.

$$\gamma_0 = 978{,}01318\left(1 + 0{,}0053024\sin^2\varphi - 0{,}0000059\sin^2 2\varphi\right).$$

Пример оформления результатов расчетов.

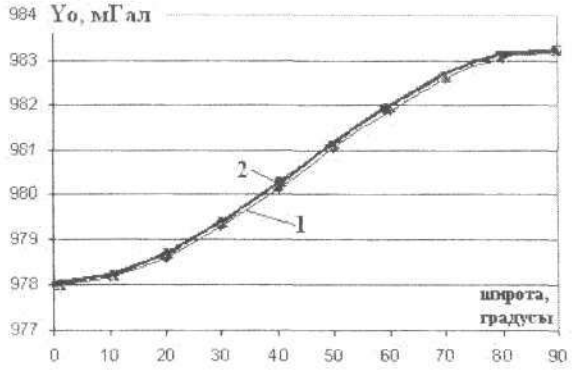


Рис. 2.1. Изменение нормального значения ускорения силы тяжести в зависимости от широты:

1 – формула Гельмерта, 1884 г.; *2* – одна из формул (2)–(15)

3. ИЗМЕРЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Содержание работы: провести измерение ускорения силы тяжести по вертикальному профилю и вычислить нормальное значение вертикального градиента ускорения силы тяжести.

Оборудование: гравиметр типа ГАК, ГНУ-КС, батарея напряжением 3 В, мерная лента (рулетка).

Порядок выполнения работы

1. Место проведения измерений. Измерения выполняют вдоль вертикального профиля, совмещенного с лестничным пролетом. Пункты наблюдения располагаются на площадках первого и четвертого этажей.

2. Методика измерений.

а) установить гравиметр на площадке, провести его горизонтирование с помощью подъемных винтов;

б) подключить батарею к разъемам гравиметра, при этом загорится лампочка подсветки оптической системы, прибор готов к работе;

в) вращая микрометренный винт измерительного устройства, совместить блик в окуляре гравиметра с нулевой линией внутренней шкалы;

г) взять отчет S_i на отсчетном устройстве гравиметра, записать его в журнал;

д) вращением измерительного винта (влево или вправо, но всегда в одну сторону) отвести блик и снова совместить его с нулевой линией, взять новый отсчет. Должно быть взято пять отсчетов на каждой точке измерения. Исключить из отсчетов наибольший и наименьший, по оставшимся трем рассчитать среднее значение.

3. Схема измерений. Измерения относительного изменения ускорения силы тяжести на двух площадках, расположенных на различной высоте, выполняют по цикловой схеме (рис. 3.1). Цикловая схема измерений предусматривает взятие отсчета S_1 на площадке I, переход на площадку II, взятие отсчета S_2, возвращение на площадку I, взятие отсчета S'_1.

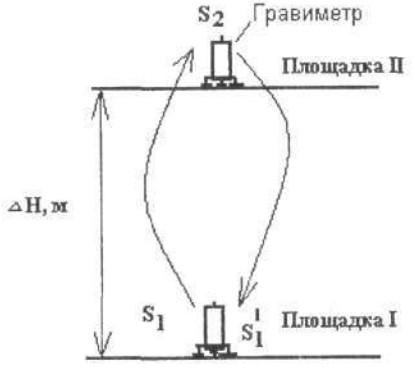


Рис. 3.1. Схема измерений ускорения силы тяжести и ее вертикального градиента

4. Расчет относительного изменения силы тяжести между двумя площадками проводят по формуле

$$\Delta g = C\left[S_2 - \frac{1}{2}(S_1 + S_1')\right], \qquad (3.1)$$

где C – цена деления гравиметра.

5. Мерной лентой измеряют разность высот ΔH между площадками.

6. Вычисляют вертикальный градиент ускорения силы тяжести (мГал/м):

$$g(H) = \frac{\Delta g}{\Delta H} \qquad (3.2)$$

и сравнивают его с теоретическим значением 0,3086 мГал/м.

4. ПОСТРОЕНИЕ ГОДОГРАФОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Содержание работы:

– выполнить корреляцию (с помощью преподавателя) на учебной сейсмограмме фаз прямой и преломленной волн;

– построить на миллиметровой бумаге годографы волн: прямой ($\Gamma_{пр}$), преломленной ($\Gamma_{гол}$) (рис. 4.1);

– рассчитать скорость волн по годографам (см. рис. 4.1).

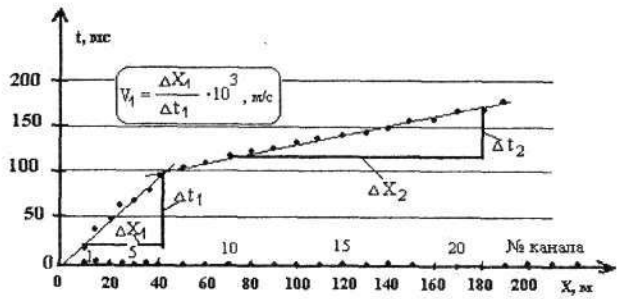


Рис. 4.1. Годографы прямой и преломленной волн

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЭПИЦЕНТРА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Содержание работы: зная координаты планового положения сейсмических станций (рис. 5.1) и время регистрации продольных T_p и поперечных T_s упругих волн от очага землетрясения (табл. 5.1), определить координаты эпицентра землетрясения.

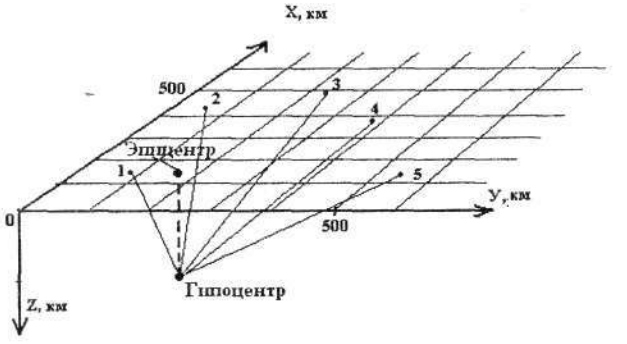


Рис. 5.1. Схема хода лучей упругих волн
от гипоцентра землетрясения к сейсмическим станциям

Таблица 5.1

Координаты станций и время регистрации прихода волн

Сейсмологические станции	Координаты станций, км		Отметка прихода времени волн, с		Разность, с	Абсолютное время, с	
	X	Y	T_p	T_s	$T_s - T_p$	t_p	t_s
1	800	200	70,28	109,77			
2	1000	900	99,98	160,68			
3	1100	400	85,72	136,23			
4	400	100	99,98	160,68			
5	200	300	106,28	171,48			

$V_p = 6$ км/с, $V_s = 3{,}5$ км/с.

Порядок выполнения работы

Построить график Вадати (рис. 5.2) и определить по нему время, когда произошло землетрясение (t_o).

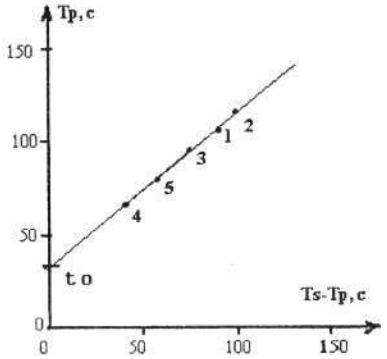


Рис. 5.2. График Вадати

2. Вычислить время распространения продольной и поперечной волн от очага землетрясения до сейсмических станций по формулам:

$$t_p = T_p - t_o; \quad (5.1)$$

$$t_s = T_s - t_o. \quad (5.2)$$

По формулам (5.3) и (5.4) определить координаты эпицентра землетрясения:

$$x_0 = \frac{B_2 D_1 - B_1 D_2}{A_1 B_2 - B_1^2}; \quad (5.3)$$

$$y_0 = \frac{A_1 D_2 - B_1 D_1}{A_1 B_2 - B_1^2}, \quad (5.4)$$

где A_1, B_1, B_2, D_1, D_2 – коэффициенты, определяемые по формулам:

$$A_1 = \sum_{i=2}^{5}\left[2(x_1 - x_i)\right]^2; \quad B_1 = \sum_{i=2}^{5}\left[2(x_1 - x_i)\right]\left[2(y_1 - y_i)\right]; \quad B_2 = \sum_{i=2}^{5}\left[2(y_1 - y_i)\right]^2;$$

$$D_1 = \sum_{i=2}^{5}\left\{2(x_1 - x_i)\left[\left(x_1^2 - x_i^2\right) + \left(y_1^2 - y_i^2\right) + V_p^2\left(t_{pi}^2 - t_{p1}^2\right)\right]\right\};$$

$$D_2 = \sum_{i=2}^{5}\left\{2(y_1 - y_i)\left[\left(x_1^2 - x_i^2\right) + \left(y_1^2 - y_i^2\right) + V_p^2\left(t_{pi}^2 - t_{p1}^2\right)\right]\right\}.$$

4. Построить на миллиметровой бумаге схему расположения сейсмических станций и показать на ней положение эпицентра землетрясения.

6. ВЫЧИСЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА ДЛЯ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Содержание работы:

1. Рассчитать теоретические значения среднего температурного градиента (G) по данным табл. 6.1:

$$G = \left(\frac{A}{\lambda}\right)H. \quad (6.1)$$

Таблица 6.1

Значения удельной объемной теплогенерации и коэффициента теплопроводности для модели земной коры

Теплогенерация $A \cdot 10^{-7}$, Вт/м^3	Теплопроводность λ, Вт/(м·°С)
7,5	1,9–3,2
7,6	2,6–3,5
8,9	2,1–2,3

2. Рассчитать кривые теоретических температур T в земной коре по формуле:

$$T = T_o + \frac{A}{3\lambda}\left[\frac{1}{2}\left(R_3^2 - R^2\right) - \left(R_3 - H\right)^3 \frac{R_3 - R}{R_3 R}\right], \quad (6.2)$$

где T_o = 0 °С – температура на поверхности Земли; R_3 – радиус земного шара, 6371 км; R – расстояние от центра Земли до произвольной точки внутри земной коры, R изменяется от 6369 до 6331 км с шагом 2 км; H = 40 км – мощность коры.

3. Построить график изменения температуры для модели земной коры (рис. 6.1).

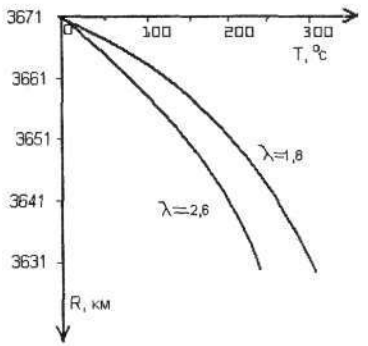


Рис. 6.1. Графики температуры для модели земной коры

7. ИЗМЕРЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Содержание работы: провести измерение вариаций вертикальной составляющей магнитной индукции (*z*-составляющей) геомагнитного поля в течение 5 минут с интервалом времени 5-10 с путем снятия отсчетов по шкале оптико-механического магнитометра типа М-27. Результаты измерений и вычислений записать в специальный журнал.

Обработка результатов:

1. Значения отсчетов магнитометра умножить на цену деления (10 нТл/деление), записать в соответствующую колонку таблицы.

2. Построить вариограмму (рис. 7.1).

3. Определить амплитуду изменения значений магнитной индукции за время наблюдения.

4. Оценить интенсивность вариаций в баллах (табл. 7.1).



Рис. 7.1. Вариограмма значений вертикальной составляющей магнитного поля (время местное)

Таблица 7.1

Шкала балльности вариаций магнитного поля

Амплитуда изменения индукции магнитного поля, нТл	0–5,5	11	22	44	77	132	220	363	550	>550
Баллы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Оценка	Норма			Возмущение		Буря				

8. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГРАВИТАЦИОННЫХ И РОТАЦИОННЫХ СИЛ ЗЕМЛИ

1. Определить величину ускорения силы тяжести на полюсах Земли в единицах СИ, в миллигалах, по формуле

$$g = \frac{kM_3}{R^2}, \qquad (8.1)$$

где k – гравитационная постоянная; M_3 – масса Земли; R – полярный радиус Земли (см. эти и прочие параметры в главе 11).

Рассчитать силу гравитационного притяжения единичной массы (1 кг).

2. Рассчитать центробежную силу, действующую на физическое тело, расположенное на: а) экваторе Земли, б) на широте

56°. Определить центробежное ускорение, действующее на единичную массу данного тела, перевести значение ускорения в миллигалы по формулам:

$$F_{цб} = m\omega^2 R = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R, \quad (8.2)$$

$$C = \frac{F_{цб}}{m}. \quad (8.3)$$

3. Определить соотношение силы притяжения и центробежной силы, действующих на единичную массу, расположенную: а) на экваторе Земли на широте 30°, по формулам (8.1), (8.3), (8.4)

$$C_{(\varphi)} = \omega^2 R\cos^2\varphi. \quad (8.4)$$

4. Рассчитать линейную скорость материальной точки, расположенной: а) на экваторе Земли, б) на широте 35° по формулам:

$$V = \frac{2\pi}{T}R; \quad (8.5)$$

$$V = \frac{2\pi}{T}R\cos\varphi. \quad (8.6)$$

5. Определить силу притяжения между Землей и Луной по формуле

$$F = \frac{kM_З M_Л}{R_{ЗЛ}^2}. \quad (8.7)$$

6. Определить линейную скорость движения Земли по орбите вокруг Солнца по формуле

$$V_З = \frac{2\pi}{T_З}R_{С-З}, \quad (8.8)$$

где $T_З$ – время движения Земли по орбите вокруг Солнца, звездный год (в секундах).

9. ОБРАБОТКА ДАННЫХ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Содержание работы. При магнитотеллурических зондированиях (МТЗ) регистрируют в течение нескольких часов или суток вариации геомагнитного поля и вариации наведенных (индуцированных) электрических токов в Земле. По соотношению напряженности E электрического и индукции B магнитного полей рассчитывают комплексное сопротивление среды – импеданс $Z = E/H$. По импедансу рассчитывают значения удельного электрического сопротивления ρ_T. Индекс T при сопротивлении означает, что его величина определяется для электромагнитного поля с определенным периодом колебаний T, то есть с различной частотой. Известно, что волны с низкой частотой распространяются на больших глубинах, а с высокой – у поверхности проводника (Земли). Это проявление так называемого «поверхностного эффекта» в распространении электромагнитных волн в проводнике. Выделяя на вариограммах волны различной частоты, можно оценить удельное электрическое сопротивление различных слоев Земли, вплоть до ее ядра.

При построении кривых МТЗ на билогарифмических бланках по одной из осей откладывают ρ_T, а по другой – значения корня квадратного из величины периода электромагнитного колебания (рис. 9.1).

На кривых МТЗ к ее восходящим частям можно провести вспомогательные линии продольной проводимости S, а к нисходящим – линии h мощности слоев высокого поперечного сопротивления. Используя значения квадратного корня из периода колебаний волн, отсекаемых этими линиями по формулам (9.1)–(9.6), можно определить значения продольной проводимости низкоомных слоев и мощности слоев высокого сопротивления:

$$S_1 = 356\sqrt{T_S}; \quad (9.1)$$

$$S_{10} = 114\sqrt{T_S}; \quad (9.2)$$

$$S_{100} = 35{,}6\sqrt{T_S}; \quad (9.3)$$

$$h_1 = 0{,}396\sqrt{T_h}; \quad (9.4)$$

$$h_{10} = 1{,}28\sqrt{T_h}; \quad (9.5)$$

$$h_{100} = 3{,}96\sqrt{T_h}. \quad (9.6)$$

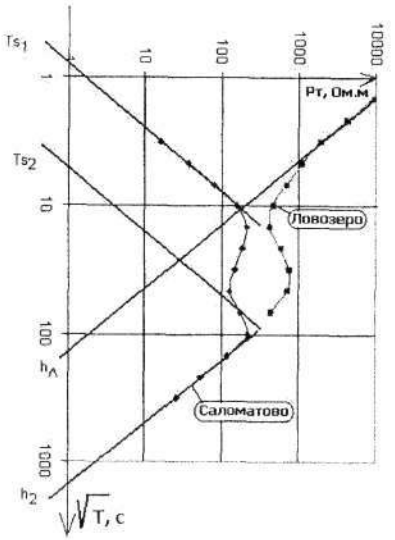


Рис. 9.1. Кривые МТЗ и вспомогательные линии

Индексы 1, 10, 100 означают значение ρ_T на билогарифмическом бланке, через которое проходит ось $\sqrt{T}$, на которой для конкретной кривой МТЗ сняты значения T_S и T_h.

Порядок выполнения работы

1. Построить на билогарифмическом бланке кривую МТЗ.

2. Провести на кривой асимптотические линии продольной проводимости S и мощности слоев высокого поперечного сопротивления h.

3. Снять значения $\sqrt{T_S}$ и $\sqrt{T_h}$ для выделяемых пластов с повышенной продольной проводимостью и повышенным поперечным сопротивлением и по формулам (9.1)–(9.6) рассчитать значения продольной проводимости и мощности слоев высокого поперечного сопротивления.

4. Рассчитать удельное электрическое сопротивление ρ_T верхнего слоя мощностью H = 40 км (40000 м), воспользовавшись формулой: $H = S\rho_T$.

5. Дать геологическое истолкование полученным при обработке кривой МТЗ результатам, то есть оценить мощности выделяемых слоев: коры, глубины до астеносферного слоя, мощности высокоомной мантии, глубины до электропроводного ядра и т. п.

6. Составить краткую пояснительную записку к выполненной работе.

10. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

1. Определение абсолютного возраста горных пород свинцовым методом.

Месторождение	Содержание изотопов свинца		
	Pb^{206}	Pb^{207}	Pb^{208}
1	2	3	4
Задание 1			
Питкеранта, Карелия	14,26	14,77	33,23
Кинов-Кознала, Финляндия	14,27	14,64	32,96
Кинов-Кознала, Финляндия	14,85	14,99	34,44
Беломорье, Карелия	14,97	15,13	35,00
Северная Варака, Карелия	14,76	14,96	35,20
Кемь, Карелия	15,43	14,87	34,50
Сала, Швеция	15,40	14,95	34,00
Орнарви, Финляндия	15,74	15,46	34,04
Орнарви, Финляндия	16,50	15,70	36,80
Задание 2			
Лонгбон, Швеция	15,83	15,45	35,60
Тэдино, Карелия	14,76	14,85	35,17
Юто, Швеция	15,92	15,61	35,89

Продолжение задания 1

Месторождение	Содержание изотопов свинца		
	Pb^{206}	Pb^{207}	Pb^{208}
1	2	3	4
Фалун, Швеция	15,34	14,99	33,84
Фалун, Швеция	15,89	15,66	35,86
Корске, Финляндия	15,95	15,57	36,26
Атту, Финляндия	15,82	15,47	35,89
Айла, Финляндия	15,95	15,64	36,24
Пакили, Финляндия	15,73	15,36	35,30
Задание 3			
Парнайа, Финляндия	15,85	15,51	36,00
Пенийавара, Финляндия	15,74	15,45	35,98
Оутокульту, Финляндия	14,90	15,23	35,21
Ялонвара, Приладожье	14,95	15,04	34,35
Клее 6, Питкеранта	14,72	14,96	33,61
Люппико, Питкеранта	14,66	14,88	33,75
Хонунвара, Питкеранта	14,60	14,86	33,54
Фадейн, Келья	14,90	14,92	33,71
Сондала, Карелия	14,88	14,91	33,31
Задание 4			
Рудник Садбери	16,20	15,76	36,99
То же	16,15	15,60	35,94
Юто, Швеция	15,92	15,61	35,89
Корске, Финляндия	15,95	15,57	36,26
Пернайа, Финляндия	15,85	15,51	36,00
Сондала, Карелия	14,88	14,91	33,31
Питкеранта, Карелия	14,26	14,77	33,23
Кемь, Карелия	15,43	14,87	34,50
Сала, Швеция	15,40	14,95	34,00
Задание 5			
Галениты из Тандер	18,19	15,31	37,78
Бай, Онтарио	18,32	15,25	37,14
Рудник Садбери, Онтарио	16,30	15,49	36,97
То же	16,43	15,69	36,93
– " –	15,99	15,48	36,56
– " –	16,20	15,16	36,99
– " –	16,15	15,60	35,94
– " –	15,94	15,34	36,56
«8-е Марта»	18,02	15,42	37,91

5. Определение координат эпицентра землетрясения

Сейсмологические станции	Координаты станций, км		Отметка времени прихода волн, с	
	X	Y	T_p	T_s
1	2	3	4	5
Задание 1				
1	300	500	78,87	127,80
2	500	200	70,10	113,03
3	1200	300	101,28	166,48
4	1000	600	62,78	100,48
5	700	900	78,87	127,80
Задание 2				
1	200	400	104,98	165,68
2	600	500	43,35	60,40
3	1000	700	82,37	126,91
4	800	300	60,82	89,97
5	1100	100	115,73	184,11
Задание 3				
1	800	200	70,28	109,77
2	1000	900	99,98	160,68
3	1100	400	85,72	136,23
4	400	100	99,98	160,68
5	200	300	106,28	171,48
Задание 4				
1	1000	400	65,28	104,77
2	300	900	105,73	174,11
3	400	400	65,28	104,77
4	700	1000	94,98	155,68
5	200	800	108,60	179,03
Задание 5				
1	500	600	55,82	84,97
2	900	1000	106,28	171,48
3	300	800	99,98	160,68
4	100	400	117,74	191,11
5	1100	500	83,87	12,80
Задание 6				
1	600	400	33,87	54,48
2	900	1000	94,75	158,96
3	100	500	105,00	176,43
4	300	1100	125,18	211,03
5	200	800	102,18	171,60

Продолжение задания 5

1	2	3	4	5
Задание 7				
1	100	400	115,73	189,11
2	400	1200	141,02	232,46
3	1000	600	68,28	107,77
4	1200	700	104,28	169,48
5	300	100	108,73	177,11
Задание 8				
1	1200	900	115,02	192,17
2	800	300	47,82	76,97
3	200	1000	126,02	211,03
4	600	200	62,28	101,77
5	100	700	113,72	189,94
Задание 9				
1	900	900	94,75	158,86
2	1000	400	77,65	129,54
3	800	300	67,36	111,90
4	500	200	83,17	139,01
5	600	600	60,28	99,76
Задание 10				
1	1000	500	80,09	123,01
2	400	400	82,36	126,90
3	300	100	120,08	191,43
4	1000	200	98,07	154,01
5	300	700	101,65	159,97

6. Вычисление температуры (*T*) и геотермического градиента (*G*) для модели земной коры

Задание	Плотность тепловых источников $A \cdot 10^{-7}$, Вт/м^3	Температуропроводность горных пород, Вт/м·°С
1	7,9	2,1–3,1
2	8,0	2,2–2,8
3	8,4	2,1–3,7
4	8,5	3,6–5,3
5	7,9	2,0–3,0
6	8,9	2,1–2,7
7	8,2	1,5–2,2
8	8,3	2,0–2,3
9	8,6	2,5–3,2
10	8,7	1,3–1,8

Продолжение задания 6

Задание	Плотность тепловых источников, $A \cdot 10^{-7}$, Вт/м^3	Температуропроводность горных пород, Вт/м·°С
11	8,0	1,9–3,2
12	8,1	2,6–3,5
13	8,0	1,8–3,1
14	8,1	2,5–3,4
15	8,6	2,6–3,3
16	8,7	1,4–1,9
17	8,2	1,6–2,3
18	8,3	2,1–2,4
19	8,4	2,0–3,8
20	8,5	3,7–5,2

11. СПРАВОЧНЫЙ ОТДЕЛ

Радиоактивные элементы и константы их распада

Элемент	Кларк изотопа, умноженный на относит. содержание изотопа в природной смеси элементов, %	Конечный продкт распада	Постоянная распада λ, 1/лет	Период полураспада, *T*, лет
Уран U_{92}^{238}	$2{,}6 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}993$	Свинец Pb_{82}^{208}	$1{,}53 \cdot 10^{-10}$	$4{,}498 \cdot 10^{9}$
Актиноуран U_{92}^{235}	$2{,}6 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}0073$	Свинец Pb_{82}^{207}	$9{,}722 \cdot 10^{-10}$	$7{,}13 \cdot 10^{8}$
Торий Th_{90}^{232}	$11{,}3 \cdot 10^{-4} \cdot 1$	Свинец Pb_{82}^{208}	$4{,}931 \cdot 10^{-11}$	$1{,}39 \cdot 10^{10}$
Рубидий Rb_{37}^{87}	0,009·0,272	Стронций Sr_{38}^{87}	$1{,}39 \cdot 10^{-11}$ $1{,}47 \cdot 10^{-11}$	$5{,}0 \cdot 10^{10}$ $4{,}7 \cdot 10^{10}$
Самарий Sm_{62}^{146}	$7 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}149$	Неодим Nd_{60}^{143}	$6{,}6 \cdot 10^{-12}$	$1{,}05 \cdot 10^{10}$
Неодим Nd_{60}^{150}	$3{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}056$	Прометий Pm_{61}^{150}	$6{,}9 \cdot 10^{-17}$	$1 \cdot 10^{16}$
Радиоуглерод C_{6}^{14}		Азот N_{7}^{14}	$1{,}245 \cdot 10^{-4}$	5568

Некоторые параметры и законы Солнечной системы

Масса Солнца $M_С = 1{,}991 \cdot 10^{30}$ кг.
Масса Земли $M_З = 5{,}976 \cdot 10^{24}$ кг.
Масса Луны $M_Л = 7{,}17 \cdot 10^{22}$ кг.
Расстояние от Земли до Солнца $150 \cdot 10^6$ км.
Расстояние от Земли до Луны 388400 км.
Экваториальный радиус Земли $R_э = 6378{,}16$ км.
Полярный радиус Земли $R_п = 6356{,}18$ км.
Сжатие Земли $e = (R_э - R_п)/R_э = 1/298{,}25$.
Гравитационная постоянная $K = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ м^3/кг·с^2.
Сила гравитационного притяжения Землей массы m:

$$F = K\frac{mM_З}{R^2}.$$

Центробежная сила, действующая на массу m:

$$F_ц = m\omega^2 r = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r,$$

где T – период вращения; r – радиус вращения.
Звездный год Земли $T_З = 365$ сут. 6 ч. 9 мин. 10 с = 31558150 с.

Перевод внесистемных единиц в единицы СИ

Параметр	Единица измерения	Перевод единицы в СИ
Длина	ангстрем	$1 \cdot 10^{-10}$ м
Объем	литр	$1 \cdot 10^{-3}$ м
Давление	Атмосфера мм рт. ст. бар 760 мм рт. ст.	101325 Па 103,322 Па $1 \cdot 10^5$ Па 101325 Па
Мощность	Лошадиная сила	735,499 Вт
Удельная теплоемкость	кал/(г·К°)	$4{,}1868 \cdot 10^3$ Дж/(г·К°)
Количество теплоты	кал	4,1686 Дж
Удельное количество теплоты	кал/г	$4{,}1868 \cdot 10^3$ Дж/кг
Тепловой поток	кал/с	4,1868 Вт
Теплопроводность	кал/(с·см·К°)	$4{,}1868 \cdot 10^2$ Вт/(м·К°)
Коэффициент лучеиспускания	кал/(с·см^2·К°)	$4{,}1868 \cdot 10^4$ Вт/(м^2·К°)
Газовая постоянная	кал/(г·К°)	$4{,}1868 \cdot 10^3$ Дж/(г·К°)

Перевод различных единиц в метрическую систему

Параметр	Единица измерения	Метрическая система
Длина	1 дюйм 1 фут 1 миля 1 морская миля	2,54 см 30,3 см 1,61 км 1,85 км
Объем	1 л	10^3 см^3
Масса	1 кг	10^3 г
Скорость	1 км/ч	27,8 см/с
Ускорение	1 гал	1 см/с^2
Давление	1 бар 1 атм	10^6 дин/см^2 $1013 \cdot 10^3$ дин/см^2
Энергия	1 Дж	10^7 эрг

Соотношение единиц температуры в различных системах

По Цельсию, °С	По Кельвину, К	По Фаренгейту, F
0	273,2	32
10	283,2	50
20	293,2	68
30	303,2	86
40	313,02	104
100	373,02	212
-40	233,02	-40

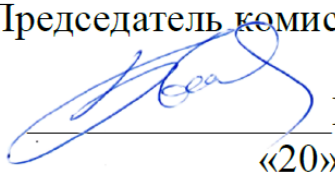
ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Определение абсолютного возраста горных пород 3
2. Вычисление нормального значения ускорения силы тяжести ... 4
3. Измерение ускорения силы тяжести 6
4. Построение годографов сейсмических волн 8
5. Определение координат эпицентра землетрясения 9
6. Вычисление температуры и температурного градиента для модели земной коры 11
7. Измерение вариаций геомагнитного поля 12
8. Теоретический анализ гравитационных и ротационных сил Земли 13
9. Обработка данных магнитотеллурических зондирований 15
10. Варианты заданий 17
11. Справочный отдел 21

МИНОБРНАУКИ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
методической комиссией
факультета геологии и геофизики
Председатель комиссии



_____ В. И. Бондарев
«20» марта 2020 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ККОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«ФИЗИКА ЗЕМЛИ»

Специальность:
21.05.03 – «Технология геологической разведки»
Специализация № 1:
«Геофизические методы поиска и разведки
месторождений полезных ископаемых»
Специализация № 2:
"Геофизические методы исследования скважин"

форма обучения: очная, заочная

Автор: Болотнова Л.А., к.г.-м.н.

Одобрены на заседании кафедры

геофизики

_____

(название кафедры)

Протокол № от

_____

(Дата)

Екатеринбург

2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение
1. Задания контрольной работы
2. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы
   2.1 Оформление контрольной работы
   2.2 Критерии оценки контрольной работы
3. Методические рекомендации по составлению глоссария
4. Рекомендуемая литературы для выполнения контрольной работы

Введение

Данные методические указания разработаны в помощь для выполнения контрольной работы по курсу «Физика Земли».

В методических рекомендациях содержится: перечень вопросов контрольной работы, методические рекомендации по выполнению контрольной работы, перечень рекомендуемых учебных изданий, интернет-ресурсов, дополнительной литературы.

Внимательно прочитайте задание контрольной работы, подготовьте рекомендуемую вам литературу (при необходимости), ознакомьтесь с рекомендациями по выполнению работы, с критериями оценивания работы.

Прежде чем сдать выполненную контрольную работу преподавателю на проверку, выполните самооценку по заданным критериям.

Контрольная работа является обязательной для каждого обучающегося и определяется учебным планом. Наличие положительной оценки по контрольной работе необходимо для получения промежуточной аттестации по дисциплине «Физика Земли».

1. Задания для контрольной работы

Вариант 1

Дайте определения следующим понятиям: сила тяжести, сила тяготения, ускорение силы тяжести, гравитационный потенциал. Укажите на отличительные особенности силы тяжести и силы тяготения.

Вариант 2

Для исследования внутреннего строения Земли используют различные методы. Перечислите эти методы и дайте им сравнительную характеристику.

Вариант 3

Опишите сущность радиоизотопного метода определения абсолютного возраста горных пород?

Вариант 4

Земной магнетизм обусловлен действием постоянных источников, расположенных внутри Земли и испытывающих лишь медленные вековые изменения (вариации) и

внешних (переменных) источников, расположенных в магнитосфере Земли и ионосфере. Что это за источники геомагнитного поля и почему различают основное (главное ~99%) и переменное (~1%) геомагнитные поля?

Вариант 5

Для исследования внутреннего строения Земли используют различные методы. Перечислите эти методы и дайте им сравнительную характеристику.

Вариант 6

Земля несет на себе отрицательный электрический заряд. Откуда и как берется этот на Земле этот заряд? Какие сопутствующие явления имеют место при образовании электрического заряда Земли?

Вариант 7

С какой линейной скоростью (в метрах в секунду) движется Екатеринбург, широта которого $56^0\ 51^/$.

Вариант 8

Если Землю представить глобусом с диаметром в 3 м, как выразится тогда сжатие Земли?

Вариант 9

О глубинном строении Земли судят по продольным и поперечным сейсмическим волнам, которые, распространяясь внутри Земли, испытывают преломление, отражение и затухание, что свидетельствует о расслоености Земли. Сформулируйте основные законы, описывающие указанные процессы.

Вариант 10

Тепловой поток в точке поверхности Земли составляет 0.071 Вт/м^2 . Какой тепловой поток поступает с поверхности мантии, если коэффициент теплопроводности пород земной коры здесь составляет в среднем 2.5 Вт/(мК), а её мощность -–40 км? Температурный градиент –2º /100 м.

Вариант 11

Для того чтобы стрелка компаса, устанавливаясь в плоскости магнитного меридиана, находилась в то же время в горизонтальном состоянии, на южную или северную часть стрелки прикрепляют уравновешивающий груз. С какой стороны необходимо прикрепить груз к стрелке компаса в двух исследуемых точках (долгота 0^0, широта 20 и широта -40)? В какую сторону (к центру или от центра стрелки) необходимо переместить груз для пользования в настоящем году, если последний раз компасом пользовались в 1975 году?

Вариант 12

Охарактеризуйте карты элементов геомагнитного поля (Z,H, T, dT, dH, dZ) эпохи 2015 года.

Вариант 13

Считая скорость изменения элементов геомагнитного поля постоянной с 1975 года, определите значения элементов магнитного поля для текущего года. Начертите в плоскости магнитного меридиана полный вектор геомагнитного поля T, его горизонтальную (H) и вертикальную (Z) составляющие. Покажите на построенной векторной диаграмме наклонение I. В чем принципиально отличаются векторные диаграммы геомагнитного поля в северных и южных широтах?

Вариант 14

Рассчитайте энергию, выделяющуюся в Земле за счёт радиоактивного распада в течение года. Русский учёный В.И. Вернадский считал радиогенную энергию основной для эволюции Земли. Прав ли он, если Земля ежегодно излучает в космическое пространство порядка 9,2·1020Дж, а потери её на тектоно-магматические процессы составляют около 1,26·1020 Дж/год?

Вариант 15

Определите энергию приливного торможения Земли, выделившуюся за период её жизни, если угловая скорость вращения Земли за это время уменьшилась в 2 раза. За счёт чего происходит замедление вращения Земли?

Вариант 16

Оцените среднюю плотность слоев Земли: земной коры, мантии и ядра. Сравните со средней плотностью вещества Земли. Плотности каких минералов они соответствуют? Предложите состав ядра.

2. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

Контрольная работа является индивидуальной самостоятельно выполненной работой студента.

Контрольная работа должна содержать следующие структурные элементы:

1. титульный лист;
2. содержание;
3. ответы на контрольные вопросы;
4. список использованных источников;
5. приложения (при необходимости).

Количество источников в списке определяется студентом самостоятельно, рекомендуемое количество от 5 до 10. При этом в списке обязательно должны присутствовать источники, изданные в последние 5 лет.

2.1 Оформление контрольной работы

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

- текст располагается на одной стороне листа белой бумаги формата А-4;
- размер шрифта - 14 Times New Roman, цвет – черный;
- междустрочный интервал – полуторный;
- поля на странице – размер левого поля – 2 см, правого – 1 см, верхнего - 2 см, нижнего – 2 см;
- текст должен быть отформатирован по ширине листа;
- на первой странице необходимо изложить план (содержание) реферата;
- в конце работы необходимо указать источники использованной литературы.

Список использованных источников должен формироваться в алфавитном порядке по фамилии авторов.

Включенная в список литература нумеруется сплошным порядком от первого до последнего названия. По каждому литературному источнику указывается: автор (или группа авторов), полное название книги или статьи, место и наименование издательства (для книг и брошюр), год издания; для журнальных статей указывается наименование журнала, год выпуска и номер. По сборникам трудов (статей) указывается автор статьи, ее название и далее название книги (сборника) и ее выходные данные. На использованные источники в тексте работы должны быть ссылки

2.2 Критерии оценки контрольной работы

Срок сдачи готовой контрольной работы определяется утвержденным графиком. В случае отрицательного заключения преподавателя студент обязан доработать или переработать контрольную работу. Срок доработки контрольной работы устанавливается преподавателем с учетом сущности замечаний и объема необходимой доработки.

Контрольная работа оценивается по системе:

Оценка "отлично" выставляется за контрольную работу, которая носит исследовательский характер, содержит грамотно изложенный материал, с соответствующими обоснованными выводами.

Оценка "хорошо" выставляется за грамотно выполненную во всех отношениях контрольную работу при наличии небольших недочетов в его содержании или оформлении.

Оценка "удовлетворительно" выставляется за контрольную работу, которая удовлетворяет всем предъявляемым требованиям, но отличается поверхносностью, в ней просматривается непоследовательность изложения материала, представлены необоснованные выводы.

Оценка "неудовлетворительно" выставляется за контрольную работу, которая не носит исследовательского характера, не содержит анализа источников и подходов по выбранной теме, выводы носят декларативный характер.

Обучающийся, не представивший в установленный срок готовую контрольную работу, которая была оценена на «неудовлетворительно», считается имеющим академическую задолженность и не допускается к сдаче экзамена или зачета.

3. Составление глоссария

Выполнить подбор и систематизации терминов, непонятных слов и выражений, встречающихся при выполнении контрольной работы. Расположить после основной части контрольной работы название и значение терминов, слов и понятий в алфавитном порядке.

Роль студента: прочитать материал источника, выбрать главные термины, непонятные слова; подобрать к ним и записать основные определения или расшифровку понятий; критически осмыслить подобранные определения и попытаться их модифицировать (упростить в плане устранения избыточности и повторений.

4.Рекомендуемая литературы для выполнения контрольной работы

Основная литература

1. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли / В.А.Магницкий. - М. : Недра, 2006 - 390 с Гаврилов В.П. Физика Земли: учебник для вузов.М.: Недра – Бизнесцентр, 2008. – 287 с.
2. Павлов А. Н. Геофизика. Общий курс о природе Земли: Учебник / Павлов А. Н. - Санкт-Петербург: Российский государственный гидро-метеорологический университет,2006, ISBN 5-86813-175-4.-454. http://www.iprbookshop.ru/12484
3. Алексеев А. С. Методы решения прямых и обратных задач сейсмологии, электромагнетизма и экспериментальные исследования в проблемах изучения геодинамических процессов в коре и верхней мантии Земли/ Алексеев А. С.- Новосибирск: Сибирское отделение РАН,2010, ISBN 978-5-7692-1135-5.-310 http://www.iprbookshop.ru/15806

Дополнительная литература

1. Орленок В. В. Глобальный вулканизм и океанизация Земли и планет: Монография / Орленок В. В.- Калининград:Российский государственный университет им. Иммануила Канта,2010, ISBN 978-5-9971- 0022-3.-196. http://www.iprbookshop.ru/7358
2. Павлов А. Н. Геофизика. Тема 3 Физические модели Земли. Тема 4 Геофизические поля: Конспект лекций / Павлов А. Н. - Санкт-Петербург: Российский государственный гидро- метеорологический университет, 2004.-69. http://www.iprbookshop.ru/17906
3. Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996, 188 с.
4. Моги К. Предсказание землетрясений / Пер. с англ. М.: Мир, 1988, 382 с.
5. Моисеенко У.И., Смыслов А.А. Температура земных недр. Л.: Недра, 1986, 180 с.
6. Орленок В.В. Физика и динамика внешних геосфер. М.: Недра, 1985, 183 с.
7. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм / Пер. с англ. М.: Мир, 1986, 528 с.

Единое окно доступа к образовательным ресурсам - Режим доступа: http://window.edu.ru

Составитель: _____ Л.А. Болотнова, доцент, к.г.-м.н.

подпись

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД»

специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

год набора: 2018,2019, 2020

Автор: Земцов Н.С. к.г.-м.н.

Одобрен на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Геофизики	
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Талалай А. Г.	Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 12 от 05.03. 2020	Протокол № 7 от 20.03. 2020
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2020

Петрофизика-это одна из наук о Земле, изучающая физичекие свойства минералов, горных пород и руд. Целью изучения
петрофизических характеристик является установление состава,
структуры и состояния пород, особенностей дифференциации физических свойств горных пород, околорудных зон и полезных ископаемых
при решении задач поисков и разведки МШИ, геологического картирования, геотектоники, геодинамики, инженерной геологии геологии.

Петрофизические исследования позволяют обосновать возможность применения отдельных геофизических методов и комплекса геофизических исследований. Наряду с этим петрофизика позволяет решать широкий класс задач прикладного и теоретического характера,
от изучения состава и генезиса рудных и акцессорных минералов
(магнитная минералогия, петрофизика полупроводниковых минералов)
до опробования полезных ископаемых (скважинная и шахтная геофизика), от стратиграфии осадочных комплексов (палеомагнитология)
до прогнозирования состояния вещества в глубинных частях Земли
(экспериментальная и теоретическая петрофизика).

Современная петрофизика изучает широкий спектр Физических
свойств минералов, горных пород и полезных ископаемых:
коллекторские (пористость, проницаемость, влажность, влагоемкость, нефте - и газонасыщенность), плотностные, магнитные (магнитная восприимчивость, остаточная намагниченность, температура
Кюри), электрические (Удельное сопротивление, диэлектрическая
проницаемость, вызванная поляризация, диффузионно-адсорбционная
активность, терма—ЭДС), тепловые (теплоемкость, теплопровод—
ность), ядернофизические (естественная радиоактивность, сечения
взаимодействия и параметры переноса излучений), упругие (упругие
модули, скорости распространения упругих волн).

Курс петрофизики в УГГГА читается на 5 семестре, опережая или
параллельно с основными методами разведочной геофизики. Малый
объем часов (около 40 лекционных) не позволяет подробно изложить
все традиционные разделы петрофизики, обычно рассматриваемые в
учебниках. Поэтому автор рассматривает физические свойства, лежащие в основе гравиразведки, магниторазведки, электроразведки,

сейсморазведки. Главное внимание уделяется факторам, определяющим петрофизические характеристики горных пород, связям физических свойств с петрографическими характеристиками. Петрофизические модели месторождений полезных ископаемых рассмотрены на отдельных примерах, методики и аппаратура петрофизических исследований вынесены на лабораторный практикум и учебно-методическую практику,

1. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Когда ставится задача изучения каких—либо физических свойств

(например, плотности или магнитной восприимчивости) массива магматических или определенного горизонта осадочных горных пород, то из этих объектов (обнажении, горных выработок, керна буровых скважин) отбирается некоторое количество образцов, у которых измеряются соответствующие Физические характеристики. При этом оказывается, что измеренные значения у разных образцов различны.

Эти различия не связаны с погрешностями измерений, а есть результат вариаций физических свойств изученных образцов, т.е. следствие неоднородности объекта исследования. Дело в том, что формирование горных пород (и соответственно их физических свойств) происходит под воздействием большого числа факторов внутренних и внешних. Например, при образовании массивов магматических пород состав и структура будет определятся такими главными факторами:

1.Изменением глубины кристаллизации расплава.
2.Неоднородностью распределения давления и температуры в пределах магматического тела.
3.Фракционной и гравитационной дифференциацией.
4.Перемешиванием расплава.
5.Вааимодействием магмы с вмещающими породами различного состава.

Каждый из перечисленных факторов в свою очередь является сложной функцией от координат и времени. Результатом будет неоднородность состава, размера зерен, структуры и текстуры в пределах массива и как следствие, неоднородность физических свойств. Многообразие действующих факторов, их неопределенность во времени и пространстве позволяют рассматривать их как случайные события, а физические свойства — как случайные величины, к которым может быть применен аппарат математической статистики.

При образовании осадочных (например, обломочных) пород главными факторами являются:

1. Вещественный состав пород источника сноса, характер и степень их выветривания

2.Удаленность бассейна осадконакопления, глубина его, гидродинамические характеристики.

3.Химический состав и степень минерализации вод, окислительно-восстановительный потенциал, РН и т.д.

В процессе Формирования породы эти факторы изменяются в связи с изменениями источников сноса, глубин, гидродинамических и гидрохимических условий, что приводит к изменениям состава обломков, размеров и степени отсортированности зерен, количества и типа цемента и т.д. Возникает первичная неоднородность физических свойств.

На первичную неоднородность может накладываться вторичная, связанная с процессами преобразования: выветриванием, трещиноватостью, метаморфизмом, привносом и выносом вещества и т.д.

Учитывая, что студентам будет читаться специальный курс "Теоретические основы обработки результатов геофизических измерений", ниже приводятся только самые элементарные сведения по статистической обработке результатов изучения физических свойств горных пород, необходимые для понимания последующих разделов.

Предположим, что мы имеем М измерений некоторого физического параметра X, среди которых присутствуют максимальное X_{max} и минимальное X_{min} значения. Разобьем весь диапазон измеренных значений на п интервалов с шириной каждого АХ:

$$\Delta X = (X_{max} - X_{min})/n \text{ , (1.1)}$$

Количество интервалов т связано с объемом выборки N и обычно определяется формулой Старджеса:

$$n = 3.3 * lgN + 1$$

где n округляется до целого числа.

Подсчитаем N_i -число измерений, параметр X которых попадает в 1-й интервал (1=1,2...n). Строится график зависимости N_i или $(N_i/N)*100^2$ от X. В каждом интервале рассчитанное значение изображается в виде отрезка горизонтальной линии (гистограмма). На рисунке 1.1 приведен пример гистограммы для N=40, n=5.

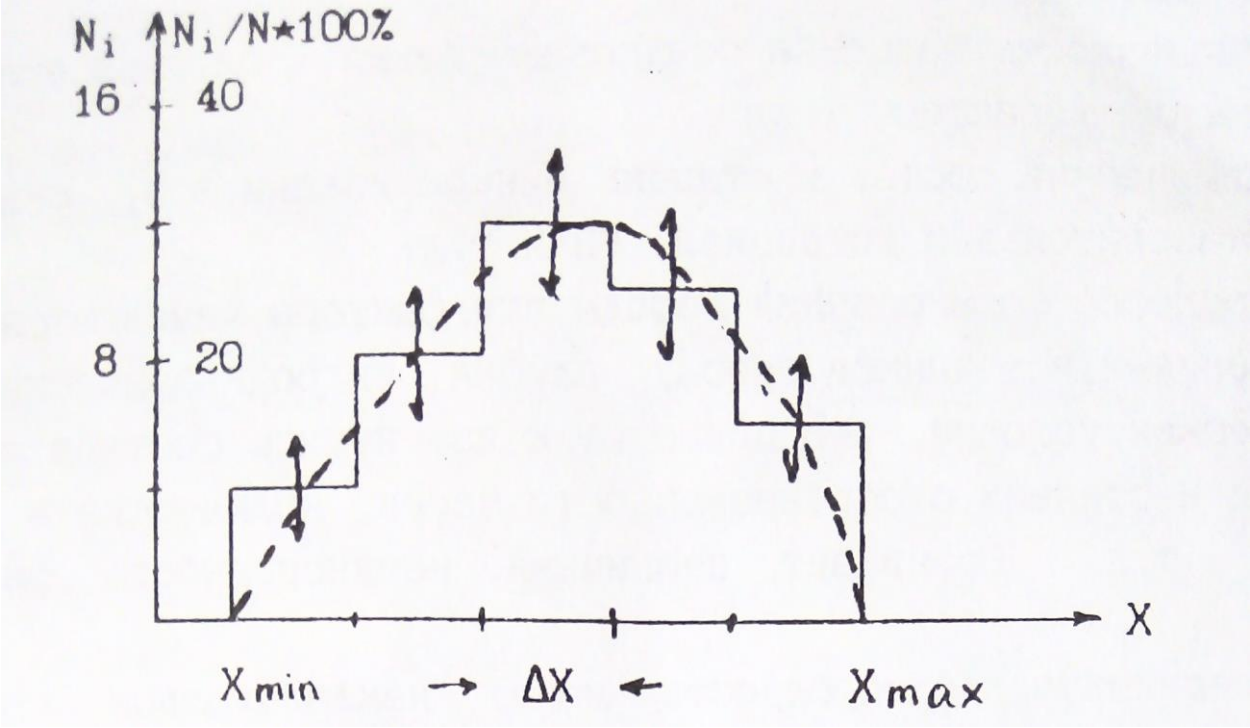


Рис.1.1. Гистограмма распределения параметра X

Гистограмма содержит в себе все статистические характеристики объекта исследования. В частности, величина $(N_i/N)*100\%$
представляет вероятность (в %) для данного объекта существования значении параметра X в пределах 1-го интервала. При построении реальных гистограмм не следует абсолютизировать полученный результат. Дело в том, что мы всегда имеем дело с ограниченными выборками и каждое значение N_i получено с погрешностью, вероятное значение которой приближенно оценивается как $\pm\sqrt{N_i}$ (на рис. показано стрелками).

При неограниченном возрастании объема выборки ($N \to \sim$), число интервалов (n) также стремится к бесконечности, а ширина интервала (ΔX) к нулю и мы получаем непрерывную кривую распределения, КОТОРУЮ часто называют вариационной кривой. Приближенно вариационную кривую можно получить путем визуального сглаживания гистограммы таким образом, чтобы площади между осью абсцисс и гистограммой и осью абсцисс и вариационной кривой были равны (изображено пунктирной линией).

Опыт Изучения физических свойств показывает, что часто распределения их подчиняется двум законам: нормальному и логнормальному — ПРИ нормальном законе кривая распределения P(X) описывается выражением:

$$F(X) = \frac{\exp[-\frac{(X_K - MX)^2}{2\sigma^2}]}{\sigma\sqrt{2\pi}}, \quad (1.2)$$

где MX—мода параметра или значение его в максимуме распределения (для нормального закона совпадает со средним значением параметра: $MX = \bar{X} = \frac{\sum X_k}{N}$ k=(1,2...N).

σ-среднеквадратичное отклонение (σ^2—называют стандартом).
Нормальному закону подчиняется обычно распределение плотности, пористости, скорости продольных волн. На рис.1.2 приведен пример нормального распределения с двумя различными значениями стандарта.

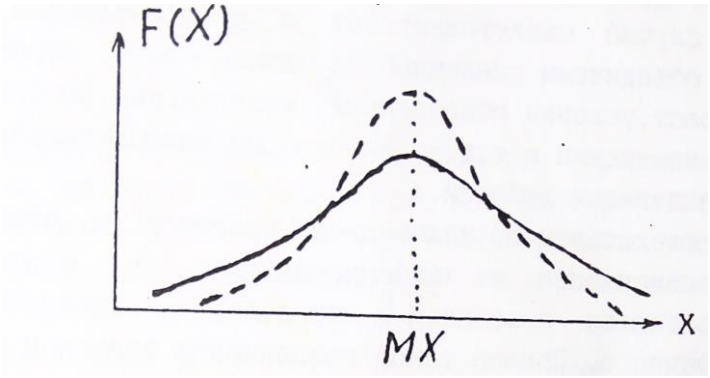


Рис.1.2. Нормальное распределение параметра X

Кривая характеризуется симметрией относительно моды и полностью определяется двумя величинами MX и σ. Логнормальныи закон соответствует случаю, когда нормальному закону подчиняется логарифм параметра (logX). Этому закону обычно подчиняется распределение магнитной восприимчивости, удельного электрического сопротивления, нефтенасыщенности. Для практического построения гистограмм или вариационных кривых в предположении существования лог-нормального закона измеренным значениям $X_к$ вычисляются значения $\log X_к$, которые обрабатываются способом, описанным выше.

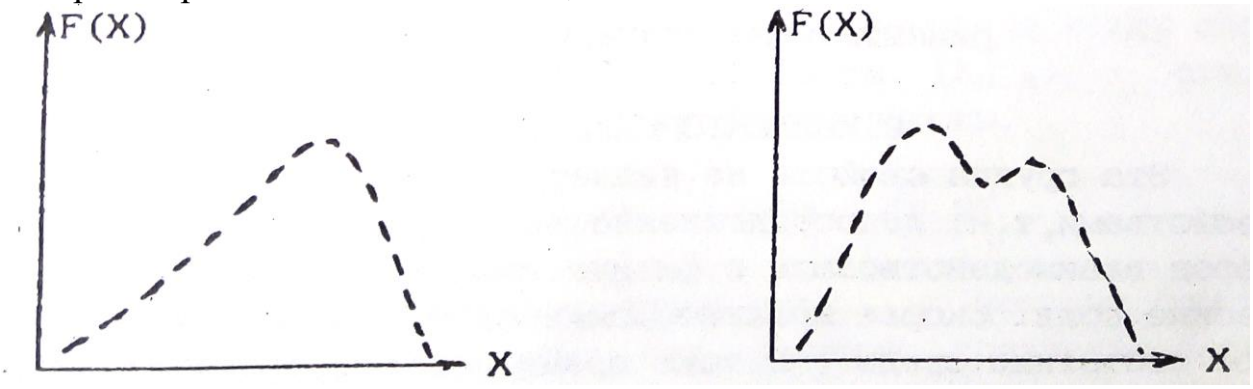


Рис.1.3.Примеры реальных кривых распределения

Реальные кривые распределения часто отличаются от теоретических
Они могут быть асимметричными и даже иметь два и более максимумов (рис. 1.3).

В первому случае появляются новые характеристики распределения (одна или более), например параметр асимметрии. В любом случае выборки считаются статистически одинаковыми если все (!) статистические параметры их одинаковы. Асимметрия обычно связана со
вторичными процессами изменения физических свойств в результате выветривания, регионального или локального метаморфизма и т.д.

Второй случай свидетельствует о неоднородности выборки; в
одну группу объединены различные по каким—либо характеристикам
породы (возраст, условия образования, минеральный состав, структура, степень изменения и т.д.). Необходимы дополнительные исследования для разделения выборки.

Важным следствием из изложенного является то, что все петрофизические зависимости не функциональные, а статистические,
то есть выполняются в среднем с определенной вероятностью отклонения от среднего. Пример такой зависимости приведен на рис.1.4.

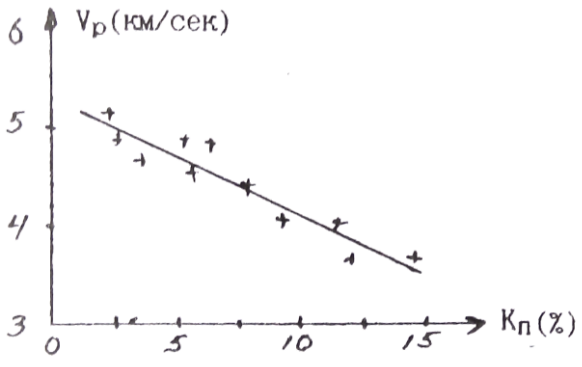


Рис.1.4. Зависимость скорости продольных волн (Vp)
от коэффициента пористости ($К_п$)(+ - экспериментальные значения)
2.КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА
Эта группа свойств не является в строгом смысле физическими
свойствами, т.к. непосредственно не определяет способности горных

пород взаимодействовать с физическими полями или создавать физические поля. Скорее коллекторские свойства характеризуют физическое состояние среды. В тоже время коллекторские свойства влияют
на другие Физические свойства (плотностные, электрические. Упругие) и определяют корреляционные связи между ними. С другой стороны,

коллекторские свойства, такие как пористость, проницаемость.
водо-, нефте- и газонасщенность. это важнейшие характеристики решенных месторождений углеводородов и подземных вод, определяющие запасы и условия эксплуатации этих месторождений сведения 0 коллекторских свойствах могут быть получены через плотностные, электрические и упругие свойства. Поэтому коллекторские
свойства рассматриваются во всех учебниках и курсах петрофизики.

2. 1. ПОРИСТОСТЬ

Пористостью называется совокупность пространства в горной
породе, не занятого твердой фазой. Оно заполнено газами, жидкостями (вода, нефть) или их смесями. Количественно пористость выражают через коэффициенты пористости К: отношение объема пор (Vпор) к
объему горной породы (Vг.п.) в процентах. Общий объем горной породы равен сумме объемов пор и твердой фазы ($V_{\text{г.п.}} = V_{\text{пор}} + V_{\text{т.ф}}$). При всем этом выделяют:

а) Коэффициент общей пористости ($К_{п}$) — отношение объема всех
пор (Vпор) к объему породы:

$$К_{п} = (V_{\text{пор}}/V_{\text{г.п.}}) * 100\%, \quad (2.1)$$

б) Коэффициент открытой пористости ($К_{п.о}$) .- отношение объема открытых пор (Vо.пор) к объему породы:

$$К_{п.о.} = (V_{\text{о.пор}}/V_{\text{г.п.}}) * 100\%. \quad (2.2)$$

Открытыми порами называются поры, сообщающиеся между собой.
в) Коэффициент динамической пористости ($К_{п.д}$) - отношение

объема динамических пор ($V_{д,пор}$) к объему породы.

$$К_{п.д} = (V_{\text{д.пор}}/V_{\text{г.п.}}) * 100\%. \quad (2. 3)$$

динамическими порами называются поры, по которым происходит движение жидкостей или газов при наличии градиента-давления. Часть открытых пор может быть представлена тупиковыми порами или водой, прочно связанной с поверхностью твердой фазы, и не участвует в переносе жидкостей или газов. Очевидно, что Кп > Кп.о) Кп.д.

2.1.1. Классификация пор.

1) По происхождению поры подразделяются на первичные и вторичные. Первичные возникают при образовании породы и представлены структурными порами — промежутками между частицами обломочных „о-род (грубообломочных, песчанистых, алевритовых, глинистых), межкристаллическими промежутками магматических и метаморфических пород и т. д. При уплотнении цементации, перекристаллизации, мета-морфизме форма и размеры первичных пор могут меняться. Вторичные поры образуются при последующих воздействиях на породы процессов выветривания, выщелачивания, кристаллизации, тектонических нагрузок и т.д.

2) По форме поры могут быть близкими к **ромбоздальным** (рыхлые отсортированные обломочные осадочные породы), близкими к **тетраэдрическим** (те же, но уплотненные породы), **щелевидным** (порода состоит из пластинчатых минералов: слюды, глины), в виде **канальцев** переменного сечения (плохо отсортированные обломочные породы), **трещеновидные** (магматические, метаморфические, плотные оса-дочные породы, испытавшие воздействие сильных тектонических нагрузок), **каверновидные** (карбонатные породы, подвергшиеся процессам растворения и выщелачивания), **пузырчатые** (магматические породы), **ячеистые** (известковые и кремнистые туфы), **каналовидные** (лёссы).

3) По размерам выделяют а) **сверхкапиллярные** - эффективный (средний) диаметр сечения пор $d_{э.ф.}$ более 0,1 мм. (грубообломочные породы типа галечников и гравия, крупно— и среднезернистые пески, оолитовые известняки, выщелоченные карбонаты). В сверхкапиллярных порах доля воды, связанной с поверхностью твердой фазы, не велика, вода в основном свободная и перемещается по законам гидродинамики. б) Капиллярные - эффективный диаметр пор $d_{э.ф.}$ $1*10^{-4}$-$1*10^{-1}$ мм. (мелкозернистые, менее отсортированные, сцементированные пороли: мелкозернистые пески и песчаники, некоторые карбонатные породы)-

В **Капиллярных** порах более высокое содержание связанной воды И возможен ее подъем в силу поверхностного натяжения. в) **Субкапиллярные** - $d_{э.ф.}$<1*10^{-4} мм. (глины, микрокристаллические известняки, туфы). Практически вся вода перового пространства связана на поверхности твердой фазы, перемещения воды почти нет.

2.1.2. ПОРИСТОСТЬ ОБЛОМОЧНЫХ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Основными факторами определяющими пористость обломочных пород являются: 1) форма и размер обломков, 2) степень отсортированности 3) степень уплотнения и цементации.

1) Влияние Формы и размера частиц иллюстрируется таблицей, в которой приведены значения Кп (%) для искусственных пород:

Таблица 1

Размер частиц (мм.)	Кварц окатанный	Кварц остроуг.	Ортоклаз остроуг.	Слюда
2-1	33	38	45	80
0.5-0.25	33	41	49	72
0.1-0.06	39	45	52	68

Отмечается малое влияние размера частиц и существенно большее формы (пористость возрастает в 2-2.5 раза при переходе от изометричных зерен к пластинчатым).

2) Степень отсортированности характеризует распределение обломков по размерам и количественно выражается через коэффициент отсортированности G_f:

$$G_f = \frac{d_{\text{ср}} - \sum V_i \delta d_i}{d_{\text{ср}}}, \quad (2.4)$$

где $V_i -$ объемное содержание частиц диаметра d_i в породе,

δd_i—отклонение от среднего диаметра 1-й группы, '

$d_{\text{ср}}$- средний диаметр частиц.

Коэффициент отсортированности меняется от 1 (хорошо отсортированная порода, все частицы одного размере) до 0 (плохо отсортированная порода. размеры частиц равномерно распределен от о до d_{max}).
присутствие в породе частиц разного размера приводит к тому, что
мелкие частицы заполняют промежутки между крупными и уменьшение коэффициента G_f (ухудшение отсортированности) ведет к уменьшению коэффициента пористости.

На рис.2.1 приведен пример такой зависимости.

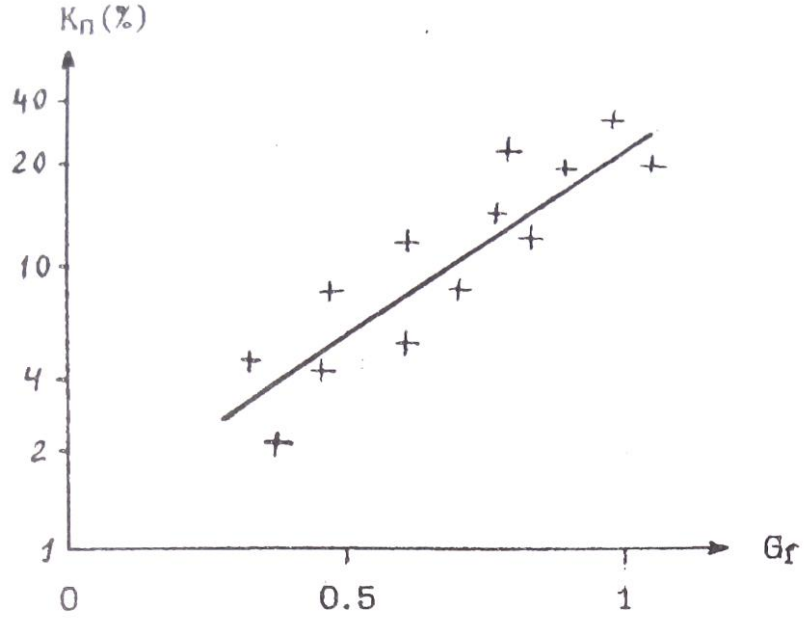


Рис.2.1. Зависимость коэффициента пористости от
коэффициента отсортированности песчаников
и алевролитов Туймазинской площади

Изменение отсортированности может приводить к изменение пористости на порядок. В связи с этим интересно рассмотреть изменение пористости песчано—глинистых образований в зависимости от
состава (рис.2,2). . '

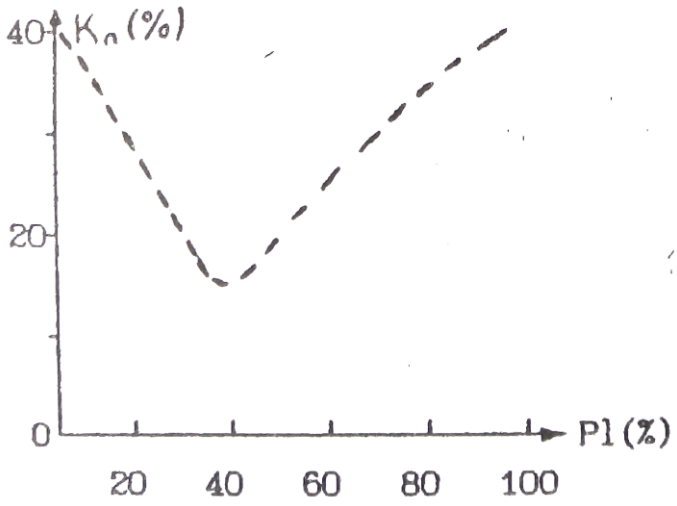


Рис.2.2. Зависимость коэффициента пористости от глинистости (P1) песчано—глинистых отложении (теоретическая зависимость)

Положим, что песчаная и глинистая фракции представлены однородными по размерам частицами каждая (песчаная крупными, глинистая мелкими). Коэффициенты пористости каждой фракции около
40%. При увеличении глинистости (P1) в породе будет происходить уменьшение пористости в результате частичного заполнения глинистыми частицами промежутков между крупным песчинками. При достижении 40% глинистости все эти промежутки (поры) будут заполнены
глинистым материалом (минимальная отсортированность), а Кп равен
0.4*0.4=0.16 (16%). При дальнейшем увеличении глинистости отсортированность и коэффициент пористости будут возрастать.

3) Под действием нагрузки вышележащих пород первичные рыхлые осадки уплотняются, что приводит к уменьшению их пористости. В начале уплотнение связано с перемещением отдельных частиц и более компактным их взаимным расположением. Затем происходит частичное разрушение и сшивание обломков (ухудшение отсортированности).
Этот процесс идет при нагрузках, превышающих несколько тысяч кг/см2. Наиболее сильно уплотняются глины, коэффициент пористости которых под нагрузкой может меняться от 50%. до 5%. В результате для многих районов, сложенных обломочными породами, наблюдается корреляционная связь Кп и глубины залегания породы:

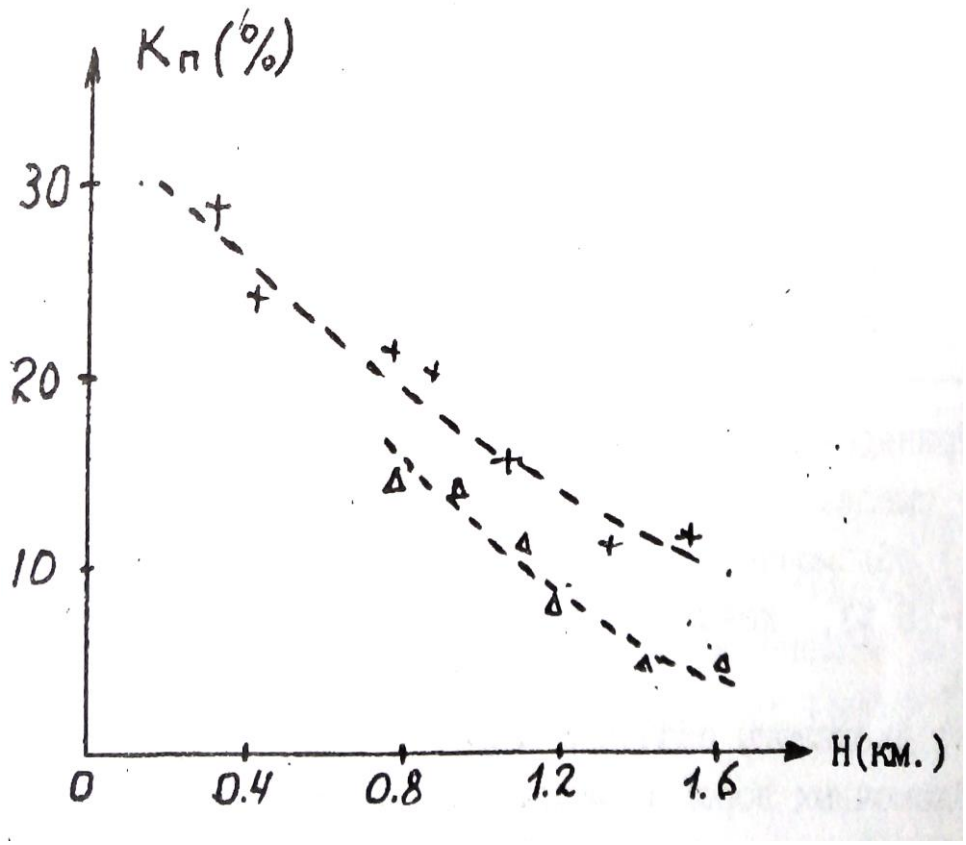


Рис.2,3. Зависимость Кп от глубины залегания Н;
+-глины, Δ- алевролиты

$$К_п(H) = К_п(0) * \exp(-\beta H), \quad (2.5)$$

где $К_п$ (0) — коэффициент пористости вблизи поверхности,
β - константа, зависящая от типа отложений (β=0.05).
Уравнения типа (2.5) позволяют прогнозировать изменения пористости с глубиной, что очень важно при интерпретации результатов геофизических съемок, т.к. величина пористости определяет ряд других
физических свойств: плотность, удельное электрическое сопротивление, скорость упругих волн.

Процесс цементации заключается в выпадении вторичных минералов (карбонаты, опал, глинистые минералы и т.д.) в поровом пространстве из поровых вод. В результате пористость уменьшается
вплоть до нескольких процентов.

В заключение приведем данные по пористости некоторых типов
обломочных пород.

Таблица 2

Порода	Кп(%)	
	Пределы	Наиболее вероятные

Пески	5-55	20-35
Песчаники	0.5-40	5-30
Лессы	40-55	40-55
Алевролиты	1-40	3-25
Глины	1-75	20-50
Аргиллиты	1-30	1.5-15

Приведенные в таблице данные позволяют сделать следующие основные выводы:

1) обломочные породы обычно характеризуются средней (Кп=10-15 %), повышенной (Кп=15-20 %) и высокой (Кп>20 %) пористостью.

2) диапазоны значений коэффициентов пористости различных типов обломочных пород в значительной степени перекрываются. Следует подчеркнуть, что данные таб.2 обобщают сведения о пористости пород всей страны в целом. В конкретных районах, у конкретных пластов диапазон колебания Кп может быть существенно уже. Например,

пласты – коллекторы AB_{2-5} одного из нефтяных районов Тюменской области имеют Кп=20-30 %

2.1.3. ПОРИСТОСТЬ КАРБОНАТНЫХ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

первичные карбонатные осадки (известковые и доломитовые илы) имеют высокую пористость (Кп=60-80 %). По мере их уплотнения пористость резко уменьшается (Кп=0.5—15 %). В дальнейшем появляется вторичная пористость, обусловленная перекристаллизацией, трещиноватостью и выщелачиванием карбонатных пород. Характерная особенность карбонатных пород - неравномерность распределения пористости в пространстве. Поэтому. при изучение карбонатных коллекторов необходимо отбирать - большое количество образцов с различных интервалов по глубине и площади. Значения пористости основных типов карбонатных пород приведены в таблице 3.

Таблица 3

Порода	Кп(%)	
	пределы	Наиболее вероятные
Известковый ил	65-85	-

Известняки	0.5-48	1.5-15
Известковый туф	20-30	-
Мел	10-55	40-50
Доломиты	0.1-37	3-20

2. 1.4 ПОРИСТОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ОСАДОЧННХ ГОРНЫХ ПОРОД.

В отличие от двух предыдущих групп пород, гидрохимические

осадки характеризуются пониженными и низкими значениями коэффициентов пористости. Так у ангидритов Кп=0.2—15 % у гипсов 1-25 %,

У каменной соли 0-5 %.

2.1.5 ПОРИТОСТЬ МАГМАТИЧЕСКИХ И МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Для этой категории пород характерна низкая пористость. Исключение составляют кайнотипные эффузивы, которые в силу особенности образования (быстрое остывание, не полный отход летучих
компонент), могут иметь повышенную и высокую пористость. Таблица 4 иллюстрирует значения коэффициента общей пористости магматических и метаморфических пород.

Таблица 4

Порода	Кп(%)
	Пределы
Граниты	0.3-4
Габбро	0.3-3
Пироксенит	0.2-2
Базальт	0.5-40
Диабаз	0.2-3
Порфирит	0.4-6
Гнейс	0.2-6

Сланец хлорит.	0.2-1
Амфиболит	0.1-6

данные относятся к невыветрелым породам. В процессе выветривания пористость возрастает (образование вторичной пористости)
и может достигать 20 - 40 %.

Другая особенность данной группы пород состоит в существенном преобладании закрытой пористости над открытой.

2.1.6 ПОРИСТОСТЬ ГИДРОТЕРМАЛЬНО ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД

К гидротермально измененным породам приурочены месторождения
рудных полезных ископаемых. Многочисленные исследования показали.
что зоны развития этих пород характеризуются повышенными значениями пористости по сравнению с неизмененными ,породами. Вероятно
это связано с тем, что гидротермальные растворы могут перемешаться в средах с повышенной пористостью и проницаемостью. Таким образом, зоны повышенной пористости являются своеобразным индикатором

гидротермальных процессов и, косвенно, признаком оруденения.
На рисунке 2.4 приведен пример распределения пористости в районе медноколчеданного оруденения.

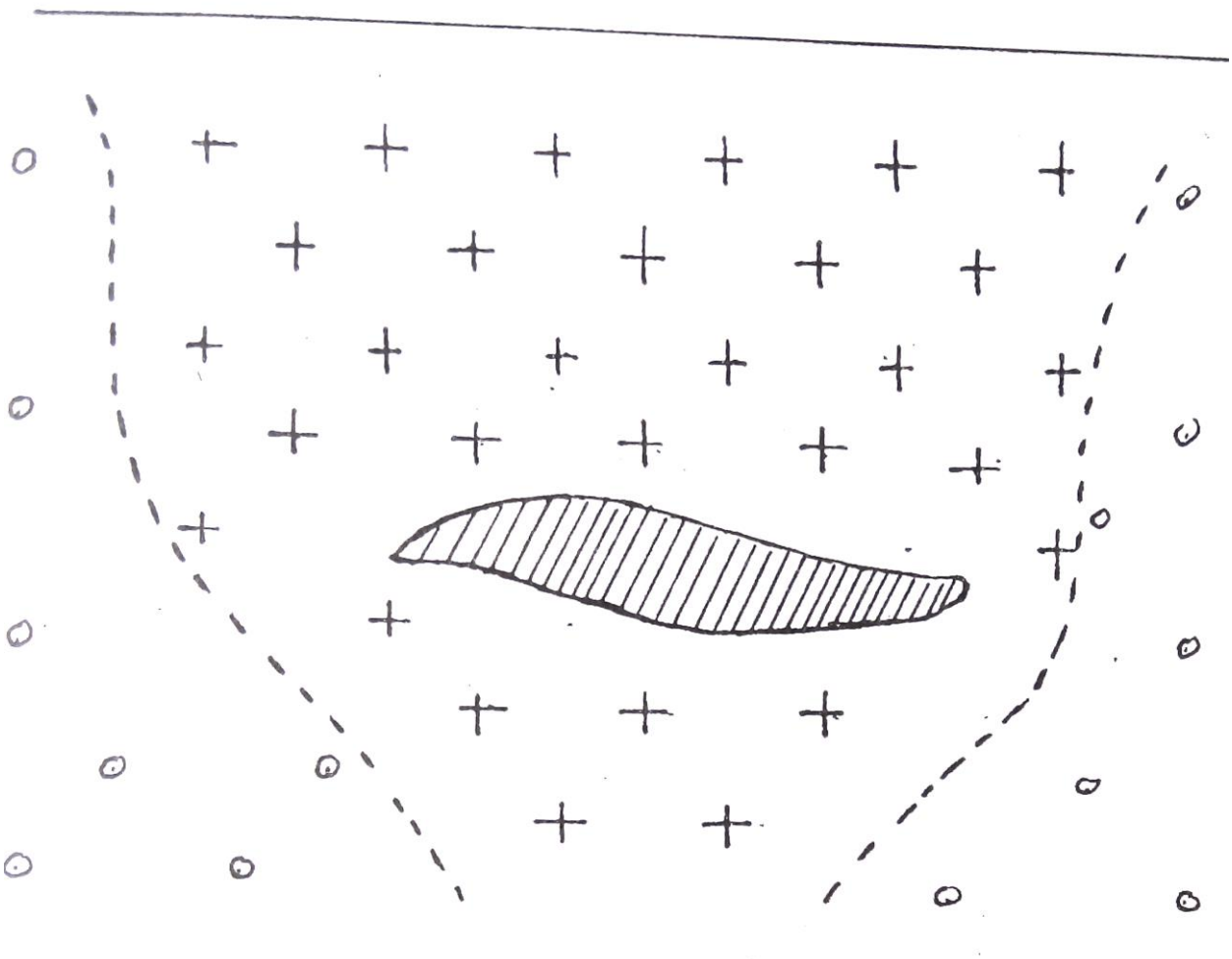


Рис.2.4. Распределение коэффициента открытой пористости
на месторождении Абеи-Саз (Башкирия)
-рудное тело
-Кп.о=0.5-3 %
-Кп.о<0.2%

2.2. ВЛАЖНОСТЬ. ВЛАГОЕМКОСТЬ

Влажность определяется, как количество воды в горной породе, а **влагоемкость**, как способность горной породы удерживать воду. Вода в горных породах может присутствовать в различных видах:

а) **Прочно связанная вода** - слои воды толщиной в несколько молекул. непосредственно примыкающий к стенке перового канала. Эта вода силами Ван-дер—Ваальса прочно связана с твердой фазой породы, Не может перемешаться, обладает аномальными физическими свойствами

(плотность до 2 г/см3, температура замерзания до -78 C^o, повышенная вязкость, плохая растворимость солей).

б) **Рыхло связанная вода** - непосредственно примыкает к слою прочно связанной воды, менее прочно связана с твердой фазой. В частности, образуется в углах пор в силу поверхностного натяжения (стыковая вода). Толщина слоя рыхло связанной воды составляет десятки и более молекул, она имеет повышенную плотность и пониженную температуру замерзания.

в) **Свободная вода** - обычная вода, которая свободно перемещается в поровом пространстве по законам гидродинамики.

Выделяют несколько типов влагоемкости:

а) **Машинальная гигроскопическая влагоемкость** ($W_{мг}$) - максимальное количество парообразной влаги (в процентах к весу абсолютно сухой породы), которое способна поглотить порода из воздуха влажностью 94%. Эта влагоемкость включает в себя прочно связанную и часть рыхло связанной воды.

б) **Капиллярная влагоемкость** — полное количество воды, которое присутствует в породе в силу явления капиллярного подъема.

в) **Полная влагоемкость** - максимальное количество связанной и свободной воды, которое может присутствовать в горной породе.

Соотношение между связанной и свободной водой при полном заполнении перового пространства определяется сечением поровых каналов и составом твердой фазы породы. Относительное количество свободной воды уменьшается с уменьшением сечения пор и увеличением содержания глинистых минералов. В случае чистых глин в норах присутствует только связанная вода, а в грубообломочных породы (галечники, крупнозернистые пески) почти вся вода представлена свободной.
Двойной электрический слой.
Поверхность твердой фазы перового пространства адсорбирует ионы одного знака из поровых растворов. Эти ионы удерживаются на ней силами Ван—дер—Ваальса, создавая слой не компенсированных зарядов (слой потенциал-определяющих ионов). В результате электростатического взаимодействия из перового раствора к нему будут притягиваться ионы противоположного знака (слой противоинов).
что в совокупности создает двойной электрический слой. Противоионы образуют сложную пространственную структуру. На расстоянии порядка размера молекулы противоионы прочно удерживается силами электростатического взаимодействия и не могут перемещаться, образуя плотную часть двойного слоя. Дальше от поверхности твердой

фазы их концентрация убывает и они не столь сильно связаны с потенциал-определяющим слоем. Эта область называется диффузионной частью двойного слоя и может перемещаться при движении жидкости в поровом пространстве примерная структура двойного слоя приведена на рис. 2.5.

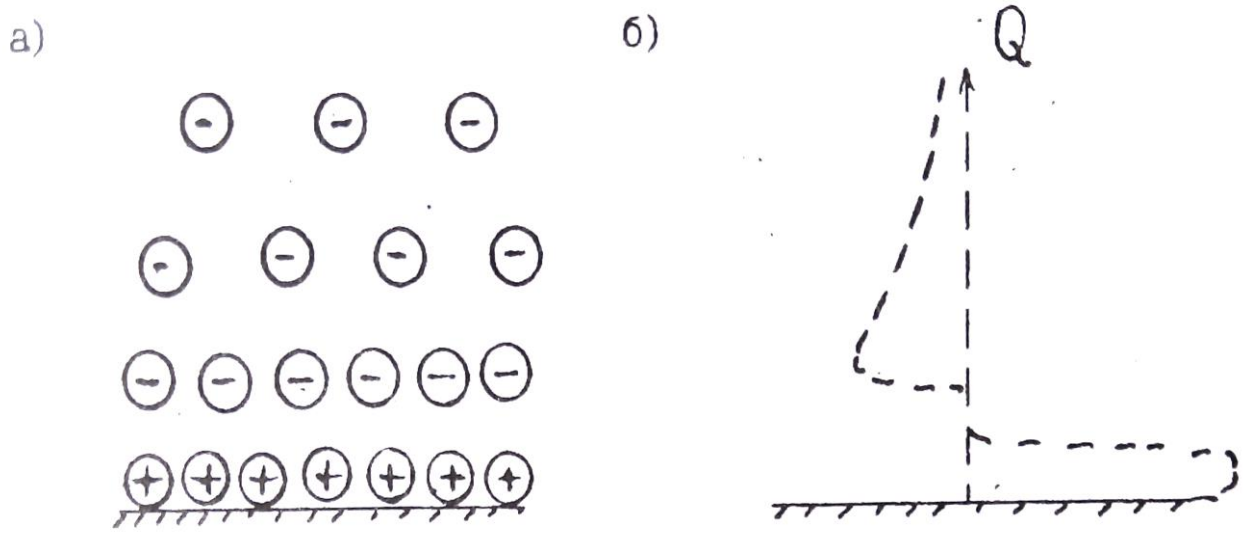


Рис.2.5. Строение двойного электрического слоя (а) и распределение заряда Q в пределах двойного слоя (б)

Область, занятая двойным слоем, примерно соответствует или несколько больше слоя прочно и рыхло связанной воды.

2. 3. ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Проницаемостью называется способность горной породы пропускать жидкости, газы или их смеси при наличии градиента давления. Выделяют физическую или абсолютную и фазовую проницаемости.

2.3. 1. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРОНИПАШОСТЬ

Это способность горных пород пропускать **однородные** жидкости или газы. Представим себе трубку, в которую помещен образец цилиндрической формы (Рис.2.б). На верхней грани образца давление P_1 на нижней P_2. Градиент давления равен $\frac{\Delta P}{L}$, где $\Delta = P_1 - P_2$, L-длина образца. Через нижнюю границу будет вытекать жидкость. раскол которой

равен Q ($см^3$/сек). Обозначим площадь поперечного сечения образца через S и введем удельный расход V=Q/S (расход через единицу площади поперечного сечения). Соотношение между этими величинами описываются законом Дарси: V прямо пропорционален градиенту давления и обратно пропорционален вязкости (μ).

$$V = К_{пр} \frac{\frac{P_1 - P_2}{L}}{\mu} (2,6)$$

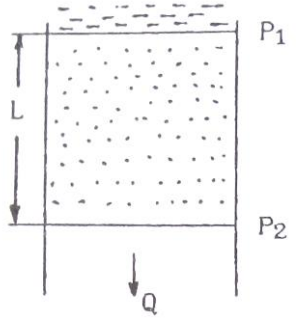


Рис.2.6. К определению коэффициента проницаемости

Коэффициент пропорциональности в этом уравнении (кпд) называется коэффициентом проницаемости, он является количественно характеристикой физической проницаемости. Единицей Кпр в системе СИ служит мг. Существует вне системная единица - Дарси, которая соответствет проницаемости породы, у которой удельный расход води равен 1 смз/сек при градиенте давления 1 атм/см. $1м^2 \approx 1 * 10^{12}$ Д или $1Д \approx 1 * 10^{-12}$ $м^2 = 1$ $мкм^2$.

Дарси крупная единица, обычно для характеристики проницаемости горных пород используют тысячную долю Дарси – 1мД, 1 мД=1 $фм^2$

2.3.2. СВЯЗЬ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЗИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ С КОЭФФИЦИЕНТОМ ПОРИСТОСТИ И СТРУКТУРОЙ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Для простейшей модели строения перового пространства в виде трубчатых капилляров (рис.2.7) выведено простое соотношение -

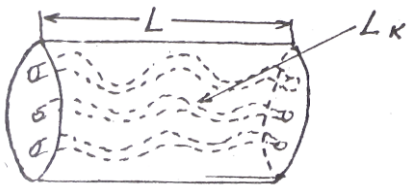


Рис.2.7. К пояснению формулы Козени—Кармана

формула Козени-Кармана

$$К_{пр} = \frac{К_{пд}^3}{S_ф^2 * T^2 * f}$$, (2.7)

Где $К_{пд}$ – коэффициент динамической пористости.
$S_ф$ – удельная поверхность порового пространства (площадь поверхности пор в единице объема горной породы.
$T=L_к/L$ -удельная извилистость поровых каналов (отношение средней длины перового канала Lк в пределах образца, к длине образца L. .
f - некоторый параметр, зависящий от формы сечения порового канала (лежит в пределах от 2 до 3).
(**Предупреждение**. В литературе в формулах типа 2.7 часто используют обозначение Кп или термин пористость вместо динамической пористости необходимо представлять, что движение флюидов возможно только по динамическим порам.)

Из формулы 2.7 следует сильная зависимость коэффициента проницаемости от коэффициента пористости (третья степень) и структуры перового пространства, которая для данной модели определяется величинами T и $S_ф$.
На рис. 2.8 приведены примеры зависимости $К_{пр}$ от $К_{пд}$ (экспериментальные данные)

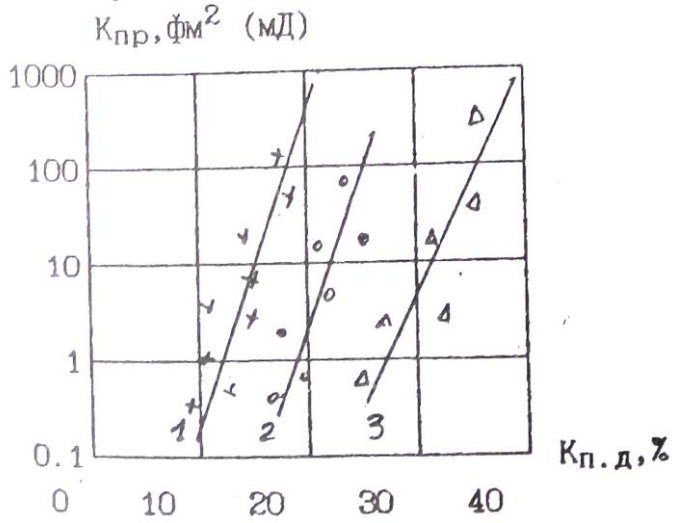


Рис.2.8. Зависимость коэффициента проницаемости от коэффициента динамической пористости 1 - песчаник, нижний вилькокс, 2 – песчаник слабо сцементированный, 3 - песчаник тонкозернистый

Линейный вид зависимостей в полулогарифмическом масштабе и угол наклона подтверждают зависимость $К_{пр}$ от третьей степени $К_{пд}$- Смещение линий в горизонтальном направлении обусловлено влиянием структуры порового пространства. Величина удельной по-

нием поровых каналов, и возрастает с уменьшением сечения. У обломочных пород сечение каналов связано с размером зерен. Например в случае отсортированной породы с изометричными обломками со средним диаметром d:

$$S_{\text{ф}} \approx 3.6/d \quad (2.8)$$

Таким образом, уменьшение размера верен приводит к уменьшению проницаемости. Это объясняет непроницаемость глин (тонкодисперсные породы), хотя коэффициент пористости у них составляет десятки процентов. Рис. 2.9 иллюстрирует подобную зависимость.

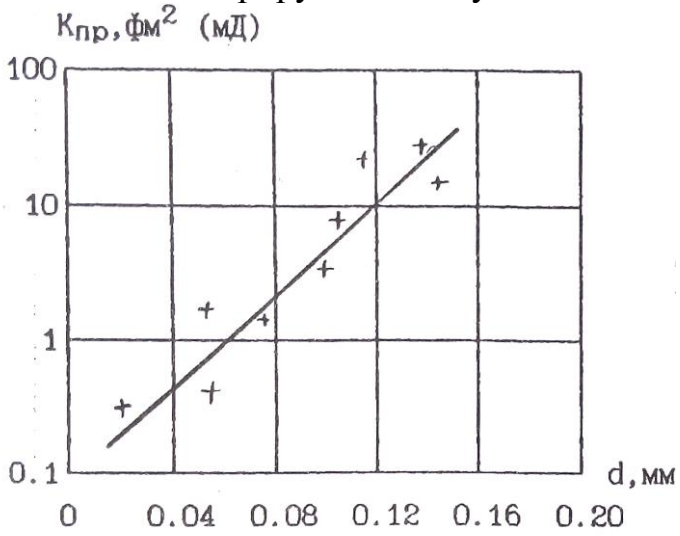


Рис. 2.9, Зависимость коэффициента проницаемости от среднего диаметра и зерен песчано—алевритово—глинистых пород

В случае трещинной пористости проницаемость определяется приближенным выражением:

$$\text{К}_{\text{пр}} \approx 8.45\ b^2 \quad (2.9)$$

где b — средний размер поперечного сечения трещин (раскрытость трещин) в мкм,
Кпт - коэффициент трещиной пористости в %.
По величине коэффициента проницаемости все породы подразделяются на три группы:

1. **Проницаемые** — грубообломочные породы (галечники, гравии), хорошо отсортированные, слабо сцементированные песчано—алевритовые породы, кавернозные и трещиноватые карбонатные породы, трещиноватые магматические породы, Это породы с высоким коэффициентом пористости (20-40%). сверхкапиллярными и капиллярными порами, существенным преобладанием свободной воды в поровом пространстве, Коэффициент проницаемости их лежит в пределах 10 - 10^6 фм^2 (мД).

2.**Полупроницаемые** — менее отсортированные песчано-алевритово-глинистые породы, мелкотрещинные меловидные карбонатные породы. поровое пространство представлено субкапиллярными порами, преобладает связанная вода. Кпр в пределах 0,1-10 фм^2 (мД).

3. **Практически непроницаемые** - глины, аргиллиты, сильно сцементированные песчаники и алевролиты, невыветрелые кристаллические карбонатные и магматические породы. Кпр < 0_1 фм^2 (мД).

2. 3. 3. ФАЗОВАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Это способность горной породы, насыщенной неоднородной жидкостью или смесью жидкостей и газов, пропускать ту или иную фазу при наличии градиента давления. Для обычных в горных породах фаз (вода, нефть, газ) количественно фазовая проницаемость характеризуется коэффициентами Фазовой проницаемости для воды (Кпр.в), нефти (Кпр.н) и газа (Кпр.г), которые являются коэффициентами пропорциональности в аналогах уравнения Дарси:

$$V_B = \text{К}_{\text{пр.в}} \frac{\frac{\Delta P}{L}}{\mu_{\text{н}}} \qquad V_{\text{Н}} = \text{К}_{\text{пр.н}} \frac{\frac{\Delta P}{L}}{\mu_{\text{н}}} \qquad V_{\Г} = \text{К}_{\text{пр.г}} \frac{\frac{\Delta P}{L}}{\mu_{\text{н}}}, (2.10)$$

где V_B, $V_{\text{Н}}$, $V_{\Г}$ - удельные расходы воды, нефти и газа соответственно.

Часто используют коэффициенты **относительной** фазовой проницаемости, которые определяют как отношение коэффициента фазовой проницаемости к коэффициенту абсолютной проницаемости в процентах. Например, коэффициент относительной Фазовой проницаемости воды ($\overline{\text{К}}_{\text{пр.в}}$) запишется: $\overline{\text{К}}_{\text{пр.в}} = (\frac{\text{К}_{\text{пр.в}}}{\text{К}_{\text{пр}}})$ 100 %.

Фазовая проницаемость отличается рядом особенностей, которые мы проиллюстрируем примером двухфазной смеси вода-нефть (Рис.2.10). На рис. Представлены зависимости коэффициентов относительной фазовой проницаемости ($\overline{\text{К}}_{\text{пр.в}}, \overline{\text{К}}_{\text{пр.н}}$) от соотношения фаз.
Последнее выражено через коэффициент вод насыщенности порового пространства ($\text{К}_{\text{В}}$) — отношение объема воды в поровом пространстве к объему пор. Полагаем, что все поровое пространство заполнено смесью вода—нефть, следовательно коэффициент нефтенасыщенности $\text{К}_{\text{Н}}$=1 -$\text{К}_{\text{В}}$. Отметим:

1) Графики зависимостей имеют в целом вогнутость вниз, т.е.

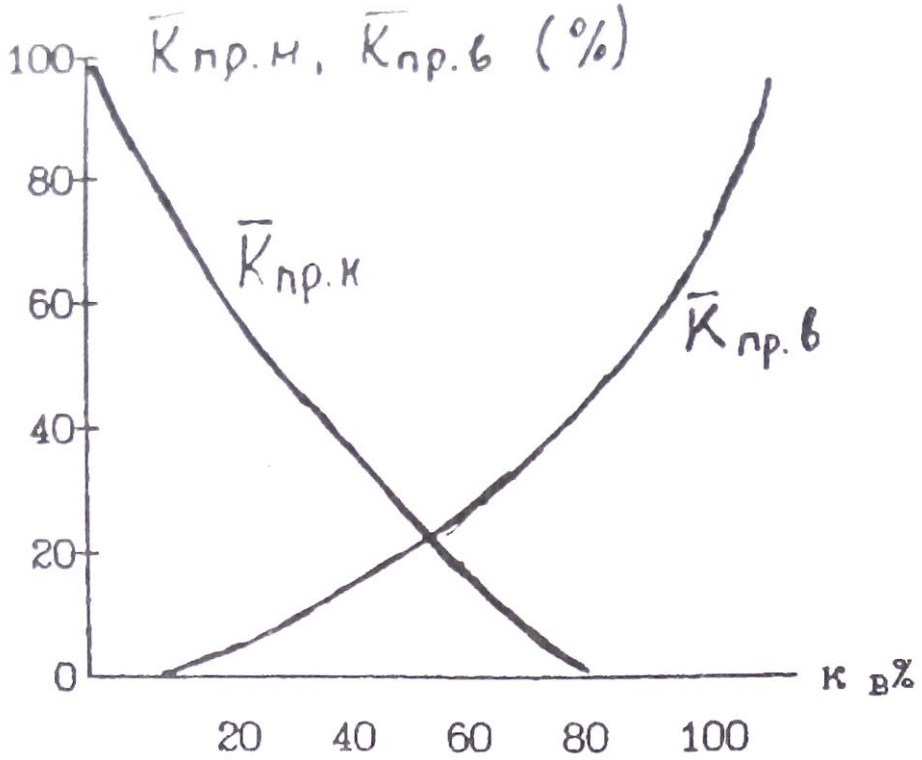


Рис.2.10. Зависимость коэффициентов относительной проницаемости по воде (Кпр.в) и нефти (Кпр.н) от соотношения фаз в смеси вода нефть

сумма Кпр.в+кПр.н<100. Смеси фильтруются хуже, чем однородные жидкости.

2) При определенном соотношении фаз возможен расход какой-либо одной фазы (при $К_В$ < 20% вода не фильтруется через породу, а при $К_В$ > 80%; не Фильтруется нефть).

3. ПЛОТНОСТНИЕ СВОЙСТВА

Эта группа свойств определяет возможность применения ряда геофизических методов. Например, гравиразведки для изучения геологических структур, поисков и разведки полезных ископаемых, ядерно-геофизическиих методов (гамма—гамма-каротаж) для расчленения разрезов скважин.

3.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЁДШНИЯ

Плотность - это масса единицы объема вещества. **Удельный вес** - вес единицы объема вещества. По определению плотность (δ):

$$\delta = \frac{m}{V}, (3.1)$$

Удельный вес (Δ):

$$\Delta = \frac{P}{V}, \quad (3.2)$$

где m, P, V - соответственно масса, вес и объем вещества. Так как P=mg (g- ускорение силы тяжести), то плотность это константа а удельный вес зависит от силы тяжести. В системе си единицей плотности является кг/м^3 удельного веса - Н/м^3. В системе СГС единица массы — грамм (г), внесистемная единица веса граммсила (Г) единицы объема - см^3. Плотности в системе СГС (г/см^3) и удельный вес во внесистемных единицах (Г/см^3) численно совпадают на поверхности Земли с точностью до 0.2-0.4% (изменения удельного веса связаны с изменениями ускорения силы тяжести по поверхности Земли).

Понятия плотность и удельный вес, строго говоря, применимы для однородных сред. Для неоднородных сред вводятся усредненные характеристики — объемная плотность (δ) и объемный вес (d), которые определяются также по Формулам (3.1 и 3.2). Следует иметь в виду, что при определении объемных параметров размер изучаемого объекта должен быть много больше размеров неоднородностей. Соотношение между единицами в различных системах:

1г/см^3 =1000 кг/м^3, 1Г/см =9810 Н/м^3.

Используют так же понятие **минеральная плотность** (δ_M) — масса единицы объема твердой фазы минерала или горной породы. Следует отметить, что наряду с системой СИ в литературе при описании плотностных свойств широко используется и система СГС, которую мы будем использовать при дальнейшем изложении материала. Кроме того общепринятым является использование терминов плотность и удельный вес вместо объемная плотность и объемный вес.

3. 2 ПЛОТНОСТЬ МИНЕРАЛОВ

Плотность минералов определяется химическим составом, строением электронных оболочек атомов, составляющих различные минералы. а также условиями их образования. Эти факторы определяют соотношение в минералах атомов с различными атомными массами, характер кристаллической связи, конституцию кристаллов. Большая часть породообразующих минералов имеет ионную или ковалентную

форму кристаллической связи, состоят из атомов с низкими средними атомными массами и имеют плотность порядка 2.2 – 3.5 г/см^3,
Среди рудных минералов преобладает ионно-металлическая и ковалетно-металлическая форма связи, часто присутствуют элементы с высокими атомными массами, ЧТО обуславливает повышение плотности до 3.5 — 7.5г/см^3.

Средняя атомная масса основных породообразующим минералов (кварц, полевые шпаты, плагиоклазы, карбонаты) почти постоянна и несколько повышается в пироксенах и железистых оливинах. В связи с этим главным фактором определяющим плотность этих минералов является плотность упаковки атомов в кристаллической решетке. Например каркасные структуры силикатов (кварц, полевые шпаты, плагиоклазы) обуславливают низкую плотность. У цепочечных силикатов (пироксены) плотность выше. Еще выше плотность минералов с островной структурой (оливины). Для породообразующих минералов характерны явления **изоморфизма** и **полиморфизма**. Изоморфизм это изменение состава без изменения структуры кристаллической решетки. Целые группы минералов магматических и метаморфических пород (плагиоклазы, амфиболы, пироксены, оливины, гранаты) образуют непрерывные изоморфные ряды. Например плагиоклазовый ряд начинается с альбита ($NaAl_2Si_3O_8$) с плотностью 2.61г/см^3 и заканчивается анортитом ($CaAlSi_2O_8$) с плотностью 2.76г/см. Соотношение между NA и Ca в ряду может быть любым, при этом образуется непрерывный ряд минералов (олигоклаз, андезин, лабрадор, битовнит) с промежуточными значениями плотности. Увеличение плотности от альбита канортиту связано с более высокой атомной массой Ca (40) по сравнению с Na (23). В тоже время при замещении Na в альбите на К имеем минерал ортоклаз (КА151308) с меньшей плотностью (2.57), хотя атомная масса К (39) выше, чем Na. Это связано с большим ионным радиусом К, что обуславливает менее плотную пространственную епаковку атомов. Полиморфизм - это изменение структуры кристаллической решетки без изменения состава. Классическим примером полиморфизма являются минералы графит (плотность 2.2) И алмаз (плотность 3.52). Оба минерала имеют одинаковый состав (С), но графит имеет рыхлую слоистую структуру кристаллической решетки, а алмаз кубическую центрогранную. Полиморфизм особенно характерен для минералов метаморфических горных пород.

Плотность некоторых минералов приведена в таблице 5.

Таблица 5

Минерал	Состав	$\delta\ (\frac{г}{см^3})$
Кварц	SiO_2	2.65
Альбит	$Na[AlSi_3O_8]$	2.61
Анортит	$Ca[Al_2Si_2O_8]$	2.76
Ортоклаз	$K[AlSi_3O_8]$	2.57
Нефелин	$Na[AlSiO_4]$	2.62
Роговая обманка	$NaCa_2(Mg,Fe)_4(Fe,Al)^*$ $(OH,F)_2Al_2Si_6O_{22}$	3.25
Пироксены:		
Авгит	$Ca(Mg,Fe,Al)[(Si,Al)_2O_6]$	3.4
Геденбергит	$CaFe[Si_2O_6]$	3.55
Эгирин	$NaFe[Si_2O_6]$	3.53
Оливин	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	3.35
Мусковит	$KAl_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$	2.85
Биотит	$K(Mg,Fe)_3[Si_3AlO_{10}][OH,F]_2$	3.05
Серпентенит	$Mg_6[Si_4O_{10}][OH]_8$	2.55
Кальцит	$CaCO_3$	2.715
Магнезит	$MgCO_3$	2.96
Доломит	$CaMg[CO3]_2$	2.87
Барит	$BaSO_4$	4.5
Гипс	$CaSO_4*2H_2O$	2.3
Ангидрит	$CaSO_4$	2.96
Магнетит	Fe_3O_4	5.11
Ильменит	$FeTiO_3$	4.79
Хромит	$FeCr_2O_4$	4.2
Пирит	FeS_2	5.1
Халькопирит	$CuFeS_2$	4.2
Сфалерит	ZnS	3.95
Галенит	PbS	7.57
Циркон	$ZrSiO_4$	4.68

Приведены средние значения плотности наиболее чистых разновидностей минералов. Можно сделать следующие выводы:

1)Плотности основных породообразующих минералов ниже плотности рудных.

2) Темноцветные породообразующие минералы (пироксены, оливины. роговые обманки) имеют более высокую плотность по сравнению со светлыми минералами (кварц, полевые шпаты, плагиоклазы)

3.3 ПЛОТНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД

Общее выражение для плотности горной породы можно записать в виде:

$$\delta = \frac{m_T + m_{\text{ж}} + m_{\text{г}}}{V_{\text{Т}} + V_{\text{Ж}} + V_{\text{г}}}, (3.3)$$

где $m_{\text{Т}}$— масса твердой фазы, $m_{\text{Ж}}$— масса жидкой фазы. $m_{\text{Г}}$- масса газовой фазы породы, $V_{\text{Т}}, V_{\text{Ж}}, V_{\text{Г}}$— объемы твердой, жидкой и газовой фаз. Сумма объемов жидкой и газовой фаз равна объему порового пространства. Масса твердой фазы равна сумме масс слагающих породу минералов, а массы жидкой и газовой фаз сосредоточены в поровом пространстве. Тогда выражение (3.3) можно преобразовать к ВИДУ:

$$\delta = (1 - \text{К}_{\text{п}}) \sum \delta_i V_i + \sum \text{К}_{\text{П}} \text{К}_{\text{жк}} \delta_{\text{жк}} + \delta_{\text{г}} \delta_{\text{г}} \qquad (3.4)$$

где $\text{К}_{\text{П}}$ коэффициент пористости, δ_i и V_i - минеральная плотность и объемное содержание в твердой фазе i—го минерала, $\delta_{\text{жк}}$ плотность к—й жидкости. $\text{К}_{\text{ЖК}}$—объемное содержание к—й жидкости в поровом пространстве, δ_{Γ}- плотность газа, К_{Γ}- объемное содержание газа в поровом пространстве. Из 3.4 следует, что плотность горной породы зависит от минерального состава. заполнения порового пространства. Факторов может быть различной.

3.3.1 МАГМАТИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Общим для магматических пород является их образование путем остывания магматического расплава. Классификация этих пород основана на двух основных признаках: а) условия образования, б) состав. По условиям образования выделяют; 1) **интрузивные** -породы, образовавшиеся при медленном остывании расплава на значительной глубине при низком теплообмене с вмещающими породами. При этом

первичный расплав теряет большую часть летучих компонентов (жидкая и газовая фазы). Формируются низкопористые полнокристаллические породы (см. Таб №4). 2) **Эффузивные –** породы, образовавшиеся при быстром остывании расплава в приповерхностных условиях (на поверхности, под водой, на малых глубинах). Расплав не успевает терять значительную часть летучих. Формируются пористые породы со стекловатой или частично кристаллической структурой. Среди эффузивов выделяют **кайнотипные** – сравнительно молодые породы в значительной степени сохранившие свой первичный облик и **палеотипные** – древние породы, подвергшиеся значительным изменениям (широко известно зеленокаменное изменение эффузивов) минерального состава и структуры. В частности типичными является уменьшение пористости с образованием миндалекаменных структур.

Состав определяется содержанием SiO_2 и номером плагиоклазов (соотношение Ca и Na). Нормальный (щелочноземельный) ряд магматических пород представлен всеми разновидностями от кислых (содержание SiO_2 около 70%), до ультраосновных (содержание SiO_2 около 40%). Щелочной ряд представлен ограниченным набором пород типа сионитов с составом, соответствующим средним -основным породам.

Таблица 6

Порода	$\delta\ (\frac{г}{см^3})$	Порода	$\delta\ (\frac{г}{см^3})$
Гранит фанерозоевский	2.57	Сиенит	2.62
Гранит докембрийский	2.59	Сиенит нефелиновый	2.66
Гранодиорит	2.69	Липарит	2.35
Диорит кварцевый	2.75	Кварцевый порфир	2.60
Диорит	2.81	Андезит	2.49
Габбро	2.95	Андезит-й порфирит	2.73
Пироксенит	3.2	Базальт	2.54
Перидотит	3.2	Диабаз	2.79

В таб. 6 приведены средние значения плотности основных типов магматических пород. По этим данным составлена диаграмма (рис. 3.1) зависимости средней плотности от состава магматических пород. Состав выражен через содержание SiO_2. В нижней части диаграммы приведены названия интрузивных, кайнотипных эффузивных и палеотипных эффузивных пород соответствующего состава.

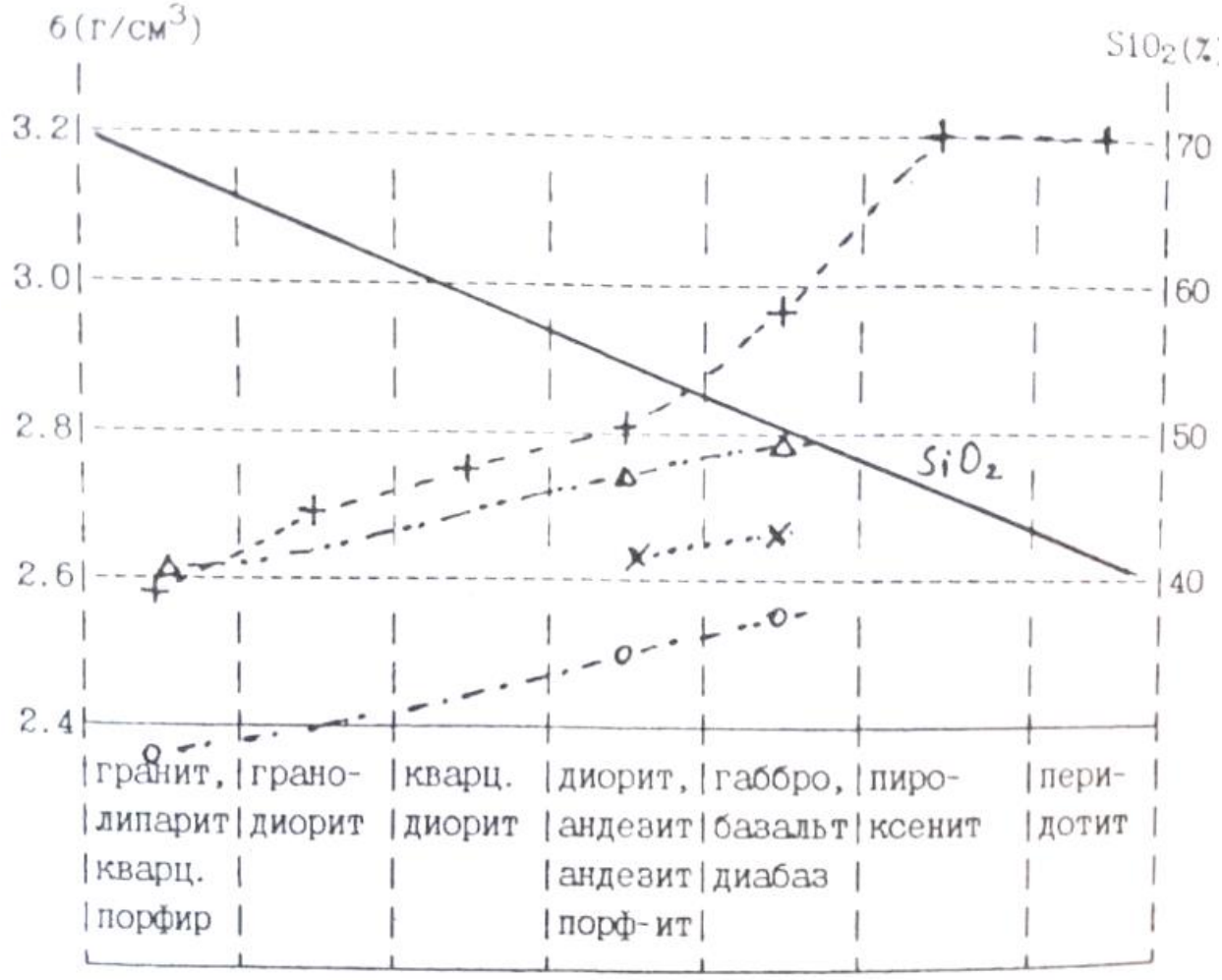


Рис.3.1. Зависимость средней меткости магматических пород от состава. (+ интрузивнне породы щелочноземельного ряда, х интрузивные породы щелочного ряда, о кайнотипные эффузивы, Δ палеотипные эффузивы).

Сделаем основные вывод:

1.Из таблицы и диаграммы следует закономерное возрастание плотности по мере увеличения основности (уменьшения содержания SiO_2), что обусловлено возрастанием количества плотных темноцветных минералов.

2. Разница в средних плотностях между соседними группами по основности составляет около ± 0.1 г/см^3. т.е. является **значимой** (например, позволяет разделять эти породы по уровню гравитационного поля над ними).

3.Графики зависимости плотности от состава интрузивных и палеотиных эффузивных пород практически совпадают. Причина этого – близость составов и пористости. Исключение составляют породы основного

ионного состава. причины этого будут рассмотрены ниже.

4. Бросается в глаза существенно меньшие плотности кайнотипных зффузивов. Причина — высокая пористость.

Вероятные отклонения от средних значений в каждой группе интрузивных и палеотипных зффузивных пород составляют 0.1Г/см^3, у кайнотипных зффузивов 0.15г/см^3. Эти отклонения связаны с влиянием двух основных факторов;

1. В каждой петрографической группе объединены по сути различные породы. Например. среди гранитов выделяют аляскитовые, мусковитовые, двуслюдяные, роговообманковые и т.д. Таким образом, в пределах группы возможны вариации состава породообразующих, минералов и, следовательно, плотности. Так, среди пород типа габбро есть и анортозиты (состоят на 90-95%. из плагиоклаза — лабрадора) с плотностью 2.69 г/см^3, и оливиновое габбро (плагиоклаз и до 20 % оливина) с плотностью 3.07г/см^3.

2.Любая порода, кроме породообразующих, содержит и акцессорные (второстепенные) минералы. В кислых породах это апатит ($\delta = 3.19$), циркон ($\delta = 4.7$), магнетит ($\delta = 5.1$), ильменит ($\delta = 4.79$). В породах основного состава это магнетит, титаномагнетит ($\delta = 4.72$), сульфиды ($\delta = 4.7 - 4.9$). В ультраосновных - магнетит, титаномагнетит. Количество акцессорных минералов может меняться от тысячных долей процента до нескольких процентов, что и приводит к вариациям плотности для ряда районов установлено увеличение содержания акцессорных минералов в рудоносных магматических комплексах, что может служить поисковым признаком.

Процессы автометаморфизма (серпентинизация, амфиболизация) Оказывают существенное влияние на плотность магматических пород. При серпентинизации массивов ультраосновных пород пироксены и оливин преобразуются в серпентин — минерал, содержащий гидроксильную группу. с плотностью 2.55 г/см^3. На рис. 3.2 представлен график зависимости плотности от степени серпентинизации. Нацело серпентинизированные породы имеют плотность, соответствуют кислым магматическим породам, это обстоятельство приходится учитывать при интерпретации данных гравиразведки. дальнейший процесс метаморфизма связан с карбонатизацией, при которой плотность возрастает.

Амфиболизация характерна для пород основного состава и проявляется в преобразовании пироксена в амфиболы и плагиоклазы с выделением хлорита, эпидота, серицита — минералов с меньшей плотностью.

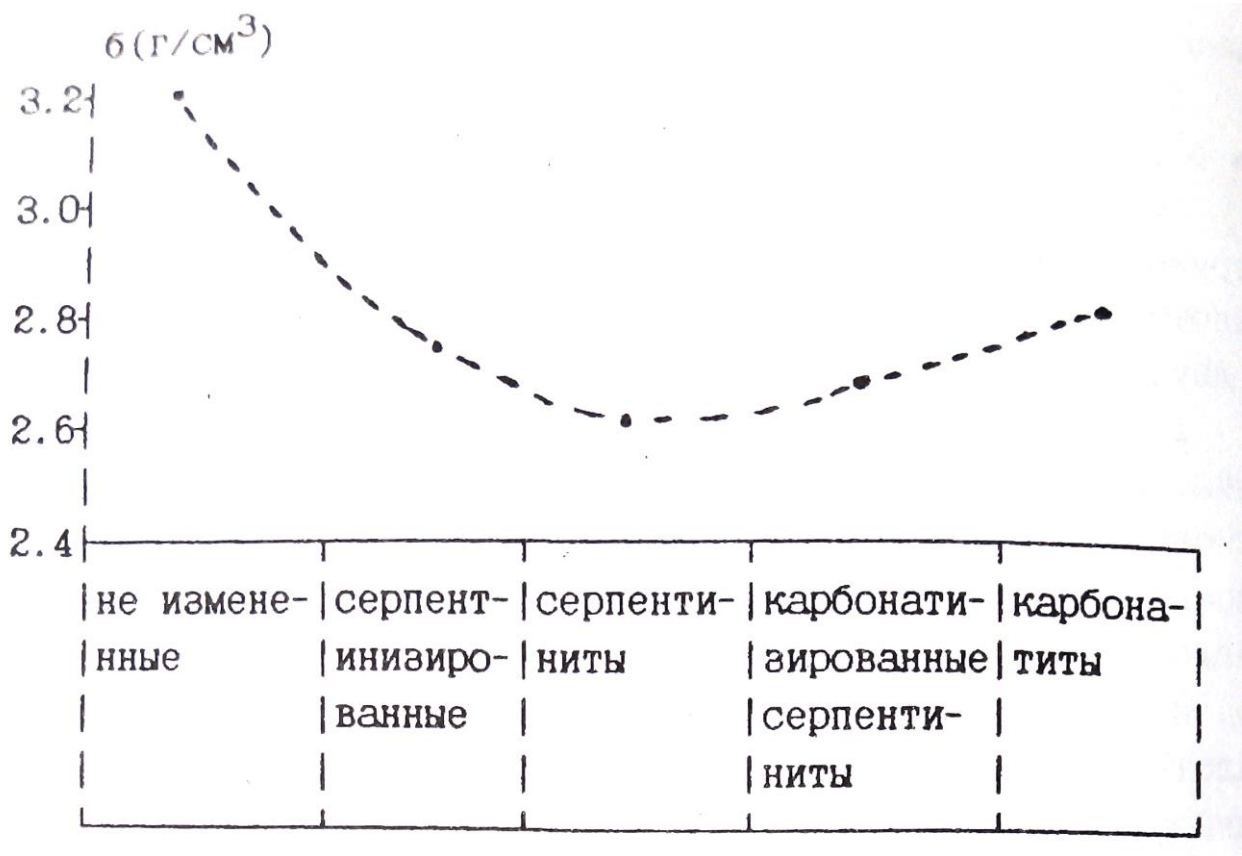


Рис 3.2. Изменение плотности ультраосновных перед
пород в процессе серпентинизации и карбонатизации

Таким образом, амфиболизация сопровождается уменьшением плотности. Обратите внимание, что на рис. 3.1 плотность диапазон меньше плотности их интрузивного аналога — габбро. Диабаз это порода, претерпевшая метаморфические изменения, и её плотность соответствует амфиболизированному габбро. Процессы локального метаморфизма (метасоматоза) могут сопровождаться как уменьшением, так и увеличением плотности. В таблице 7 приведены данные по изменению плотности для типичных процессов.

Таблица 7

Порода	$\delta\left(\frac{г}{см^3}\right)$ измененных	Процесс	$\delta\left(\frac{г}{см^3}\right)$ не измененных
Гранодиорит	2.65	Серицитизация	2.55
Гранодиорит	2.67	Хлоритизация	2.61
Порфирит	2.76	Окварцевание	2.65
Диорит	2.8	Альбитизация	2.63
Гранит	2.6	Грейзенизация	2.77
Порфирит	2.7	Эпидотизация	2.85

Локальные изменения плотности используются как поисковый признак, так как процессы рудообразования сопровождаются локальным метасоматозом.

3.3.2. ОСАДОЧННЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

ОБЛОМОЧНЫЕ ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

В таблице 8 приведены значения минеральной плотности (плотность твердой Фаза) основных типов обломочных пород.

Порода	$\delta_{\text{ср}}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{min}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{max}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$
Песчаник	2.67	2.58	2.76
Алевролит	2.69	2.62	2.76
Аргилит	2.68	2.69	2.78
Глина	2.68	2.58	2.78

Отметим близкие значения бар, из чего следует зависимость плотности в основном от пористости и характера заполнения порового пространства. Для водонасыщенных и газонасыщенных пород плотность ($\delta_{\text{В}}, \delta_{\text{Г}}$) соответственно равна:

$$\delta_{\text{В}} = (1 - \text{К}_{\text{П}})\delta_{\text{Т}} + \text{К}_{\text{П}}\,\delta_{\text{Т}} \quad (3.5)$$

$$\delta_{\text{Г}} = (1 - \text{К}_{\text{П}})\delta_{\text{Т}} \quad (3.6)$$

где $\text{К}_{\text{П}}$ - коэффициент пористости, $\delta_{\text{Т}}$- плотность твердой фазы, плотность воды. Учитывая постоянство минеральной плотности, в Обоих случаях имеем линейную зависимость плотности от пористости. На рис. 3.3 приведены зависимости, рассчитанные для $\delta_{\text{Т}}$=2.68г/см^3 и результаты изучения плотности реальных пород. Расчетные и экспериментальные данные достаточно близки. Изменение пористости на 1% приводит к изменению плотности на на 0.03 и 0.02 г/см^3, соответственно для газонасыщенных и водонасыщенных пород. Эти цифры полезно запомнить поскольку они определяют требования к точности измерения плотности геофизическими методами (гамма—гамма каротаж, акустический каротаж) с целью оценки пористости коллекторов.

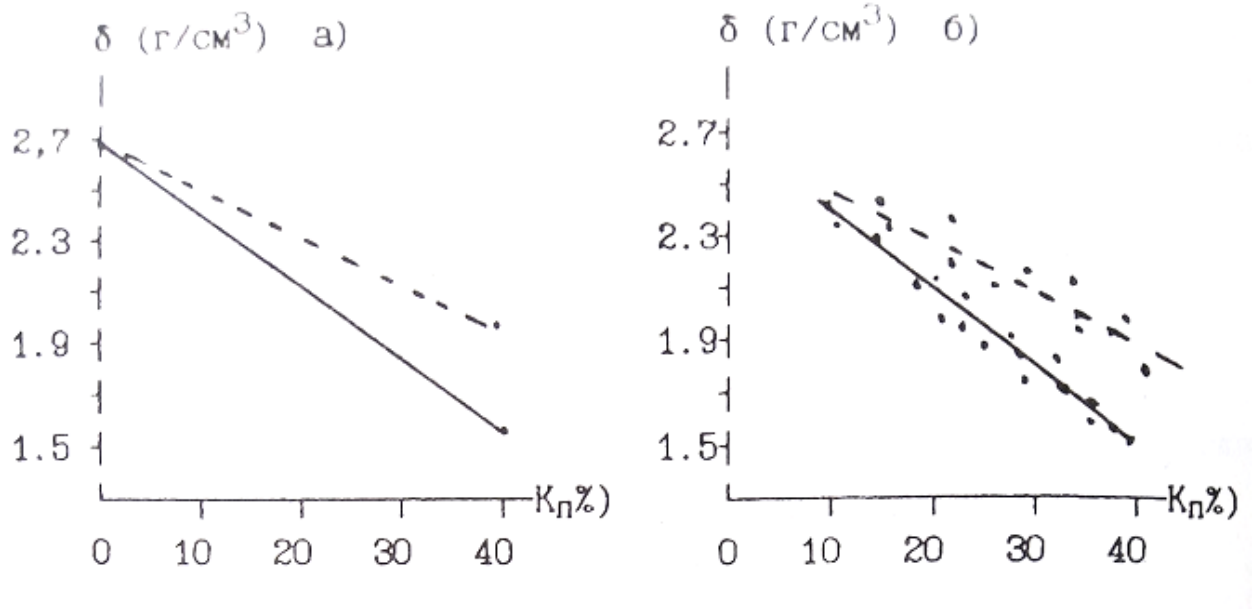


Рис. 3.3. Зависимость плотности обломочных осадочных пород от пористости, а) расчет, б) экспериментальные данные для песчано-глинистых отложении. - водонасыщенные - газонасыщенные

Как отмечалось ранее, в результате уплотнения под нагрузкой вышележащих слоев происходит закономерное уменьшение пористости обломочных пород. Если в выражении 3.5 и 3.6 подставить значения пористости из 2.5, то получим зависимость плотности от глубины залегания:

$$\delta_{\Gamma}(H) = \delta_{\text{Т}}(1 - \text{К}_{\text{П}}(0) * \exp(-0.45\,H)) \qquad (3.7)$$

$$\delta_{\text{В}}(H) = \delta_{\text{Т}} + \text{К}_{\text{П}}(0) * (1 - \delta_{\text{Т}}) * \exp(-0.45\,H) \qquad (3.8)$$

где $\text{К}_{\text{П}}(0)$ - пористость на поверхности, Н — глубина в км.

Таблица 9

Порода	$\delta\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$ пределы	$\delta\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$ наиб. вероят.
Глины	1.20-2.40	-
Аргилиты	1.70-2.90	2.30-2.40
Пески	1.30-2.00	1.50-1.70
Песчаники	2.00-2.90	2.50-2.65
Алевролиты	1.80-2.80	2.30-2.50
Конгломераты	2.10-3.00	-

В таблице 9 приведены значения плотности обломочных осадочных пород. Основные выводы:

1) Плотность обломочных осадочных горных пород (вероятные значения) ниже плотности магматических пород.
2) Плотность меняется в широких пределах. что связано с широким диапазоном возможных значении пористости.
3) Интервалы плотности основных типов обломочных пород в значительной степени перекрываются.

КАРБОНАТНЫЕ ОСАДОЧННЕ ПОРОДЫ

В таб.10 приведены значения минеральной плотности карбонатных пород.

Таблица 10

Порода	$\delta_{\text{ср}}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{min}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{max}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$
Мел	2.69	2.56	2.80
Известняк	2.72	2.62	2.80
Доломит	2.80	2.76	2.88
Мергель	2.70	2.58	2.80

Отмечаются значимые различия средних плотностей. Поэтому плотность карбонатных пород будет определяться минеральным составом, пористостью и характером заполнения перового пространства. Представления о плотности этих пород иллюстрируются таб. 11.

Таблица. 11

Порода	$\delta\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$ пределы	$\delta\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$ наиб. вероят.
Известняки	1.80-2.90	2.60-2.70
Доломиты	1.90-3.00	2.60-2.80
Мергели	1.50-2.80	2.20-2.40

Для этой группы пород остаются справедливым пункты 2 и 3 выводов, которые получены для обломочных пород. Дополнительно отметим более высокую плотность известняков и доломитов, которая близка к плотности кислых и средних магматических пород.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ ,

Для этих пород характерна низкая пористость, и их плотность в основном определяется минеральным составом. Плотность гипсов лежит в пределах 2.10 — 2.50 г/см^3, ангидритов 2.50—2.90 г/см^3, каменной соли 2.15 — 2.30 г/см^3. Приведем пример соотношения плотностей осадочных комплексов с вытекающими из этого особенностями геофизических полей. Среди структур, вмещающих углеводородное сырье. существуют так называемые диапировые структуры или структуры протыкания. Они образуются в результате выжимания ("Всплывания") соляных куполов сквозь толщ обломочных осадочных пород. Соотношение плотностей приведено на рис. 3.4 а).

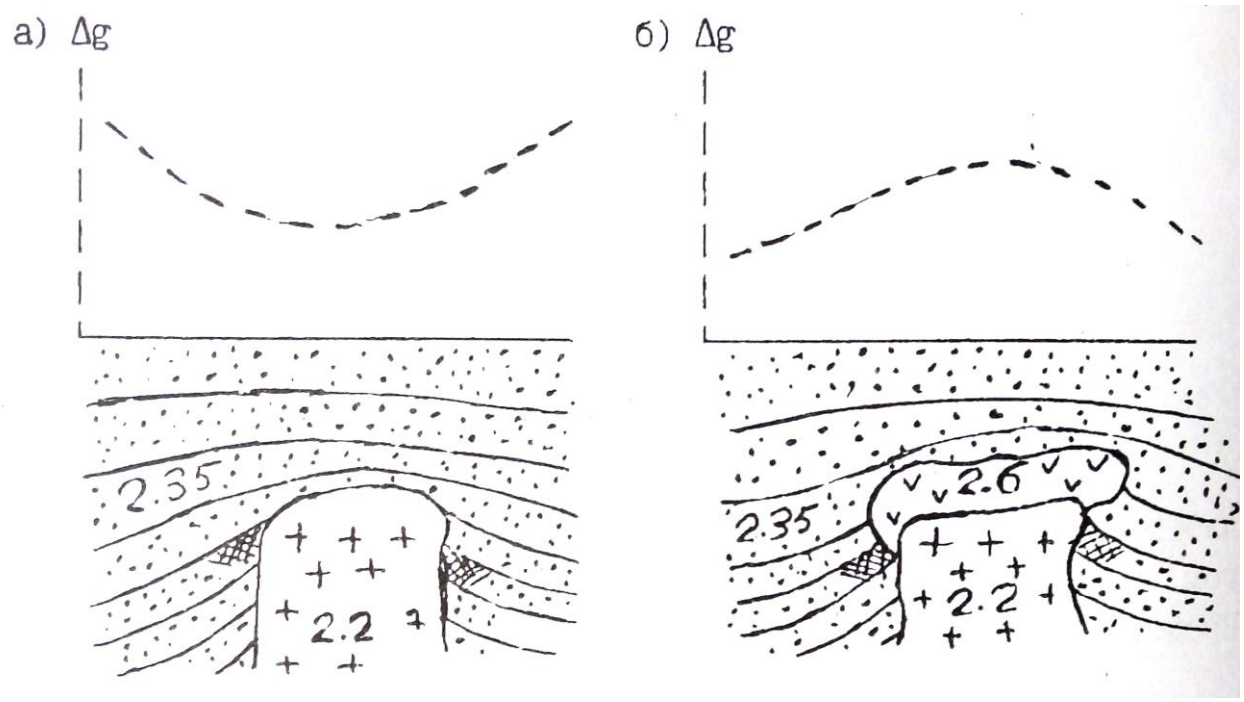


Рис. 3.4. Характер распределения плотности и ускорение силы тяжести над соляно-купольными структурами (песчано-глинистые отложения, + - каменная соль, — ангидритн, - приращениеускорения силы тяжести, - нефтеносность)

Плотность каменной соли (2.20 г/см^3) меньше плотности песчано-глинистых отложении (2.35 г/см^3). Это обуславливает недостаток масс соляного куполам над структурой наблюдается Уменьшение силы тяжести (Кривая Δg,рис.3.4. а)). Однако, возможно и более сложное строение соляных куполов (рис.3.4. б)). В верхней части купола образуется покрышка сложенная ангидритами ("каменная шляпа") с плотностью 2.60 г/см^3.

Избыток масс покрышки может превосходить действие недостатка масс соляного купола, и над структурой наблюдается увеличение силы тяжести. Возможно ситуация баланса этих двух факторов, и над структурой существенного изменения гравитационного поля не будет.

3.3.3. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ

Метаморфические породы образуются в результате регионального (охватывающего значительные площади и объемы пород) преобразования магматических и осадочных пород под действием высокой температуры и давления. В основу классификации метаморфических пород положены условия (фация) метаморфизма, структурно-текстурные особенности и состав породы. В порядке возрастания термодинамических условии выделяют следующие фации: зеленых сланцев. эпидот-амфиболитовую, амфиболитовую, гранулитовую, эклогитовую. В начальный этап регионального метаморфизма происходит уплотнение первичных осадочных пород в результате уменьшения пористости под действием давления (катагенеза). В фацию зеленых сланцев наблюдается некоторое разуплотнение исходных магматических и подвергнутых катагенезу осадочных пород в результате образования минералов, содержащих кристаллизационную и конституционную воду. Дальнейший метаморфизм сопровождается увеличением плотности за счет полиморфных преобразовании минералов. Образуются новые минералы с уплотненными кристаллическими решетками. данные о плотности метаморфических пород Приведены в таблице 12. При общем закономерном возрастании плотности с увеличением степени метаморфизма, в пределах каждой отмечаются существенные колебания плотности, что отражает влияние минерального состава пород. Интересно отметить, что при так называемом ультраметаморфизме (протекает в условиях относительно пониженного давления и высоких температур, сопровождается полной перекристаллизацией и частичным расплавлением пород) отмечаются существенное уменьшение плотности. Так амфиболиты (3.0 г/см^3) преобразуются в метасоматические граниты (2.6 г/см^3). Процесс гранитизации сопровождается кремний-калиевым метасоматозом с преобразованием плотных минералов (амфиболы, гранаты, биотит) в менее плотные (кварц, микроклин).

Таблица 12

Фация	Порода	$\delta_{\text{ср}}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{min}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$	$\delta_{max}\ \left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$
Зеленых сланцев	Филит	2.45	2.40	2.70
	Сланец:			
	Кварцево-серицитовый	2.57	2.50	2.64
	Кремнистый	2.60	2.58	2.62
	Хлоритовый	2.76	2.72	2.80
	Слюдистый	2.65	2.60	2.75
Эпидот-амфиболитовая	Сланец кристаллический:			
	Биотитовый	2.63	2.62	2.63
	Роговообманковый	2.77	2.75	2.80
	Кварцит	2.64	2.62	2.65
	Мрамор	2.70	2.68	2.72
Амфиболитовая	Гнейс:			
	Биотитовый	2.63	2.60	2.68
	Амфиболовый	2.78	2.75	2.82
	Амфиболит:			
	Полевошпатовый	2.87	2.80	2.95
	Гранатовый	3.10	3.00	3.20
Гранулитовая	Гранулит гиперстеновый	2.72	2.60	2.85
	Сланец	3.05	2.90	3.25
Эклогитовая	Эклогит	-	3.20	3.40

3.3.4. ВЛИЯНИЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ НА ПЛОТНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД.

Процессы гипергенеза в результате химического и механического выветривания приводят к существенному изменению состава и состояния пород. Образуется вторичная пористость в результате растрескивания и выщелачивания, которая достигает 20-30%.

Образующиеся коры выветривания глинисто-слюдистого и хлорито-гюдрослюдистого состава с гидроокислами железа, обломками кварца, микроклина, биотита имеют пониженную плотность порядка 2.1-2.5 г/см^3.

Вопросы для самопроверки:

1. *Какие причины создают неоднородность физический свойств горных пород?*
2. *Как строятся гистограммы распределения физический свойств горных пород?*
3. *Типы пористости.*
4. *Какие факторы определяют пористость обломочных пород?*
5. *Назовите группы пород с низкой и повышенной пористостью.*
6. *Как изменяется пористость с глубиной?*
7. *Что такое влажность и влагоемкость?*
8. *В каком виде присутствует вода в горных породах?*
9. *Какими особенностями обладает связанная вода?*
10. *Что такое проницаемость?*
11. *Отличие физической проницаемости от фазовой?*
12. *Как классифицируются породы по проницаемости?*
13. *Как образуется двойной электрический слой?*
14. *Каким параметром характеризуется нефтенасыщенность?*
15. *Что такое плотность и минеральная плотность?*
16. *От чего зависит плотность минералов?*
17. *Назовите основные факторы, определяющие плотность магматических (инрузивных и эффузивных) и осадочных (обломочных, карбонатных и гидрохимических) пород.*
18. *Рассчитайте плотность водонасыщенного и газонасыщенного печсчаника с коэффициентом пористости 25%.*

Литература:

1. В.М. Добрынин, В.Ю. Вендельштейн, Д.А. Кожевников. Петрофизика: Учебник для вузов. -М: Недра, 1991.
2. В.Н. Кобранова. Петрофизика: Учебник для вузов -М: Недра, 1986.

Оглавление

Введение……..... 3
1. Статистическая природа физических свойств……..... 4
2. Коллекторские свойства……..... 8
2. 1. Пористость..... 9
2.1.1. Классификация пор……..... 10
2.1.2. Пористость обломочных осадочных пород……..11
2.1.3. Пористость карбонатных осадочных пород……....14
2.1.4. Пористость гидрохимических осадочных пород.....15
2.1.5. Пористость магматических и метаморфических пород.....15
2.1.6. Пористость гидротермально измененных пород….....16
2.2. Влажность, влагоемкость…….....17
2. 3. Проницаемость 19
2.3.1. Физическая проницаемость 19
2.3.2. Связь коэффициента проницаемости с коэффициентом пористости и структурой перового пространства……..20
2.3.3. Фазовая проницаемость 23
3. Плотностные свойства 24
3.1. Основные понятия и определения 24
3.2. Плотность минералов 25
3.3. Плотность горных пород 28
3.3.1. Магматические породы 28
3.3.2. Осадочные породы 33
3.3.3. Метаморфические породы 37
3.3.4. Влияние выветривания на плотность пород 38
Вопросы для самопроверки 39
Литература 39

Игорь Иванович Бреднев

ПЕТРОФИЗИКА

Часть 1. Коллекторские и плотностные свойства горных пород

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Петрофизика» для студентов профилизации «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» (РФ)направления 650200 «Технологии геологической разведки»

Конспект лекций

Корректура кафедры геофизики

Подписано в печать 09.09.2004г.
Бумага писчая. Формат бумаги 60х84 1/16.Печать на ризографе.
Печ.л. 2,8. Уч-изд. л. 2,39. Тираж 100 экз. Заказ №130.

Издательство УГГГА
620144. г. Екатеринбург. УЛ- Куйбышева 30
Уральская государственная горно-геологическая академия
Лаборатория множительной техники

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

по дисциплине

ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Специальность:

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Сковородников И. Г.

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие…….5

1. Назначение первичных преобразователей, их характеристики и классификация…….5

Контрольные вопросы……...11

2. Преобразователи параметрического типа……...12

2.1. Резистивные преобразователи……...12

2.1.1. Контактные преобразователи…….12

2.1.2. Реостатные преобразователи……..13

2.1.3. Тензометрические преобразователи……..16

2.1.4. Электролитические преобразователи……19

2.1.5. Терморезистивные преобразователи……21

2.1.6. Магниторезистивные преобразователи…….23

2.1.7. Фотоэлектрические преобразователи……25

2.2. Индуктивные преобразователи……26

2.2.1. Индуктивные преобразователи с изменяемым воздушным зазором…….27

2.2.2. Магнитоупругие преобразователи…….29

2.2.3. Магнитомодуляционные преобразователи……...30

2.3. Емкостные преобразователи……..34

Контрольные вопросы……..35

3. Преобразователи генераторного типа …...……36

3.1. Преобразователи индукционной э.д.с……..36

3.1.1. Преобразователи индукционной э.д.с. со взаимным перемещением магнита и катушки индуктивности……..36

3.1.2. Преобразователи индукционной э.д.с. со стационарным размещением магнита и катушки индуктивности……..38

3.2. Преобразователи гальваномагнитной э.д.с……..41

3.2.1. Преобразователи Холла……..41

3.2.2. Преобразователи Виганда……...42

3.3. Преобразователи пьезоэ.д.с……...44

3.4. Преобразователи термоэ.д.с……..45

3.5. Преобразователи фотоэ.д.с……46

Контрольные вопросы……...49

4. Радиационные преобразователи……...49

4.1. Газоразрядные детекторы……..50

4.2. Сцинтилляционные детекторы……..53

4.3. Полупроводниковые детекторы……56

Контрольные вопросы……...56

Литература……..57

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель данного пособия – познакомить студентов с применением различных электрических датчиков в геофизической аппаратуре, облегчить им усвоение соответствующих разделов курса «Геофизическая аппаратура» и выполнение курсового проектирования по нему.

Необходимость издания пособия обусловлена тем, что в опубликованных работах по первичным преобразователям рассматриваются датчики общетехнического применения, в то время, как датчики разнообразной геофизической аппаратуры имеют ряд особенностей, связанных со спецификой условий их эксплуатации.

В пособии рассмотрены физические основы и устройство датчиков всех типов, входные и выходные параметры, указаны их достоинства и недостатки и приведены примеры применения в конкретной геофизической аппаратуре.

В качестве примеров в ряде случаев использованы оригинальные разработки автора.

В конце каждой главы приведен перечень контрольных вопросов для самостоятельной проверки усвоения материала студентами.

1. НАЗНАЧЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Первичные преобразователи в геофизической аппаратуре (ГА) являются теми элементами, которые вырабатывают сигнал информации об измеряемой величине. По этой причине первичные преобразователи ГА называются также измерительными преобразователями. Другими синонимами термина «первичный преобразователь» являются «датчик», «детектор», «чувствительный

элемент», «сенсор», «трансмиттер» [4,15,23]. Правда, в специальной литературе существуют различные толкования термина «датчик», наиболее распространенного из перечисленных терминов. Так, например, в монографии К. Бриндли [4], датчик рассматривается как пассивный преобразователь, т.е. преобразователь получающий энергию для своей работы от измеряемой величины. В других источниках [1,16] под датчиком понимается конструктивно законченное устройство, которое, кроме первичного преобразователя, может содержать и другие элементы (усилитель сигнала, источник питания и т.п.) и которое устанавливается на удалении от наблюдателя. В данном пособии, как и в большей части специальной литературы, термин «датчик» будет использоваться как синоним первичного или измерительного преобразователя.

Важнейшими характеристиками датчиков служат: чувствительность, точность (достоверность) информации об измеряемой величине, надежность и долговечность, стабильность работы при изменении внешних условий, быстродействие, вид зависимости выходного сигнала от измеряемой величины (линейная, нелинейная, реверсивная, нереверсивная и т.п.).

Поясним некоторые из перечисленных характеристик.

Чувствительность преобразователя, которую также называют **коэффициентом передачи**, представляет собой отношение изменения выходного сигнала y, к изменению входного сигнала x. Различают три вида коэффициентов передачи: статический, относительный и дифференциальный.

Статический коэффициент передачи используется для определения свойств преобразователей с линейной характеристикой: $K_{ст}=y/x$.

Дифференциальный коэффициент передачи применяется для датчиков с нелинейной характеристикой: $K_{диф}=\lim\Delta y/\Delta x \approx dy/dx$. Значение этого коэффициента непостоянно и зависит от величины входного сигнала x.

Относительный коэффициент передачи равен отношению относительного изменения сигнала на выходе датчика к относительному изменению сигнала на его вход $K_{отн}=(\Delta y/y)/(\Delta x/\Delta x)$. Этот коэффициент является величиной

безразмерной и удобен для сравнения свойств преобразователей, различных по принципу действия и конструкции.

У некоторых измерительных преобразователей вследствие трения покоя, шумов измерительной схемы, гистерезиса и др. причин изменение выходного сигнала появляется только тогда, когда измеряемая величина достигает определенного уровня. Этот уровень называется порогом **чувствительности** x_n.

Во время работы первичного преобразователя на него, кроме измеряемой величины, воздействуют и другие сигналы – помехи, например, изменения температуры, внешнего давления, вибрации, изменения напряжения питания и пр. Результаты воздействия помех проявляются в виде погрешностей измерений: абсолютных, относительных, приведенных.

Абсолютная погрешность – это разность между измеренным y и действительным (расчетным) значениями выходной величины y_0: $\Delta y = y_{изм} - y_0$.

Относительная погрешность – это отношение абсолютной погрешности к действительному значению выходной величины в процентах: $\delta = (\Delta y / y_0) \cdot 100$.

Приведённая погрешность – это отношение абсолютной погрешности к наибольшему действительному значению выходной величины: $\varepsilon = \Delta y / y_{max}$. Для измерительных приборов приведенная погрешность определяет их класс точности.

В зависимости от режима, для которого определяется абсолютная или относительная погрешность, различаются **статические** и **динамические** погрешности (ошибки). Приведенная погрешность определяется только для установившегося (статического) режима [10].

Характер зависимости выходного сигнала от измеряемой величины $y=f(x)$ в установившемся режиме называется **статической** характеристикой преобразователя.

Наиболее удобными в работе и потому наиболее распространенными являются датчики, имеющие линейную характеристику. Если характеристика

датчика нелинейна, то для формирования выходного сигнала могут применяться системы линеаризации. В некоторых случаях, например, если измеряемая величина изменяется нелинейным образом, удобнее использовать преобразователи с нелинейной статической характеристикой.

В зависимости от того, как на выходную величину влияет изменение знака измеряемой величины, статические характеристики бывают: **нереверсивными** (когда знак выходного сигнала остается постоянным во всем диапазоне измерений) и **реверсивными** (когда выходной сигнал изменяет свой знак вслед за измерявшейся величиной).

Следует упомянуть еще одну из характеристик измерительных преобразователей – **гистерезис**, который проявляется в несовпадении значений выходного сигнала при одном и том же значении измеряемой величины в зависимости от уменьшения или увеличения последней в момент измерения.

Надежность преобразователя – это способность работать в течение определенного периода времени при заданных условиях эксплуатации.

Надежность преобразователей, так же, как надежность, сложных электронных или механических устройств вообще, характеризуется вероятностью безотказной работы, средним временем безотказной работы и интенсивностью отказов – отношением числа отказавших устройств в определяемый промежуток времени к числу работоспособных в начале этого промежутка.

График зависимости интенсивности отказов от времени эксплуатации имеет характерную корытообразную форму. Первый участок графика ($0 – t_1$) называется "временем приработки", в этот период интенсивность отказов велика из-за того, что здесь проявляются дефекты сборки, выходят из строя некондиционные детали и т. п. Второй участок $t_1 – t_2$ называется "периодом условной долговечности», здесь отказы могут быть связаны, в основном, со случайными причинами. Третий участок $t_2 – \infty$ называется "периодом старе-

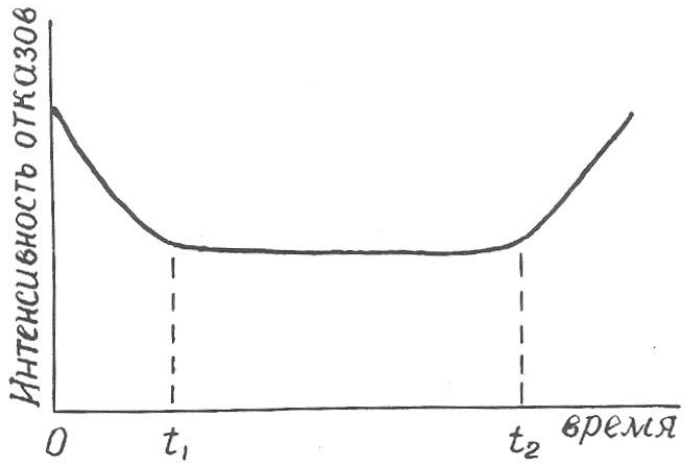


Рис. 1.1. Зависимость и интенсивности отказов от времени эксплуатации преобразователя

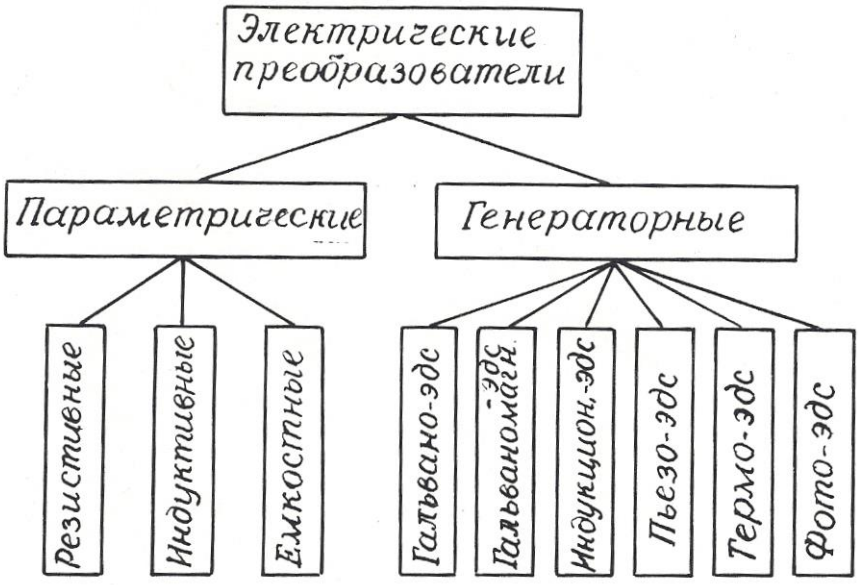


Рис. 1.2. Классификация электрических преобразователей

ния», здесь интенсивность отказов растет из-за того, что детали преобразователя вырабатывают свой ресурс (рис. 1.1).

Пути повышения надежности преобразователей – это упрощение их устройства, использование элементов с большой вероятностью безотказной работы, «разгруженный» режим эксплуатации.

Подавляющее большинство датчиков геофизической аппаратуры преобразуют измеряемую величину в электрический сигнал, хотя имеются датчики, например, в гравиразведочных приборах, выходная величина которых не является электрической.

Электрические преобразователи, применяемые в геофизической аппаратуре, крайне разнообразны по принципу действия и конструкции.

Основными признаками, позволяющими классифицировать датчики, являются: назначение, принцип действия, вид входного и выходного сигналов, наличие или отсутствие источников питания.

По назначение электрические датчики делятся на преобразователи неэлектрических величин в электрические и преобразователи одних электрических величин в другие. Соответственно входные величины измерительных преобразователей могут иметь как электрическую, так и неэлектрическую природу. Это могут быть характеристики различных физических полей (например, магнитная индукция, температура, сила тяжести, э.д.с. естественных электрических полей), разнообразные свойства горных пород, руд и растворов (плотность, электрическое сопротивление, магнитная восприимчивость, радиоактивность), геометрические и технические параметры буровых скважин (их диаметр, углы искривления), скорость перемещения, механические усилия и т. д.

Выходными величинами электрических датчиков могут, быть: э.д.с., сила тока, частота тока, импульсы тока или комбинации импульсов различной длительности и амплитуды, а также сопротивление, емкость или индуктивность электрической цепи.

По принципу действия электрические преобразователи делятся на **параметрические**, изменяющие пассивные элементы электрической цепи (сопротивление, емкость, индуктивность), и **генераторные**, вырабатывающие э.д.с. различной физической природы. В свою очередь, среди параметрических датчиков выделяются: резистивные, емкостные и индуктивные, а среди генераторных: датчики гальванической, гальваномагнитной, индукционной, фото-, пьезо- и термоэ.д.с. (рис. 1.2).

Особняком стоят радиационные преобразователи (детекторы радиоактивных излучений), которые имеет сложную структуру.

Каждый из видов датчиков, изображенных на рис. 1.1, имеет свои разновидности, отличающиеся по конструктивному исполнению.

По наличию или отсутствию специальных источников питания датчики подразделяются на **пассивные**, получающие энергию от измеряемой величины, и активные, питающиеся от внешнего источника.

В следующих разделах пособия будут рассмотрены физические свойства, особенности конструкции, достоинства и недостатки, а также примеры применения в конкретных образцах геофизической аппаратуры всех видов датчиков, представленных на рис. 1.2.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение измерительного преобразователя.
2. Какие синонимы существуют у термина «измерительный преобразователь»?
3. Что такое чувствительность преобразователя?
4. Назовите виды коэффициентов передачи датчика.
5. Назовите виды погрешностей преобразователей, укажите, какие причины их вызывают.
6. Что такое статическая характеристика преобразователя?
7. Что такое надежность преобразователя?
8. Поясните график зависимости интенсивности отказов от времени (рис. 1.1).

9. По каким признакам производят классификацию электрических преобразователей?
10. Назовите входные и выходные величины электрических преобразователей в геофизической аппаратуре.
11. На какие две большие группы делятся электрические преобразователи по принципу действия?
12. Поясните классификацию преобразователей, приведенную на рис. 1.2.

2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

2.1. Резистивные преобразователи

В преобразователях этого вида изменения измеряемого параметра преобразуются в изменения **активного сопротивления** электрической цепи.

В соответствии с выражением $R=\rho \cdot l/S$ (2.1) изменения сопротивления R могут происходить за счет изменения геометрических размеров проводника (длины l и поперечного сечения S) или его удельного сопротивления ρ. К преобразователям с изменяемыми размерами относятся контактные, реостатные, потенциометрические, тензометрические, угольные и электролитические датчики. К преобразователям с изменяемым удельным сопротивлением – электролитические, терморезистивные и некоторые фотоэлектрические датчики.

2.1.1. Контактные преобразователи

Контактные преобразователи представляют собой простейшую разновидность преобразователей резистивного типа. В одном крайнем положении их сопротивление равно бесконечности, в другом близко к нулю.

Работой контактных преобразователей могут управлять механические (линейное или угловое перемещение) или различные физические параметры (температура, магнитное поле, электрический ток).

Контактные преобразователи составляют основу большинства реле, широко применяемых в системах автоматического управления [8,11]. В последнее время широкое распространение получили **герконы** – миниатюрные герметизированные контактные преобразователи, управляемые магнитным полем.

Достоинства контактных преобразователей составляют их простата и малая стоимость, универсальность (они могут работать в цепях как постоянного, так и переменного тока); недостатки – искрение и «дребезг» контактов, возможность ложных срабатываний контактов от тряски.

В геофизической аппаратуре контактные преобразователи используются в различных измерителях постоянных напряжений для преобразования этих напряжений в переменные, которые потом подвергаются усилению на электронных усилителях. Примером могут служить электроразведочные измерители ЭСК-1, АТ-72, самопишущие каротажные потенциометры ПАСК-8 и ПАСК-9. Контактные преобразователи используются также в схемах управления многочисленных скважинных приборов (в пластовом наклономере НП-3, расходомерах с раскрывающимся пакером и др.).

Герконы используются в скважинных расходомерах РСМ, РГД, ДГД и др. [21].

2.1.2. Реостатные преобразователи

Простейший реостатный преобразователь – это переменный резистор, подвижный контакт которого перемещается вследствие изменения измеряемой величины – линейного перемещения, давления, угла наклона, направления магнитного поля и т.п.

Реостатный преобразователь (рис. 2.1, а) может быть включен по потенцио-метрической схеме (рис. 2.1, б), в этом случае он должен быть отнесен к преобразователям генераторного типа.

Как правило, реостатные преобразователи выполняют в виде намотки из изолированной проволоки высокого сопротивления (из манганина, константана, вольфрама) на каркасе из изоляционного материала. Форма каркаса может быть различной: прямоугольной, кольцевой или более сложной конфигурации в зависимости от входного параметра и необходимой зависимости $R= f(x)$.

Проволочные реостатные преобразователи являются дискретными, т.к. непрерывному изменению входной величины x соответствует скачкообразное изменение сопротивления R определяемое переходом подвижного контакта с одного витка провода на другой. Это обуславливает и погрешность измерений, которая уменьшается с уменьшением диаметра проволоки и увеличением числа витков W. Статический коэффициент передачи реостатного датчика $K_{ст}=z\cdot W/l$, где z – сопротивление одного витка, l – длина намотки.

Обычная относительная погрешность датчиков $\delta= 0{,}2 – 0{,}5$ %.

Преимущества реостатных датчиков: простота конструкции, малый вес и габариты, возможность включения в цепь как постоянного, так и переменного тока, возможность получения необходимой статической характеристики $R=f(x)$, недостатки: наличие подвижного механического контакта, что уменьшает надежность датчика, необходимость какого-то усилия для перемещения этого контакта, влияние температуры.

Благодаря своей простоте и универсальности реостатные преобразователи широко используются в геофизической аппаратуре для исследования скважин: в каверномерах (КФ, КМ, СКП-1 и др.), в инклинометрах (ИК-1, ИК-2, МИР-36, ИГ-36 и др.) [2,9,12], в датчиках натяжения кабеля, в некоторых уровнемерах. Так, например, в скважинном уровнемере конструкции УГИ [18,26], изменение уровня жидкости над прибором, точнее, гидростатическое давление столба жидкости над ним преобразуется в изменение уровня токопроводящей жидкос-

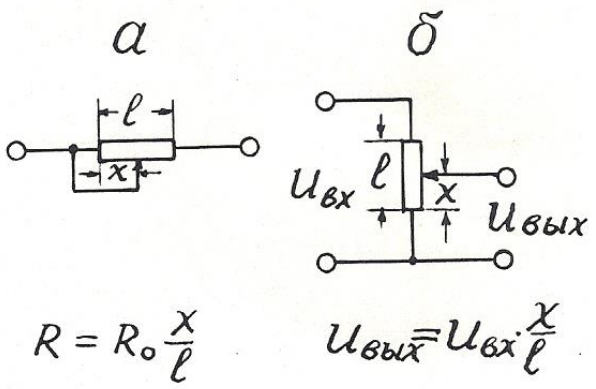


Рис. 2.1. Реостатный преобразователь (а) и его включение по потенциометрической схеме (б).

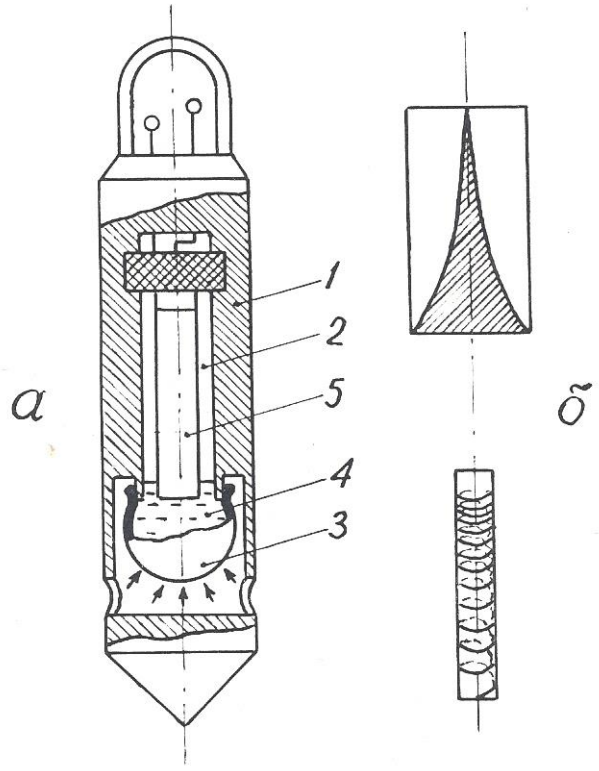


Рис. 1.2. Пример применения реостатного преобразователя в скважинном уровнемере с линейной входной характеристикой: а – конструкция уровнемера; б – варианты выполнения реостата; 1 – корпус уровнемера; 2 – измерительная камера; 3 – гибкий резервуар; 4 – токопроводящая жидкость; 5 – реостат.

ти в измерительной камере, отделенной от внешней среды гибкой оболочкой (рис. 2.2). Вдоль продольной оси камеры располагается реостатный преобразователь, подвижным контактом которого служит токопроводящая жидкость. Поскольку давление P в измерительной камере и ее объем V при постоянной температуре связаны соотношением PV=const [7], то одинаковые приращения давления P .(уровня жидкости) вызывают неодинаковые перемещения уровня токопроводящей жидкости в измерительной камере. Для получения линейной статической характеристики реостатный преобразователь в данном уровнемере выполнен в виде неравномерной намотки или высокоомной пленки переменной ширины таким образом, чтобы приращение сопротивления реостата было обратно пропорционально квадрату перемещения подвижного контакта, т.е. уровня токопроводящей жидкости.

2.1.3. Тензометрические преобразователи

Действие тензопреобразователей основано на изменении сопротивления проводников и полупроводников при их растяжении или сжатии [15].

Тензоэлементы (или тензорезисторы) состоят из тонкой проволоки или фольги, сложенной несколько раз в форме меандра и вклеенной между эластичными бумажными, пленочными или фетровыми подкладками. Толщина проволоки (или фольги) от 0,02 до 0,05 мм. Основные конструктивные формы тензоэлементов представлены на рис. 2.3.

Изменение электрического сопротивления тензоэлемента пропорционально относительной деформации детали в месте наклейки последнего. Относительный коэффициент передачи тензодатчика $K_{отн}=(\Delta R/R)/(\Delta l/l)$. Материал для тензоэлементов должен характеризоваться возможно большей тензочувствительностью и возможно меньшим температурным коэффициентом. Обычно используются сплавы: константан, манганин, нихром, а также чистые металлы: никель, висмут. Очень высокую тензочувствительность, в 60-80 раз

выше, чем у металлов, имеют полупроводники: германий, кремний и др. Полупроводниковые тензоэлементы получают выращиванием кристаллов полупроводника на мембране из диэлектрического металла (например, датчики «кремний на сапфире»).

Достоинства тензорезисторных преобразователей: простота конструкций, малые габариты, высокая точность, безинерционность; недостатки: невысокая чувствительность, зависимость сопротивления от температуры.

Низкая чувствительность тензорезисторных преобразователей требует применения усилителей выходного сигнала, а термозависимость – применения специальных мер для устранения влияния температуры.

Тензопреобразователи находят применение в датчиках силы натяжения каротажного кабеля с подвесным роликом ДНТ-033 ($\delta \leq 1{,}5\%$ при усилии до 500 *Н*) [2,17], в некоторых опробователях пластов в качестве измерителей пластового давления (например, в ОПД-7-10), в некоторых скважинных уровнемерах типа погружных манометров [2].

Автором тензорезисторный преобразователь применен в расходомере РГЖ-1, не содержащем вращающихся деталей [19]. Чувствительным элементом этого прибора служат две гибкие пластины, установленные вдоль измеряемого потока. Поскольку давление в движущемся флюиде понижается, пластины прогибаются навстречу друг другу тем больше, чем выше скорость потока (рис. 2.4). Прогиб пластин преобразуется в электрический сигнал с помощью наклеенных на них тензоэлементов. Для устранения влияния температуры на пластине наклеены 4 тензоэлемента (2 вдоль нее и 2 поперек), соединенные по мостовой схеме. В одну диагональ моста подается переменный ток питания (частота I кГц), к другой диагонали подключен усилитель. Чувствительность описанного расходомера составляет 0,05 л/с.

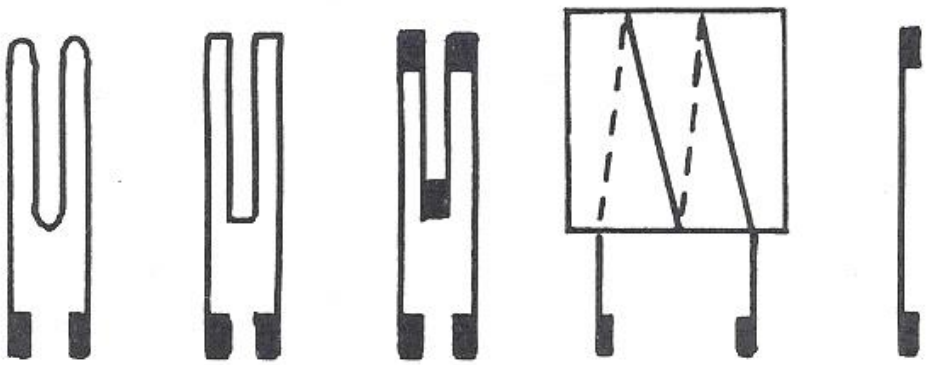


Рис. 2.3. Разновидности тензорезисторов

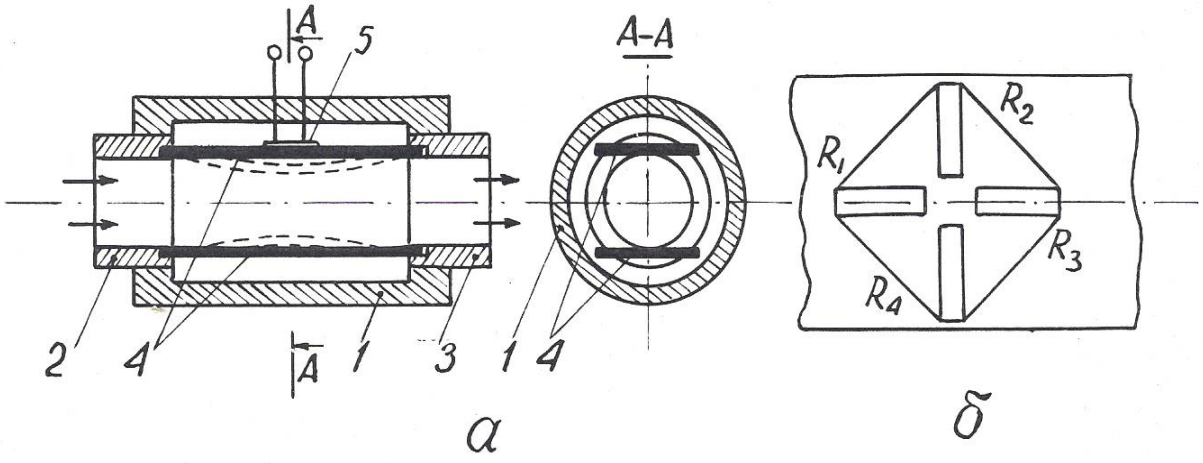


Рис. 2.4. Принцип действия расходомера РГЖ-1 (а) и размещение тензорезисторов на упругой пластине (б): 1 – корпус расходомера; 2 – входной канал; 3 – выходной канал; 4 – упругие пластины; 5 – тензометрический преобразователь прогиба пластины в электрический сигнал

2.1.4. Электролитические преобразователи

Преобразователи этого типа основаны на изменении электрического сопротивления между помещенными в электролит электродами в зависимости от расстояния между ними, площади соприкосновения с электролитом или проводимости последнего (2.1). Электролитические датчики используются для измерения угловых и линейных перемещений, а также для определения сопротивления электролита. Во избежание погрешностей, связанных с электролизом и электродной поляризацией, их включают, как правило, в цепь переменного тока.

Достоинства датчиков этого типа заключаются в простоте конструкции и способности пропускать большие токи; недостатки – в зависимости сопротивления электролита от температуры (при изменении последней на 1° электропроводность растворов изменяется на 1,5-2,5%).

В геофизической аппаратуре электролитические датчики используются в резистивиметрах всех видов: скважинных и переносных (например, в приборе ПР-1).

Еще один пример применения датчик этого типа устройство для определения направления и скорости потока подземных вод [20]. Это устройство содержит цилиндрическую измерительную камеру с перфорированными стенками, по окружности которой размещены радиальные электроды а в середине – центральный (рис. 2.5). Каждый из электродов подсоединен к своей жиле многожильного каротажного кабеля (например, кабеля КГ17-60-180ШМ. Внутри камеры располагается также магнитная стрелка с экраном из изоляционного материала на северном конце. Измерительная камера закрывается крышкой и заполняется электролитом через специальные отверстия в ней. Затем устройство опускают в скважину и устанавливают напротив исследуемого водоносного горизонта. По кабелю

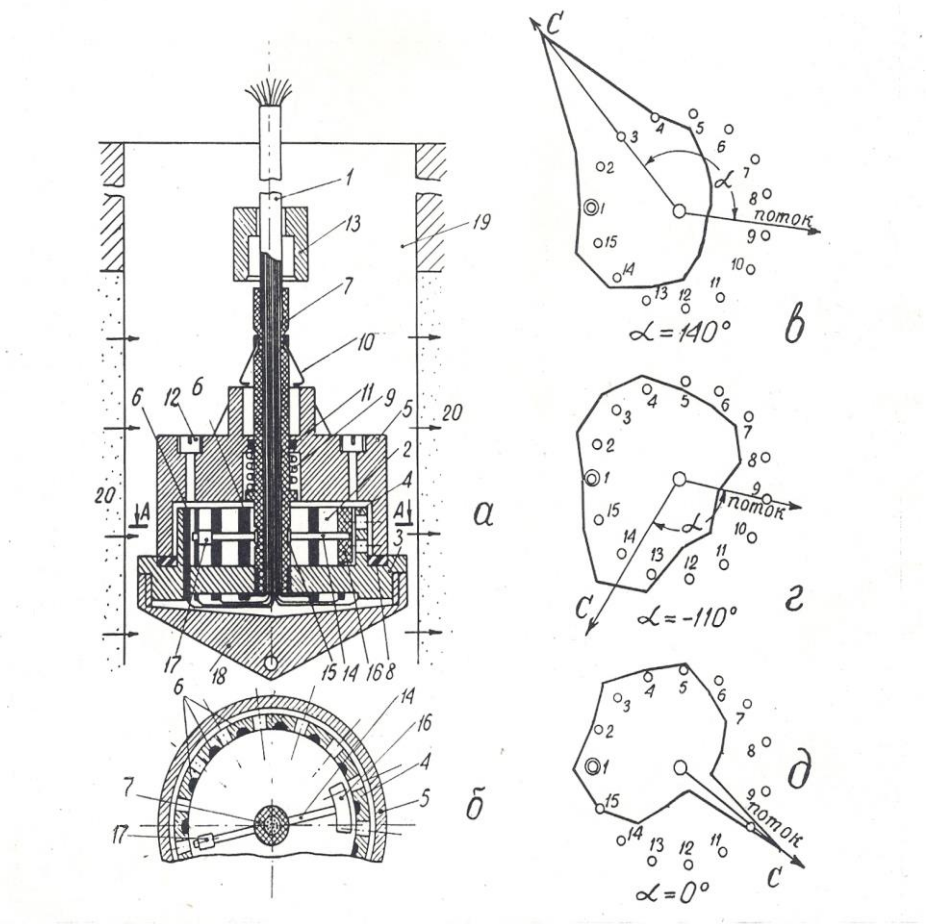


Рис. 2.5. Устройство для определения направления и скорости потока (а, б) и результаты измерений магнитного азимута потока (в-д): 1 – многожильный каротажный кабель; 2 – измерительная камера; 3 – изоляционный диск; 4 – перфорированные стенки камеры; 5 – крышка; 6 – радиальные электроды; 7 – центральный электрод; 8 – резиновая прокладка; 9 – сжатая спиральная пружина; 10 – пружинные защелки; 11 – резиновое кольцо; 12 – заливная пробка; 13 – сбивающий грузик; 14 – магнитная стрелка; 15 – скользящий подшипник; 16 – изоляционный экран; 17 – противовес; 18 – нижний наконечник.

опускают сбивающий грузик, который приводит в действие пружину, отбрасывающую крышку вверх по кабелю. Движением подземных вод электролит из измерительной камеры вымывается по направлению потока через перфорацию в стенках. Магнитная стрелка ориентируется по направлению магнитного меридиана, а экран на ее северном конце перекрывает один из радиальных электродов. На поверхности производят измерения электрического сопротивления между центральным и каждым из радиальных электродов. Минимальное сопротивление указывает направление потока подземных вод, а максимальное – направление на север. Скорость потока определяют по скорости вымывания электролита из измерительной камеры, повторяя измерения через определенные интервалы времени. При использовании 17-жильного кабеля устройство обеспечивает абсолютную погрешность в измерении направления потока, не превышающую ±12°.

2.1.5.Терморезистивные преобразователи

Терморезистивные преобразователи основаны на свойстве металлов и полупроводников изменять свое сопротивление под действием температуры Т.

Зависимость сопротивления металлов от температуры в общем случае нелинейна, однако, для ограниченных интервалов температур ее можно представить в виде линейной двучленной функции $R_т=R_0[1+\alpha(T-T_0)]$, где R_0 – сопротивление при начальной температуре T_0, а α – температурный коэффициент сопротивления для интервала $T – T_0$.

Основным материалом для терморезисторов являются чистые металлы: платина, медь, никель, которые обладают в интервале от О до 100°С положительным $\alpha=0{,}0030–0{,}0068$ $(град.С)^{-1}$.

Известны также объемные полупроводниковые терморезисторы (термисторы). Их сопротивление уменьшается с повышением температуры по экспоненте, в среднем для них $\alpha=0{,}03\text{-}0{,}04$ $(град.\ С)^{-1}$, но значение α сильно

зависит от температуры. Чувствительность (статический коэффициент передачи) терморезисторов $K_{ст}=\Delta R/\Delta T=\alpha R_0$.

Достоинства терморезистивных преобразователей: простота конструкции, малые габариты, возможность установки в труднодоступных местах. Однако им присущи и важные недостатки. Во-первых, это постоянство α лишь в ограниченном диапазоне температур и, во-вторых, инерционность, приводящая к большим динамическим погрешностям. Как известно, термопреобразователь приобретает температуру среды по закону $\Delta T=\Delta T_0 \cdot e^{-t/\tau}$ где ΔT_0 - начальная разность температур, t – время, τ – постоянная времени преобразователя, зависящая от его конструкции и теплопроводности, а также тепловых свойств среды.

В геофизическом приборостроении преобразователи этого типа находят применение в скважинных термометрах электрических (СТС-2, ЭТМИ-55 и др.) и электронных (ТЭГ-36, ТЭГ-60 и др.).

Чувствительный элемент всех скважинных термометров представляет собой тонкую (0,02-0,03 мм) медную проволочку, сложенную в несколько раз и помещенную в тонкостенную медную трубку длиной около 30 см, омываемую скважинным флюидом [9].

Точно так же устроен чувствительный элемент скважинных расходомеров типа термоанемометров СТД-2, СТД-4 [2]. Этот термоэлемент включается в мостовую измерительную схему и нагревается до температуры, превышающей температуру исследуемого потока. Мостовая схема балансируется при размещении чувствительного элемента в неподвижной жидкости. Когда жидкость приходит в движение, она охлаждает нагретый термоэлемент, тем сильнее, чем выше скорость ее движения.

В газокаротажных станциях (АГКС-64, АГКС-4 и др. для определения суммарного газосодержания в газовоздушной смеси эта смесь подается на термочувствительный элемент в виде тонкой платиновой проволочки, нагретой до 850° С и включенной в сбалансированную мостовую схему. Если в

анализируемой смеси имеются углеводородные газы, то при 850°С они сгорают, выделяющееся тепло повышает температуру проволочки, увеличивая ее сопротивление и нарушая баланс мостовой схемы [17].

Аналогичным образом действуют приборы для определения содержания СО в выхлопных газах автомобиля [6].

Известны также устройства для определения направления потока подземных вод [24], содержащие нагреватель и расположенные вокруг него термисторы. По измерениям температуры последних определяют, в каком направлении идет перенос тепла, т.е. происходит движение подземных вод.

2.1.6. Магниторезистивные преобразователи

Эти преобразователи основаны на свойстве некоторых материалов изменять свое электрическое сопротивление под действием магнитного поля (эффект Гаусса). Таким свойством обладает, например, сплав пермаллой (80% никеля, 20% железа). Степень изменения сопротивления магниторезистора зависит от магнитной индукции поля B и угла θ между ее направлением и направлением тока [6,16,22].

Магниторезисторы изготавливаются по тонкопленочной технологии в форме меандров (рис. 2.6).

Еще большим магнитоэлектрическим эффектом, чем сплавы металлов, обладают полупроводники (антимонид индия InSb и арсенид индия InAs).

Увеличение сопротивления магниторезисторов объясняется увеличением пути движения электронов и дырок под действием силы Лоренца.

Чувствительность магниторезистивных датчиков $K_{диф}=\Delta R/\Delta B$ зависит от величины магнитной индукции: $\Delta R=R_0 \cdot A(\nu B)^n$, где A – так называемый «коэффициент формы», ν – подвижность электронов: n – постоянный коэффициент (n=1–2), зависящий от B.

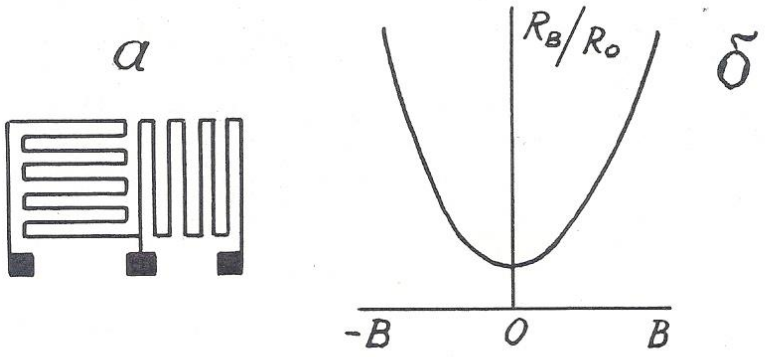


Рис. 2.6. Форма магниторезистора (а) и зависимость приращения его сопротивления от магнитной индукции (б)

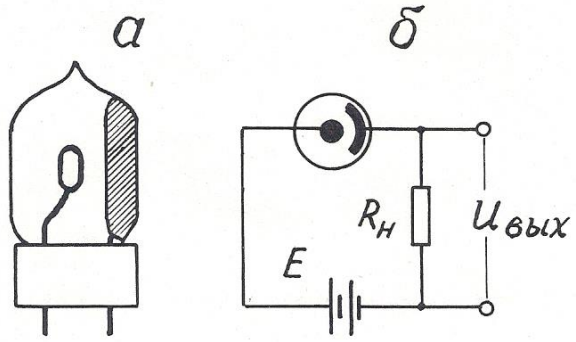


Рис. 2.7. Конструкция фотоэлемента с внешним эффектом (а) и включение его в измерительную схему (б)

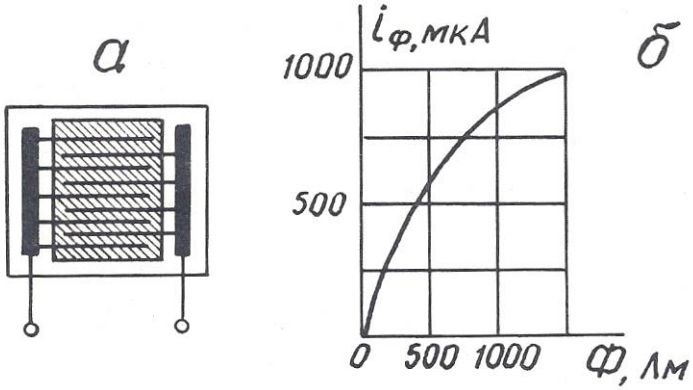


Рис. 2.8. Конструкция фотоэлемента с внутренним фотоэффектом (а) и зависимость фототока от светового потока (б)

При больших B значение n=1, поэтому при использовании магниторезисторов применяют магнитное смещение, помещая их в поле электромагнита с B=0,3 – 0,5 Тл.

Недостатки магниторезисторов: наличие температурного влияния и потребность в сильных магнитных полях.

Магниторезисторы в геофизике могут быть использованы в скважинных расходомерах и магнитных меткоуловителях каротажных станций.

2.1.7. Фотоэлектрические преобразователи

Фотоэлектрические преобразователи (фотоэлементы) основаны на явлении внешнего (электровакуумные и газонаполненные) или внутреннего (полупроводниковые) фотоэффекта.

Фотоэлемент с внешним фотоэффектом представляет собой электронную лампу с двумя электродами, один из которых (фотокатод) покрыт светочувствительным слоем (рис. 2.7). Возрастание фототока при увеличении приложенного напряжения происходит до величины тока насыщения, при котором все электроны, испускаемые фотокатодом под действием светового потока, достигают анода.

Фотоэлемент с внутренним фотоэффектом (фоторезистор) состоит из стеклянной пластины, на которой вытравлены входящие друг в друга гребневидные системы штрихов, заполненные электропроводным веществом (платина, золото). Пластина покрывается тонким слоем полупроводникового светочувствительного материала (рис. 2.8).

Чувствительность фотоэлементов $K_{диф}=\Delta R/\Delta\Phi$ непостоянна и нелинейно зависит от светового потока Ф. Кроме того, фотоэлементы обладают еще и спектральной избирательностью» т.е. чувствительностью к световому излучению определенной длины волны.

Фотоэлементы могут быть использованы и в режиме источников тока, т.е. как генераторные преобразователи фотоэ.д.с.

Фотопреобразователи находят применение в приборах фотокаротажа, предназначенных для дифференциации разрезов скважин по цвету пород, в скважинных расходомерах (например, в ТСР-70Ф) в некоторых инклинометрах. Так, автором совместно с профессором. А.В.Давыдовым предложен датчик угла наклона буровой скважины для непрерывных измерений [27]. Этот датчик содержит измерительную камеру 1, частично заполненную жидкостью 2 с высоким коэффициентом поверхностного отражения, например, ртутью или сплавом Вуда, а над жидкостью соосно размещены источник света 3 и кольцевой фотопреобразователь 4 (рис. 2.9). При вертикальном положении датчика весь свет источника, отраженный от поверхности жидкости, попадает на фотопреобразователь, и сигнал на его выходе максимален. При отклонении датчика от вертикали поверхность жидкости наклоняется относительно оси камеры, и часть отраженного света уходит за пределы фотопреобразователя. Выходной сигнал уменьшается тем сильнее, чем больше зенитный угол скважины.

2.2. Индуктивные преобразователи

Принцип действия индуктивных преобразователей основан на изменении электрического сопротивления *z* катушки индуктивности при изменении магнитного сопротивления ее сердечника. В свою очередь, магнитное сопротивление сердечника может быть изменено либо за счет изменения величины воздушного зазора в нем, либо за счёт изменения магнитных свойств материала, из которого он состоит.

2.2.1. Индуктивные преобразователи с изменяемым воздушным зазором

Входной величиной преобразователей этого типа обычно служат линейные или угловые перемещения. Чувствительность датчика $K_{диф}=\Delta z/\Delta x$.

Конструкции датчиков весьма разнообразны, некоторые из них, наиболее распространенные, представлены на рис. 2.10.

Независимо от конструкции датчика, его индуктивное сопротивление $z=j\ \omega\ L$, где ω – круговая частота тока в катушке; L – ее индуктивность. $L=W^2/R_\mu$, где W – число витков в катушке; R_μ – магнитное сопротивление сердечника. $R_\mu=R_ж+R_в$, где $R_ж$ – магнитное сопротивление железа сердечника; $R_в$ – магнитное сопротивление воздушного зазора. $R_в>>R_ж$. $R_в=\delta/(\mu_0\cdot S)$, где δ – длина воздушного зазора; S – его площадь; μ_0 – абсолютная магнитная проницаемость воздуха. Таким образом, $z=-j\ \omega\ W^2\mu_0 S/\delta$, т.е. z обратно пропорционально δ и зависимость $z=f(\delta)$ нелинейна.

Линеаризовать эту зависимость удается в конструкции так называемых «дифференциальных» индуктивных преобразователей (рис. 2.11). В этих преобразователях, используются, две катушки индуктивности, включенные в мостовую схему и расположенные таким образом, что, когда индуктивное сопротивление одной увеличивается, сопротивление другой падает.

Достоинства индуктивных: преобразователей: отсутствие открытых электрических контактов, большая мощность вырабатываемого сигнала; недостаток – наличие электромагнитного взаимодействия между катушкой и сердечником (или его подвижной частью), отсюда – так называемая «реакция преобразователя».

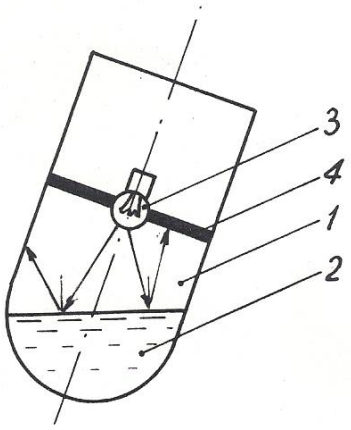


Рис. 2.9. Датчик угла наклона буровой скважины: 1 – измерительная камера; 2 – жидкость с высоким коэффициентом поверхностного отражения; 3 – источник света; 4 – кольцевой фотоприемник

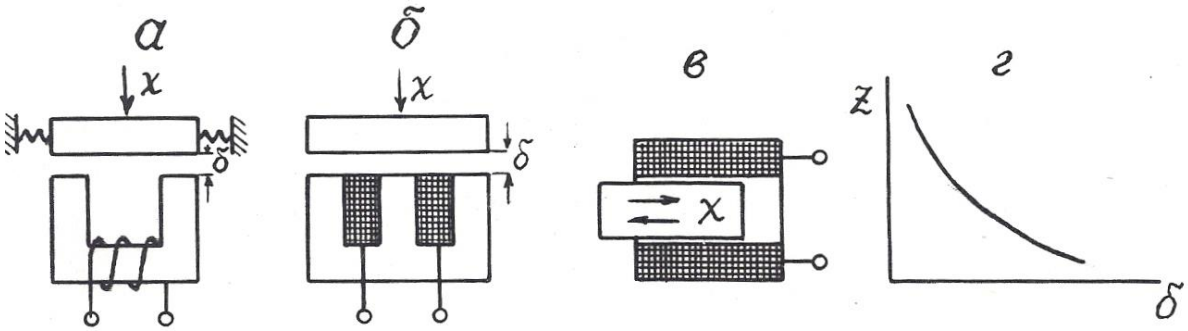


Рис. 2.10. Варианты выполнения индуктивных преобразователей с изменяемым воздушным зазором (*а-в*) и их статическая характеристика (*г*).

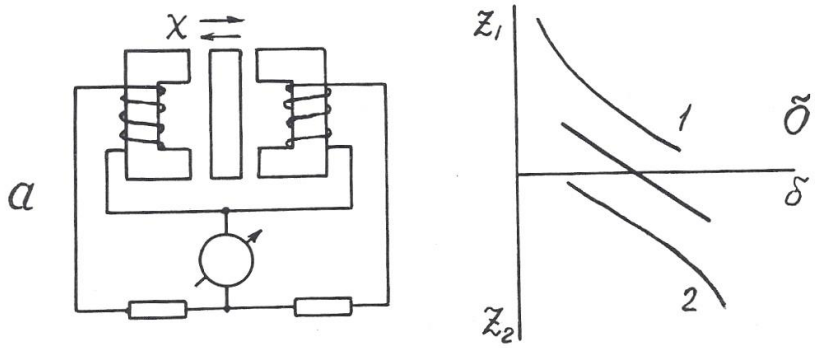


Рис. 2.11. Дифференциальный индуктивный преобразователь (а) и его статическая характеристика (б)

В геофизической аппаратуре индуктивные преобразователи находят применение в некоторых каверномерах и профилемерах (например, в профилемере ПМ-50) [2], в скважинных расходомерах ДАУ-3, РСИ-3 и ГЕО-В-600 (последний венгерского производства) [21], в индуктивных дефектомерах обсадных колонн.

2.2.2. Магнитоупругие преобразователи

Эти преобразователи основаны на взаимосвязи между магнитным и механическим состоянием ферромагнитных материалов.

Различают собственно **магнитоупругий эффект**, т.е. изменение магнитных свойств, в частности, магнитной проницаемости под воздействием механических деформаций, и обратное явление – **магнитострикционный эффект**, т.е. изменение формы и размеров ферромагнитных тел под воздействием внешнего магнитного поля.

В качестве материала для изготовления магнитоупругих датчиков используют сплавы: пермаллой, пермендюр, альсифер, ферриты, а также чистые металлы, например, никель. Конструкции преобразователей изображены на рис. 2.12.

Относительный коэффициент передачи магнитоупругого датчика $K_{отн}=(\Delta\mu/\mu)/(\Delta l/l)$ составляет около 200 и не остается постоянным при изменении размеров датчика (см. рис. 2.12, д).

Достоинства магнитоупругих датчиков: простота конструкции, прочность, удобство герметизации; недостатки: нелинейная статическая характеристика, наличие резонансной частоты.

Для стержневых датчиков (см. рис. 2.12, а, б) резонансная частота $f_0=V/2l$, где V – скорость упругих волн в материале сердечника, l – его длина; для кольцевого (см. рис. 2.12, в) – $f_0=V/2d$, где d – диаметр датчика.

Магнитоупругие преобразователи находят применение в аппаратуре акустического каротажа в качестве источников (магнито-стрикционные излучатели) упругих волн [12,17], в некоторых прихватоопределителях, а также в буровой технике – в измерителях нагрузки МКМ-2 буровых станков и в измерителях давления промывочной жидкости МИД-1, МИД-1А [5].

2.2.3. Магнитомодуляцнонные преобразователи

Эти преобразователи основаны на изменении магнитных свойств ферромагнитных материалов под действием магнитного поля.

Сердечники магнитомодуляционных преобразователей изготавливают в форме стержня с большим отношением длины l к диаметру d: $l/d>100$. При этом условии коэффициент размагничивания сердечника $N=0$ и даже в слабом магнитном поле, направленном вдоль его оси, сердечник намагничивается до насыщения. При этом его относительная магнитная проницаемость падает до 1, хотя при ненасыщенном состоянии она очень велика – до 10000. Для того, чтобы намагнитить сердечник до насыщения, на него наносят обмотку возбуждения, по которой пропускают переменный ток.

В моменты как падения магнитной проницаемости (при возрастании намагничивающего поля до H_s), так и восстановления ее (при уменьшении намагничивающего поля ниже H_s) в обмотке индуцируются пики э.д.с. самоиндукции противоположных знаков. Частота этих пиков вдвое превышает частоту возбуждающего тока, как это можно видеть по рис.2.13.

При воздействии на датчик внешнего постоянного магнитного поля, направленного вдоль его оси, в один из полупериодов это поле складывается с магнитным полем катушки возбуждения, и сердечник доходит до насыщения быстрее, чем вне внешнего магнитного поля, в другой полупериод внешнее поле вычитается из поля катушки возбуждения, и сердечник не доходит до

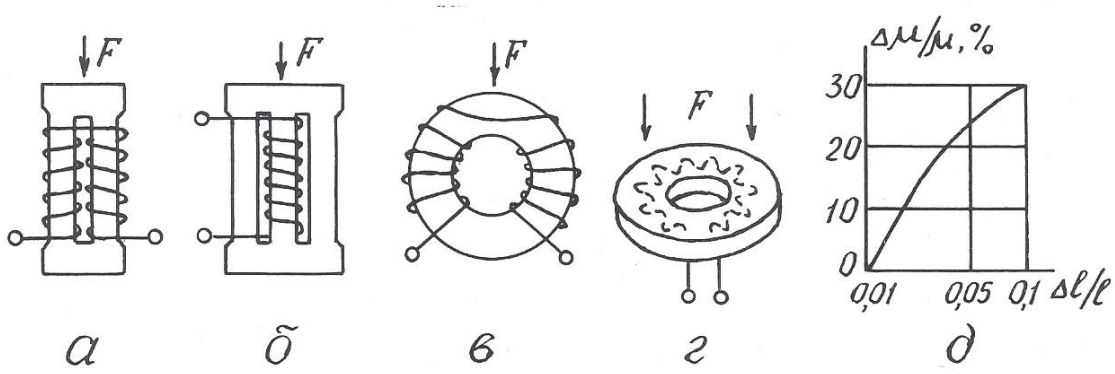


Рис. 2.12. Разновидности магнитоупругих преобразователей (а-г) и зависимость изменения магнитной проницаемости от изменения размеров преобразователя (д)

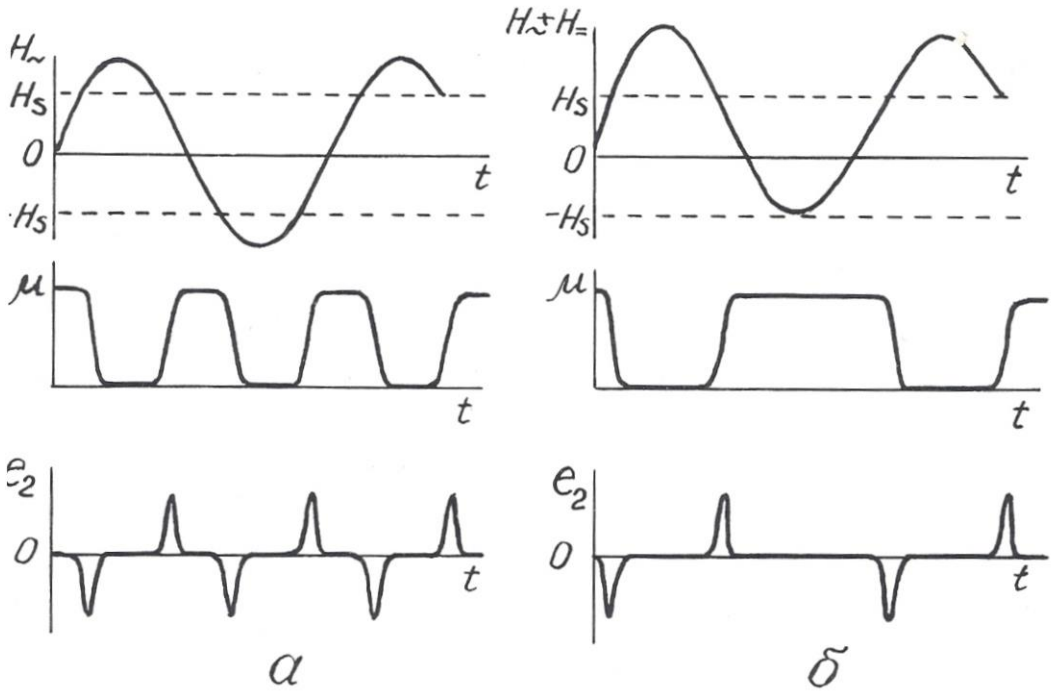


Рис. 2.13. Возникновение э.д.с. второй гармоники в магнитомодуляционном преобразователе в отсутствие (а) и при наличии (б) внешнего магнитного поля

магнитного насыщения, и нарушается симметрия перемагничивания сердечника.

Существуют 2-элементная и 1-элементная конструкции магнитомодуляционных датчиков (рис. 2.14). В 2-элементной имеются 2 параллельных сердечника, обмотки возбуждения на которых намотаны в противоположных направлениях и потому их магнитное поле имеет противоположное направление, а пики э.д.с. второй гармоники противоположны по знаку. По этой причине в сигнальной обмотке, охватывающей оба стержня, при отсутствии внешнего магнитного поля выходной сигнал равен 0. При наличии внешнего магнитного поля в один полупериод исчезает пара импульсов э.д.с. второй гармоники в одной обмотке, когда ее стержень не доходит до насыщения, в другой полупериод – не возникает такая же пара импульсов в другой обмотке возбуждения и потому на выходе сигнальной обмотки будет существовать э.д.с. второй гармоники, имеющая частоту, удвоенную по сравнению с током возбуждения. Амплитуда этой э.д.с. пропорциональна напряженности внешнего магнитного поля, а фаза определяется направлением последнего.

В одноэлементных датчиках э.д.с. второй гармоники выделяется не с помощью дополнительной сигнальной обмотки, а с помощью фильтров, настроенных на ее частоту.

Достоинства магнитомодуляционных датчиков: простота, надежность, отсутствие открытых электрических контактов, высокая чувствительность; недостаток – необходимость в сложной измерительной схеме, обеспечивающей питание датчика переменным током, а также выделение и усиление сигнала второй гармоники. Дополнительный недостаток 2-элементных датчиков – большое количество выводов.

Магнитомодуляционные преобразователи находят широкое применение в магнитометрической аппаратуре – 2-элементные в полевых (М-17) и аэромагнитометрах (АММ-13, АСГМ-46) [3], 1-элементные – в скважинных

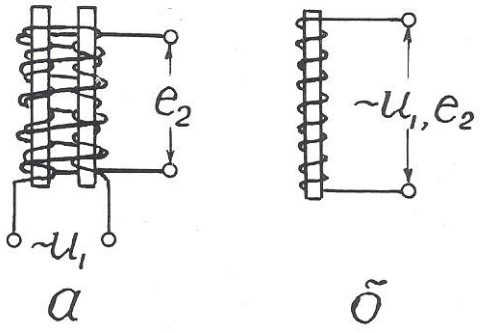


Рис. 2.14. Конструкция 2-элементного (а) и 1-элементного (б) магнитомодуляционного преобразователя

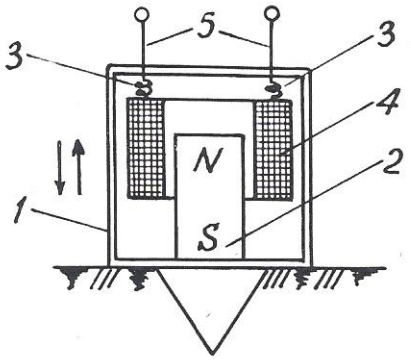


Рис. 3.1. Сейсмоприемник магнитоэлектрического типа: 1 – корпус; 2 – постоянный магнит; 3 – пружинки; 4 – катушка индуктивности; 5 – электрические выводы

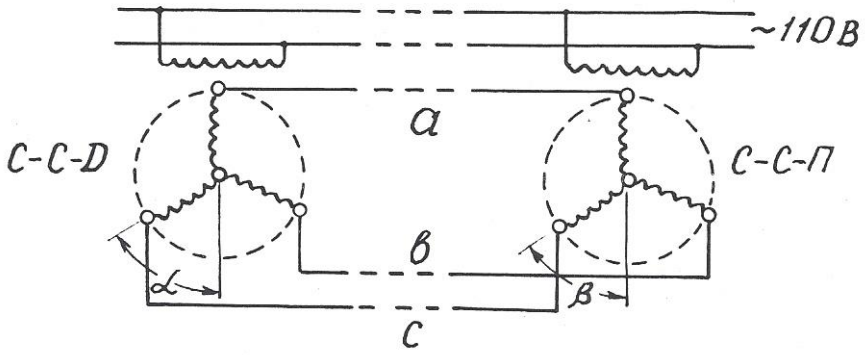


Рис. 3.2. Электрическая схема сельсинной передачи

магнитометрах ТСМ-3, ТСМК-40, ТСМК-30, КСМ-38 и др. [12,17]. Они используются также в скважинных расходомерах РЭТС-2 и магнитных меткоуловителях каротажных станций.

2.3. Емкостные преобразователи

Преобразователи этого вида основаны на изменении емкости C конденсатора под действием измеряемой величины.

Как известно, $C=\varepsilon S/\delta$ (2.2), где S – площадь обкладок конденсатора; δ – расстояние между ними; ε – диэлектрическая проницаемость среды между обкладками. Следовательно, изменять емкость можно путем воздействия измеряемой величины либо на геометрические размеры датчика, либо на его диэлектрическую проницаемость. При этом очевидно, что датчики с изменяемыми параметрами S и ε имеют линейную статическую характеристику, а датчики с изменяемой величиной δ – нелинейную. В последнем случае для линеаризации характеристики возможно применение дифференциальных емкостных преобразователей, аналогичных по конструкции дифференциальным индуктивным датчикам.

Входными величинами емкостных датчиков могут быть линейные и угловые перемещения, механические усилия, деформации, изменение состава вещества.

Достоинства емкостных датчиков: высокая чувствительность, безинерционность, стабильность; недостаток – малая выходная мощность.

Датчики этого вида используются в аппаратуре диэлектрического каротажа ДК-1.Чувствительный элемент этой аппаратуры представляет собой цилиндрический конденсатор больших размеров, емкость которого зависит от диэлектрической проницаемости окружающих горных пород [2].

В так называемых «аквамерах» – приборах для определения количества воды в смесях «вода-нефть», откачиваемых из буровых скважин, также

применяется емкостной датчик. Действие этого прибора основано на том, что у воды ε=81, а у нефти ε=2,5 отн.ед. (при температуре 18^0 С)

В некоторых скважинных термометрах используются в качестве частотозадающего элемента в схеме *RC*-генератора конденсаторы, емкость которых зависит от температуры.

Кроме того, известны скважинные емкостные измерители зенитного угла [25]. Их чувствительный элемент – конденсатор, одна обкладка которого представляет собой металлическую изолированную полусферу, установленную перпендикулярно оси прибора, а другая обкладка – залитую в эту сферу ртуть. При вертикальном расположении датчика емкость его максимальна, при наклоне – уменьшается.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные характеристики контактных преобразователей и приведите примеры их применения в геофизической аппаратуре (ГА).

2. Назовите основные характеристики реостатных преобразователей, приведите примеры их применения в ГА.

3. Назовите основные характеристики тензометрических преобразователей и приведите примеры их применения.

4.Назовите основные характеристики электролитических преобразователей и приведите примеры их применения в ГА.

5. Назовите основные характеристики терморезистивных преобразователей и приведите примеры их применения в ГА.

6. Назовите разновидности и основные характеристики фоторезистивных преобразователей, приведите примеры применения их в ГА.

7. Назовите разновидности индуктивных преобразователей.

8. Поясните принцип действия индуктивных преобразователей с изменяемым воздушным зазором, приведите примеры их применения в ГА.

9. Поясните принцип действия магнитоупругих преобразователей, приведите примеры их применения в ГА.

10. Поясните принцип действия магнитомодуляционных преобразователей, приведите примеры их применения.

11. Назовите основные характеристики емкостных преобразователей и приведите примеры их применения.

3.ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ГЕНЕРАТОРНОГО ТИПА

Во всех генераторных преобразователях выходной величиной является э.д.с., появляющаяся в результате воздействия измеряемой величины.

3.1. Преобразователи индукционной э.д.с.

Эти преобразователи основаны на явлении электромагнитной индукции, возникающей при воздействии на проводник переменного магнитного поля.

Изменение магнитного поля, воздействующего на проводник или, точнее, на катушку индуктивности, достигается либо за счет перемещения катушки относительно постоянного магнита, либо за счет изменения магнитного поля при неизменном расположении магнита и катушки индуктивности.

3.1.1 Преобразователи индукционной э.д.с, со взаимным перемещением магнита и катушки индуктивности

Э.д.с., возникающая в катушке индуктивности, зависит от следующих факторов: $e=BVlW\sin\alpha$, где B – магнитная индукция; V – относительная скорость перемещения; α – угол между векторами V и B, l – длина витка и W – число витков в катушке.

Преобразователи этого вида широко используются в геофизической аппаратуре. Примером могут служить сейсмоприемники магнито-электрического типа (С210, СВ1-30 и др.), принцип действия которых

иллюстрируется рис. 3.1 [3]. С корпусом приемника 1 жестко скреплен постоянный магнит 2. Над магнитом на пружинках 3 подвешена катушка индуктивности 4 с электрическими выводами 5. При колебаниях поверхности, на которой установлен сейсмоприемник, происходят взаимные перемещения магнита 2 и катушки индуктивности 4, и в последней наводится э.д.с.

Другой пример использования датчиков этого вида – автосинная (или сельсинная) передача, которая применяется в каротажных станциях для синхронизации движения носителя записи (диаграммной или магнитной ленты) с перемещением, зонда по скважине [12]. Принципиальная схема сельсинной передачи представлена на рис. 3.2. Передача содержит, по меньшей мере, две идентичных электрических машины, у которых статор имеет однофазную обмотку с явно выраженными полюсами, а ротор – трехфазную обмотку с неявно выраженными полюсами. Одна машина, называемая сельсином-датчиком (ССД), устанавливается на блок-балансе, через который в скважину опускается кабель со скважинным снарядом. При движении кабеля по скважине блок-баланс через зубчатую передачу приводит во вращение ротор сельсина-датчика. Другая машина, называемая сельсином-приемником (ССП), устанавливается в регистрирующем приборе каротажной станции и играет роль привода его лентопротяжного механизма. Обмотки роторов ССД и ССП включены навстречу друг другу, а обмотки статоров питаются переменным током промышленной частоты от одного и того же источника. Переменный ток создает в обмотках статоров пульсирующие магнитные потоки, которые индуцируют в роторных обмотках э.д.с., зависящие от угла поворота ротора относительно статора. Если эти углы у роторов ССД и ССП одинаковы ($\alpha=\beta$), то э.д.с., в их обмотках равны и взаимно компенсируют друг друга. Токи в каждой роторной цепи равны нулю. Если эти углы не равны ($\alpha\neq\beta$), баланс э.д.с. нарушается, и в роторных обмотках возникают токи, которые создают в них магнитные поля, стремящиеся повернуть роторы до положения $\alpha=\beta$.Поскольку ротор ССД механически связан с роликом блок-баланса, находящегося под

большой нагрузкой, то поворачивается все время ротор ССП, нагрузка на который меньше и который перемещает носитель записи синхронно с движением скважинного прибора. С одним и тем же ССД могут быть соединены несколько ССП, например, один в регистрирующем приборе, другой на панели лебедчика в блоке счетчика глубин.

Еще один пример применения датчиков этого вида – тахогенераторы – приборы для измерения скорости вращения [5]. В этих приборах ротор генератора вращается в поле постоянного магнита или электромагнита, а индуцируемая в нем э.д.с. выпрямляется и измеряется стрелочным или цифровым прибором. Такие тахогенераторы также используются в каротажных станциях для измерения скорости движения скважинного снаряда. Приводом ротора тахогенератора служит один из сельсинов-приемников автосинной передачи.

3.1.2. Преобразователи индукционной э.д.с. со стационарным размещением магнита и катушки индуктивности

В преобразователях этого вида изменение магнитного поля достигается за счет перемещения ферромагнитных масс в воздушном зазоре между магнитом и катушкой индуктивности. В общем случае э.д.с. индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока Ф и числу витков в катушке:

$e=-wd\Phi/dt.$

На рис. 3.3 представлено несколько примеров применения преобразователей этого вида в геофизической аппаратуре.

В скважинном каппаметре Н. А. Иванова (рис. 3.3, а) датчик представляет собой катушку индуктивности с большим количеством витков, намотанную на постоянном стержневом магните. Когда такой датчик перемещается по стволу скважины мимо горных пород с повышенными магнитными свойствами, это вызывает изменение магнитного потока через катушку индуктивности, и в ней

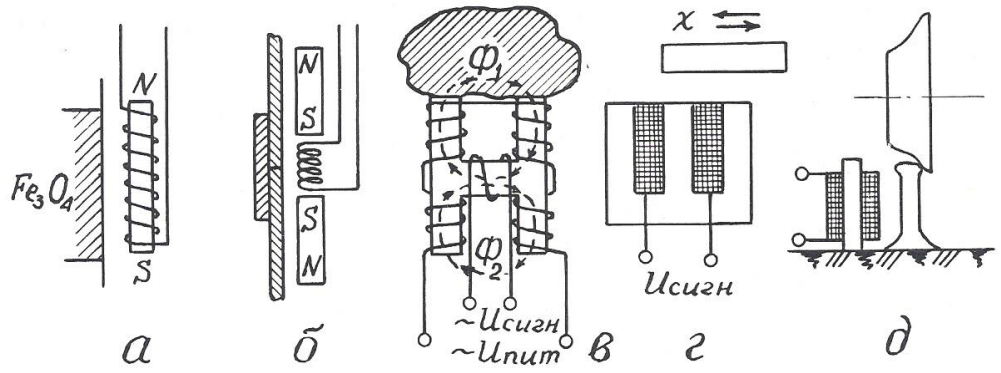


Рис. 3.3. Примеры применения преобразователей индукционной э.д.с.: а – скважинный каппаметр Н. А. Иванова; б – локатор муфт; в – лабораторный измеритель магнитной восприимчивости; г – счетчик количества; д – счетчик вагонеток

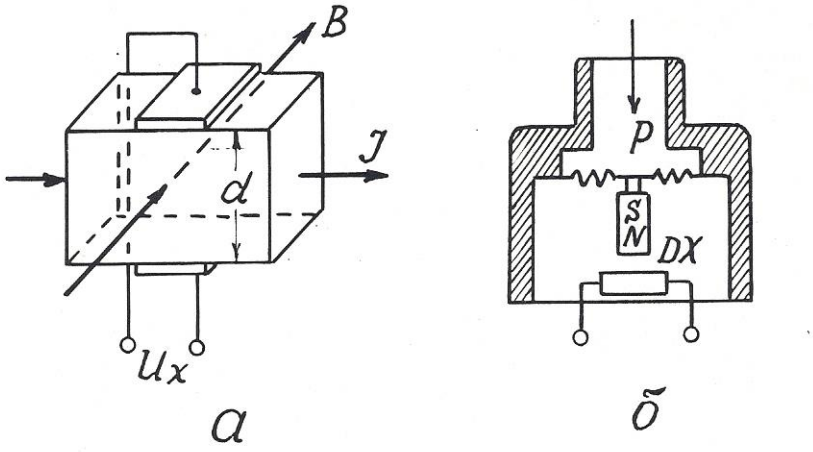


Рис. 3.4. Принцип действия преобразователя Холла (а) и его применение в манометре мембранного типа (б)

возникает э.д.с., пропорциональная магнитной восприимчивости горных пород. В наземном измерительном пульте эта э.д.с., усиливается, выпрямляется и выводится на регистрирующий прибор.

В 50-60 годах каппаметры Н. А. Иванова успешно применялись для исследования скважин на железорудных месторождениях Урала, но потом были заменены более совершенными приборами, поскольку описанный датчик имеет один явный недостаток – сигнал на его выходе зависит не только от магнитных свойств среды, но и от скорости перемещения датчика.

До настоящего времени при исследованиях обсаженных скважин применяются так называемые «локаторы муфт» – приборы, предназначенные для определения положения соединительных муфт обсадных колонн в скважинах [17].

Локатор муфт (рис. 3.3, б) содержит катушку индуктивности и два идентичных постоянных магнита, размещенных выше и ниже нее навстречу друг другу одноименными полюсами. Когда такой прибор перемещается по стальной трубе, имеющей постоянную толщину стенок, магнитные потоки верхнего и нижнего магнитов равны и в области расположения катушки индуктивности компенсируют друг друга. Когда же прибор проходит через соединительную муфту, то из-за увеличения толщины стали сначала усиливается магнитный поток одного (верхнего), а затем другого (нижнего) магнита. В результате в катушке возникает пара разнополярных импульсов э.д.с., которые и регистрируются на диаграммной ленте.

Еще один пример применения преобразователей данного вида – измерители магнитной восприимчивости образцов горных пород (прибор ИМВ-2) [3]. Датчик измерителя (рис. 3.3, в) представляет собой «Н» – образный сердечник с четырьмя обмотками возбуждения на концах сердечника и одной измерительной обмоткой на его «перекладине». Обмотки возбуждения подключены к источнику переменного тока и соединены таким обрезом, чтобы магнитные потоки, создаваемые ими в «перекладине» сердечника, были

направлены навстречу друг другу. Когда датчик находится в воздухе, эти потоки взаимно компенсируются, и сигнал в измерительной обмотке равен нулю. Когда к рабочей поверхности датчика прикладывается образец с повышенной магнитной восприимчивостью, магнитный поток, проходящий через него, увеличивается, и в измерительной обмотке наводится э.д.с., которая затем усиливается и измеряется.

Датчики данного вида находят также применение в технике как счетчики металлических предметов (рис. 3.3, г), счетчики вагонеток (рис. 3.3, д) и т.п. [5].

Общими достоинствами преобразователей индукционной э.д.с. является большая мощность выходного сигнала и отсутствие открытых электрических контактов, недостатком – наличие электромагнитного взаимодействия между магнитом и катушкой индуктивности.

3.2. Преобразователя гальваномагнитной э.д.с.

3.2.1. Преобразователи Холла

Преобразователи этого вида основаны на эффекте Холла, наблюдаемом в полупроводниках. Этот эффект проявляется в возникновении разности потенциалов U_x на обкладках датчика, по которому протекает ток I, при помещении его в магнитное поле, направленное перпендикулярно току. Принцип действия преобразователя Холла поясняется рис. 3.4.

$U_x=K_x \cdot IB/d$, где B – магнитная индукция; d – толщина датчика; K_x – коэффициент Холла, зависящий от характеристики материала и размеров датчика. Эффект Холла наблюдается в таких полупроводниковых материалах, как антимонид индия (InSb), арсенид индия (InAs), арсенид галлия (GaAs), арсенид-фосфат индия ($InAs_{0,8}P_{0,2}$) и др. Чистые полупроводники германий и кремний имеют очень высокое значение коэффициента Холла, но весьма чувствительны к режиму работы.

Датчики Холла используются для измерения перемещений, давления, числа оборотов и скорости вращения.

Достоинство датчиков: высокая чувствительность; недостатки: потребность во внешнем источнике питания, высокое выходное сопротивление и необходимость в высоком внутреннем сопротивлении источника питания, наличие четырех выводов.

В геофизической аппаратуре датчики Холла могут быть использованы для улавливания магнитных меток на каротажном кабеле (патент США № 4709208) или для измерения давления (рис. 3.4, б).

Отечественная приборостроительная промышленность выпускает микросхемы серии К1116 с датчиками Холла для магнитного управления электрическими цепями [16].

3.2.2. Преобразователи Виганда

Магнитобистабильный преобразователь Виганда состоит из специально обработанной проволоки из сплава викаллой (ванадий-10%, кобальт-52%, железо-38%) небольшого диаметра (около 0,3 мм), на которую нанесена обмотка индуктивности (рис. 3.5). При помещении датчика в магнитное поле в момент превышения напряженностью поля определенного порога направление намагниченности сердечника катушки спонтанно меняется, и в катушке возникает импульс напряжения длительностью около 20 мкс. При длине датчика 15 мм и числе витков w=1300 выходное напряжение достигает 2,5 В [6].

Достоинства датчиков Виганда: большой выходной сигнал, отсутствие внешнего питания, широкий температурный диапазон (от - 196 до + 175° С), искробезопасность.

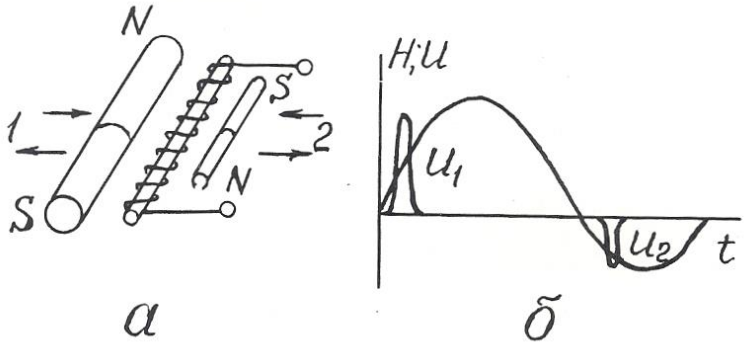


Рис. 3.5. Устройство преобразователя Виганда (а) и осциллограмма его выходного сигнала (б)

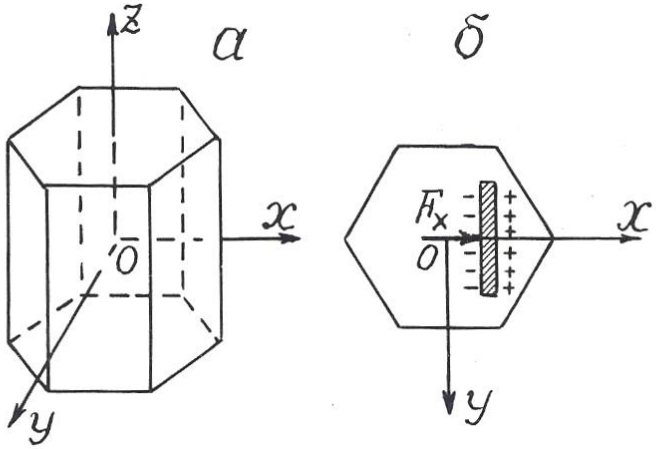


Рис. 3.6. Основные оси кристалла кварца (а) и возникновение пьезоэ.д.с. на кварцевой пластине (б)

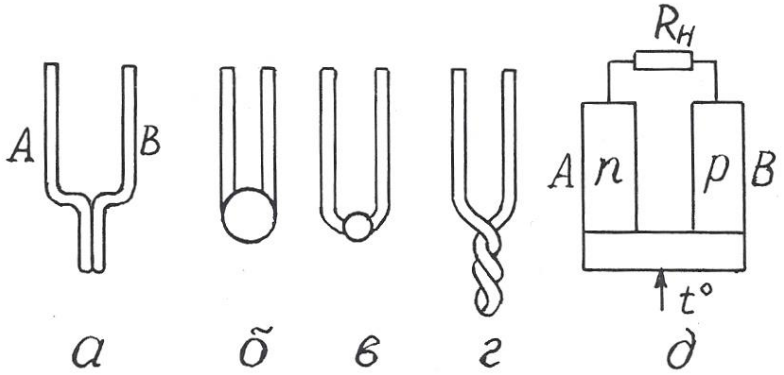


Рис. 3.7. Преобразователи термоэ.д.с. металлические (а-г) и полупроводниковые (д)

Ввиду того, что датчики Виганда были разработаны сравнительно недавно, в конце 80-х годов, они пока еще не используются в геофизической аппаратуре, хотя и могли бы найти применение, например, в магнитных меткоуловителях, устройствах блокировки, каротажных станций и других приборах.

3.3. Преобразователи пьезоэ.д.с.

Действие пьезопреобразователей основано на пьезоэлектрическом эффекте, который возникает в результате взаимосвязи между механическим и электрическим состоянием некоторых диэлектрических материалов, называемых **пьезоэлектриками**.

Различают **прямой пьезоэффект**, заключающийся в возникновении электрических зарядов на гранях кристаллов пьезоэлектриков под действием механических напряжений и исчезновении их после снятия нагрузки, и **обратный пьезоэффект**, проявляющийся в изменении формы и размеров пьезоэлектриков под действием электрического поля.

Способность к пьезоэффекту характеризуется пьезоэлектрической постоянной (пьезомодулем), величина которой определяется электрическим зарядом в Кл, возникающим вод действием внешней силы в 1 Н: $K_{пэ}=Q/F$.

Наиболее сильно пьезоэффект выражен у сегнетоэлектриков – веществ с аномально высокой диалектрической проницаемостью. К ним относиться сегнетовая соль, кварц, турмалин, титанат бария и некоторые другие вещества.

Самая высокая пьезоэлектрическая постоянная у сегнетовой соли ($C_4H_4O_6KNa$): $K_{пэ}=300\cdot10^{-12}$ Кл/Н; у титана бария ($BaTiO_3$) $K_{пэ}= 100\cdot10^{-12}$ Кл/Н; у кварца $K_{пэ}=2{,}1\cdot10^{-12}$ Кл/Н.

Основные свойства пьезоэлектрических датчиков рассмотрим на примере кварца. Кристалл кварц имеет главную оптическую ось *z*, нейтральную или механическую ось *y*, и электрическую ось *x* (рис.3.6). Максимальный пьезоэффект наблюдается при воздействии механических нагрузок вдоль

электрической оси *x*, поэтому пластины для пьезопреобразователей вырезают из кристаллов кварца перпендикулярно оси *x*.

Возникновение пьезоэффекта объясняется тем, что под действием механических сил происходит смещение электрических зарядов – одна область кристалла заряжается положительно, другая – отрицательно.

Достоинства преобразователей этого вида: безынерционность, линейная статическая характеристика, высокая собственная частота, малые габариты; недостатки: утечка зарядов с течением времени, необходимость гидроизоляции.

Применяются пьезопреобразователи для измерения динамических нагрузок, деформаций, перемещений.

В геофизической аппаратуре пьезопреобразователи используются в качестве приемников упругих колебаний в скважинных приборах акустического каротажа (СПАК-2, СПАК-4, СПАК-6 и др.). Такой пьезоэлектрический сейсмоприемник изготавливается в виде полой сферы из пьезокерамики, внутренняя и внешняя поверхности которой имеют серебряное покрытие для облегчения снятия с них электрических зарядов. От промывочной жидкости в скважине сейсмоприемник отделен слоем резины [2,17].

В полевой геофизике существует сейсмоэлектрический метод разведки, который заключается в возбуждении с помощью взрыва пьезоэффекта на кристаллах естественных пьезоэлектриков в условиях их коренного залегания и в измерении этого эффекта с помощью системы электродов [3].

В быту пьезопреобразователи используются в качестве звукоснимателей в электропроигрывателях, в зажигалках для газовых плит (прямой пьезоэффект), в звукоизлучателях электронных часов и ПЭВМ (обратный пьезоэффект) [22].

3.4. Преобразователи термоэ.д.с.

Преобразователи этого вида основаны на термоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что в цепи из двух разнородных проводников при

поддержании разных температур в точках их соединения возникает э.д.с., пропорциональная разнице этих температур (эффект Зеебека) [22].

Термоэлектрические преобразователи называют термопарами а проводники А и В, из которых они состоят – термоэлементами (рис. 3.7).

Один **чувствительный спай** термоэлементов подвергают воздействию измеряемой температуры, температуру другого, **опорного**, поддерживают постоянной.

Чувствительность термопреобразователей составляет от 5 до 60 мкВ/К.

Наибольшую чувствительность имеют термопары, составленные из двух полупроводников с различной (электронной и дырочной) природой проводимости.

Достоинства термопреобразователей: отсутствие источников питания, линейная статическая характеристика, большой диапазон измеряемых температур; недостаток: малая мощность сигнала отдельной термопары.

В геофизике используются металлические термопреобразователи в качестве термометров для исследования скважин на месторождениях парогидротерм, полупроводниковые – в качестве датчиков в полевой терморазведке.

В технике термопары используются в системах автоматического регулирования температуры в различных металлургических процессах. В годы Великой Отечественной войны выпускались батареи полупроводниковых термопреобразователей, которые надевались на стекло керосиновой лампы и вырабатывали электроэнергию, достаточную для питания лампового приемника или рации.

3.5. Преобразователи фотоэ.д.с.

В этих преобразователях используются два полупроводника с разным характером проводимости (рис. 3.8, а). На их контакте происходит взаимная

диффузия электронов в *p*-полупроводник, дырок – в *n*-полупроводник. Дырки рекомбинируют с электронами, в результате на контакте полупроводников образуется тонкий запирающий слой – «*p*-*n*-переход». Такие преобразователи могут работать в режиме источника тока и фотодиода.

При отсутствии светового облучения через такой преобразователь проходит очень небольшой, так называемый «темновой ток», соответствующий обратному току диода. При световом облучении *p*-*n* -перехода кванты света образуют добавочные носители тока.

Под действием разности потенциалов потенциального барьера *p*-*n*-перехода электроны перемещаются в зону *n*-полупроводника, а дырки – в зону *p*-полупроводника, создавая фотоэ.д.с., на выводах прибора. На рис. 3.8, а электроны и дырки, прошедшие через *p*-*n*-переход в результате диффузии и создавшие потенциальный барьер *p*-*n*-перехода, условно обозначены как «+» и «-» без кружочков. Добавочные дырки и электроны, возникшие под действием облучения, показаны как «+» и «-» в кружочках. Стрелками показано направление действующих на них сил поля *p*-*n*-перехода.

На рис. 3.8, б показан разрез германиевого фотодиода, состоящего из пластины германия 1 с проводимостью *n*-типа, которая сплавлена с индием 2 (проводимость *p*-типа). Толщина слоя германия над индием настолько мала, что кванты света свободно проникают через него в зону *p*-*n*-перехода. Корпус 3 выполнен из оргстекла и залит компаундом 4.

Спектральные характеристики фотопреобразователей зависят от используемых в них материалов.

Интегральная чувствительность германиевых фотопреобразователей имеет наибольшее значение $K_{диф}=\Delta I/\Delta Ф=20$ мА/лм. Э.д.с. фотогенераторов не превышает 0,12-0,5 В.

Преобразователи фотоэ.д.с. изготавливаются из кремния, селена, сернистого таллия и сернистого серебра. Достоинством селеновых фотопреобра-

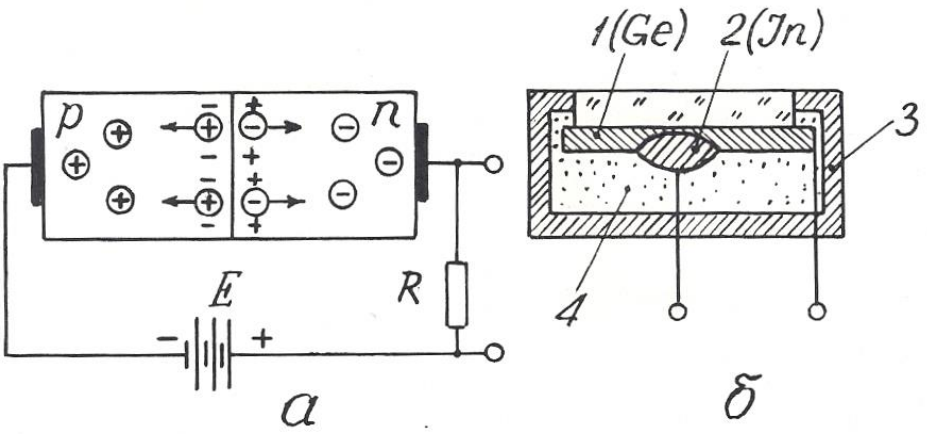


Рис. 3.8. Преобразователь фотоэ.д.с.: принцип действия (а) и конструкция (б)

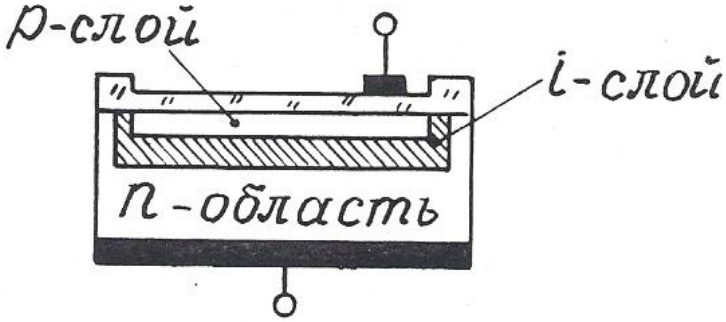


Рис. 3.9. Структура *pin*-диода

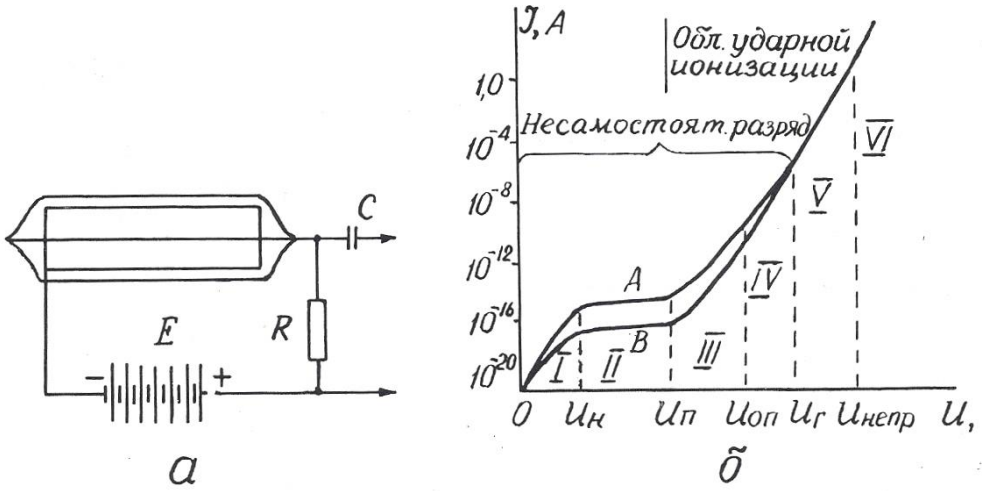


Рис. 4.1. Устройство газоразрядного счетчика (а) и его вольт-амперная характеристика (б):
А – β-частица; В – γ-квант

зователей является их спектральная чувствительность, близкая к чувствительности человеческого глаза.

Для увеличения количества дополнительных носителей, образующихся в *p*-*n*-переходе под действием светового облучения, между *p* и *n*-полупроводниками располагают дополнительный слой нелегированного высокоомного кремния (*i*-слой) – рис. 3.9. Такие фотоэлектрические приборы носят название *pin*-диодов. Область применения их в геофизической аппаратуре та же, что и фоторезистивных датчиков (см. раздел 2.1.7).

Контрольные вопросы

1. Назовите основные характеристики преобразователей индукционной э.д.с., их разновидности и приведите примеры их применения в технике и геофизической аппаратуре (ГА).

2. Поясните принцип действия датчика Холла и объясните его устройство (рис. 3.4, а).

3. Поясните принцип действия и устройство датчика Виганда (рис. 3.5).

4. Поясните принцип действия преобразователей пъезоэ.д.с. и приведите примеры их применения в ГА.

5. Поясните принцип действия преобразователей термоэ.д.с. и приведите примеры их применения в технике и ГА.

6. Поясните принцип действия преобразователей фотоэ.д.с. и приведите примеры их применения.

4. РАДИАЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

В настоящем пособии будут рассмотрены только те радиационные преобразователи, которые преобразуют энергию ядерного излучения в электрический сигнал. Эти преобразователи называются также детекторами радиоактивных излучений. Они бывают трех видов: газоразрядные, сцинтилляционные и полупроводниковые.

4.1. Газоразрядные детекторы

В газоразрядном детекторе происходит непосредственное преобразование энергии радиоактивного излучения в электрические импульсы.

Газоразрядный детектор представляет собой металлический цилиндр, по оси которого натянута тонкая металлическая нить. Цилиндр играет роль катода и подключается к «минусу» источника постоянного напряжения, нить (анод) – к «плюсу». И нить, и цилиндр могут быть помещены в стеклянный баллон (рис. 4.1, а). Полость детектора заполнена газом под низким давлением (примерно – $1{,}5 \cdot 10^4$ Па). При прохождении через детектор нейтроны и гамма-кванты взаимодействуют с атомами вещества его катода и газового наполнителя, вызывая ионизацию газа и, как следствие, прохождение кратковременного импульса тока, сила I которого зависит от напряжения U между электродами. При схеме включения детектора, изображенной на рис. 4.1, а, на нагрузочном сопротивлении R импульс тока создает отрицательный импульс напряжения, который через разделительный конденсатор C подается на усилительно-регистрирующую схему [13].

Зависимость $I=f(U)$ или вольт-амперная характеристика счетчика приведена на рис. 4.1, б. В ней выделяются шесть областей, отличающихся по механизму переноса ионов в электрическом поле счетчика. В области I при малых напряжениях на электродах ток возрастает пропорционально напряжению, т.к. с ростом напряжения уменьшается количество рекомбинирующихся ионов и все большее их количество достигает электродов счетчика. Эта область (от 0 до $U_н$) называется **омической**. Начиная с некоторого значения $U_н$, ток достигает насыщения (все ионы долетают до анода и катода) и перестает возрастать. Величина ионизационного тока во II области (от $U_н$ до $U_п$) определяется только количеством ионов, образующихся в единицу времени. Преобразователи, работающие в этой области, носят название **ионизационных камер**. При дальнейшем, свыше $U_п$ росте напряжения, несмотря на постоянство

начальной ионизации, происходит рост тока в импульсе. Это связано с возникновением ударной ионизации, при которой электроны, образующиеся при первоначальном воздействии радиации, ускоряются электрическим полем счетчика настолько, что начинают ионизировать молекулы газового наполнителя. Отношение числа ионов, достигших анода счетчика, к числу первичных ионов, созданных регистрируемой частицей (или гамма-квантом), называется **коэффициентом газового усиления**. Величина его зависит от приложенного напряжения.

С возникновением ударной ионизации вначале ток возрастает пропорционально напряжению на электродах (область пропорциональности III от $U_{\text{п}}$ до $U_{\text{оп}}$), здесь отмечается относительно невысокий коэффициент газового усиления (до 10^4), а при дальнейшем увеличении U пропорциональность нарушается и от $U_{\text{оп}}$ до $U_{\text{г}}$ следует IV область – **ограниченной пропорциональности**. За ней идет область Гейгера (V), в которой амплитуда импульса не зависит от начальной ионизации. Коэффициент газового усиления достигает 10^8-10^9 и продолжает увеличиваться с ростом напряжения. За областью Гейгера следует область **непрерывного разряда** (VI), для возникновения которого не нужна первичная ионизация, достаточно к электродам счетчика приложить напряжение, превышающее $U_{\text{непр}}$.

Области V и VI – это области самостоятельного разряда, который не требует для своего поддержания внешних источников ионизации.

Газоразрядные детекторы, применяемые в геофизической аппаратуре, работают либо в пропорциональной области (пропорциональные счетчики), либо в области Гейгера (счетчики Гейгера-Мюллера).

Пропорциональные счетчики используются для измерения плотности потока тепловых нейтронов. Баллон счетчика заполняется трехфтористым бором (BF_3), обогащенным до 96 % изотопом B-10, имеющим большое сечение захвата тепловых нейтронов. При захвате нейтрона происходит реакция B (n,α) Li, α – частица производит первичную ионизацию в объеме счетчика. Для

измерений нейтронов надтепловых энергий счетчик окружают сначала слоем водородсодержащего вещества, например, парафина, а затем тонким (около 0,5 мм) слоем кадмия. Кадмий поглощает тепловые нейтроны, а надтепловые в парафине замедляются до тепловых энергий и затем фиксируются счетчиком.

Счетчик Гейгера-Мюллера применяется для регистрации гамма-квантов. Он заполняется инертным газом (аргоном или гелием) с добавкой паров высокомолекулярных органических соединений (этилового спирта или этилового эфира) или галогенов (хлора, брома). Такая добавка способствует гашению непрерывного разряда, т.к, положительные ионы, образовавшиеся из молекул инертного газа, нейтрализуются при столкновениях с молекулами высокомолекулярного соединения или галогена и не вызывают вторичной электронной эмиссии с катода.

После регистрации каждой ионизирующей частицы газоразрядный счетчик не способен в течение некоторого «мертвого времени» $\tau_м$ (порядка 10^{-4} с) отмечать попадание следующей частицы или реагирует на нее образованием импульса пониженной амплитуды («время восстановления» – $\tau_в$). Величина «мертвого времени» и «времени восстановления» определяет разрешающую способность и эффективность преобразователя.

Разрешающей способностью преобразователя называют максимальное количество ионизирующих частиц N_{max}, которые могут быть уверенно зафиксированы преобразователем $N_{max}=I/(\tau_м+\tau_в)$.

Под **эффективностью счетчика** понимают отношение числа частиц, зарегистрированных счетчиком, к общему числу частиц, прошедших через объем счетчика. Эффективность газоразрядных счетчиков зависит от их конструкции, размеров и материала катода и обычно не превышает нескольких процентов.

Основной рабочей характеристикой газоразрядного преобразователя является его **счетная характеристика** – зависимость числа импульсов на его выходе от напряжения на электродах при постоянной интенсивности

ионизирующего облучения (рис. 4.2). Участок *ав* в пределах которого выбирается рабочее напряжение счетчика $U_{раб}$, называется **плато**. Протяженность плато составляет от 200 до 300 В, а наклон – от 3 до 15 % на 100 В.

Достоинства газоразрядных детекторов: большая амплитуда сигнала, малая потребляемая мощность, широкий температурный диапазон; недостатки: потребность в источнике питания с высоким напряжением, ограниченный ресурс, для счетчиков Гейгера-Мюллера – независимость амплитуды выходного сигнала от энергии ионизирующего излучения.

Газоразрядные счетчики очень широко применялись во всех разновидностях геофизических радиометров: полевых, каротажных, автомобильных и самолетных [3,12]. В последнее время они в значительной мере вытеснены более эффективными сцинтилляционными детекторами.

4.2 Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционный радиационный преобразователь (рис. 4.3) состоит из люминофора 1 (оптически прозрачного вещества, люминесцирущего под действием ядерного излучения), и фотоэлектронного умножителя 2 (ФЭУ).

В результате действия попавшей в сцинтиллятор элементарной частицы (или гамма-кванта) часть атомов сцинтиллятора переходит в возбужденное состояние. Обратный переход их в нормальное состояние сопровождается кратковременной (порядка 10^{-7}-10^{-9}с) световой вспышкой. Фотоны света преобразуются в электрический сигнал с помощью ФЭУ, который представляет собой комбинацию фотоэлемента с электронным усилителем. Фотоны из сцинтиллятора 1 выбивают из фотокатода ФЭУ 3 электроны, которые под действием электрического поля устремляются к ближнему диноду 4, имеющему положительный потенциал. Вследствие вторичной электронной

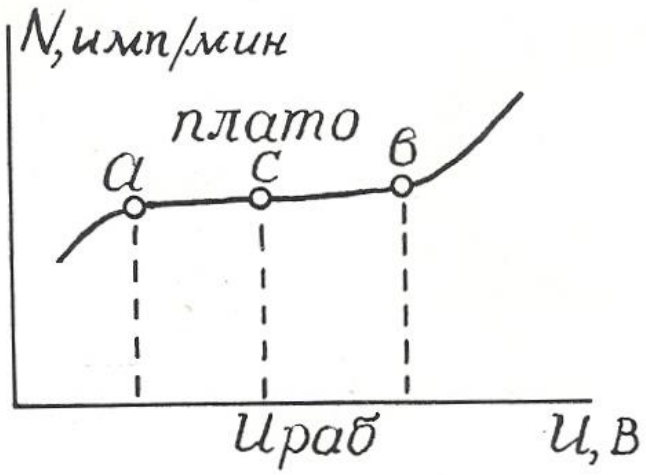


Рис. 4.2. Счетная характеристика газоразрядного счетчика Гейгера – Мюллера

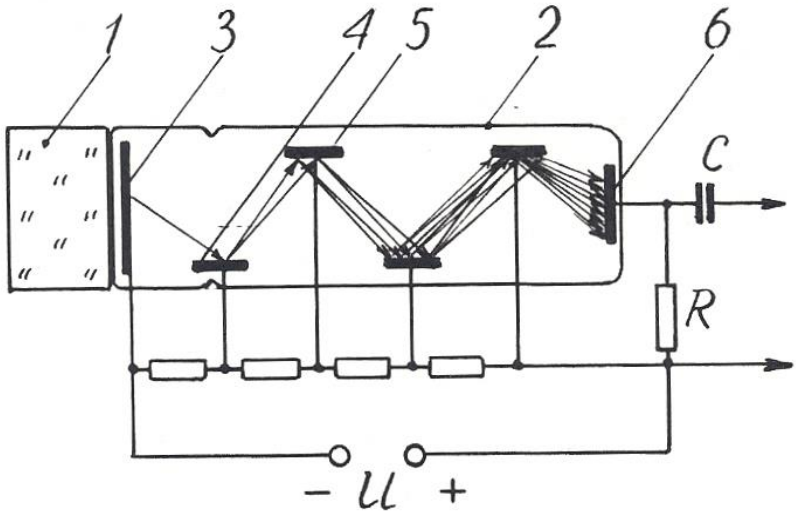


Рис. 4.3. Устройство сцинтилляционного преобразователя: 1 – кристалл-сцинтиллятор; 2 – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ); 3 – фотокатод; 4 – первый динод; 5 – второй динод; 6 – анод (ФЭУ)

эмиссии каждый электрон "выбивает из динода вторичные электроны, которые притягиваются следующим динодом 5, имеющим более высокий потенциал, и также вызывают вторичную электронную эмиссию. Процесс развивается лавинообразно, в результате попаданию каждой ионизирующей частицы в кристалл-сцинтиллятор соответствует прохождение импульса тока между анодом 6 и катодом 1 ФЭУ, причем амплитуда этого импульса пропорциональна энергии ионизирующей частицы.

Эффективность сцинтилляционных детекторов намного выше, чем у газоразрядных, и достигает 20 %.

В качестве сцинтилляторов для регистрации гамма-квантов в геофизический аппаратуре используют монокристаллы соединений NaI, CsI, KI, активированных таллием (Tl), а для регистрации нейтронов – кристаллы сернистого цинка ZnS с добавками серебра или меди. Примесь активатора (Tl, Ag, Cu) в люминофоре способствует созданию в решетках кристаллов-сцинтилляторов дополнительных центров люминесценции [13].

Счетная характеристика сцинтилляционных преобразователей имеет плато очень небольшой протяженности, вследствие чего эти преобразователи требуют питания высокостабилизированным напряжением.

Преимущества сцинтилляционных преобразователей перед газоразрядными: высокая эффективность, большая разрешающая способность, зависимость амплитуды выходного сигнала от энергии ионизирующего излучения, что позволяет изучать энергетический спектр последнего.

Эти преимущества обеспечивают широкое распространение детекторов этого вида в разнообразных радиометрах: полевых (СРП-68-02), скважинных (ДРСТ-3, Кура-2м и др.), самолетных (АСГМ-46 и др.).

К недостаткам сцинтилляционных детекторов можно отнести низкую термостойкость и термостабильность, что требует их термостатирования в скважинных радиометрах [9].

4.3. Полупроводниковые детекторы

Полупроводниковые детекторы (ППД) устроены и действуют совершенно аналогично преобразователям фотоэ.д.с., рассмотренным в разделе 3.5. Отличие заключается только в том, что в ППД образование свободных носителей в зоне *p*-*n*-перехода происходит за счет действия не фотонов света, а ионизирующего ядерного излучения.

Амплитуда импульса на выходе ППД пропорциональна числу носителей зарядов, образованных ионизирующей частицей, а следовательно, ее энергии, что дает возможность изучать энергетический спектр излучения.

Для создания *i*-слоя в ППД используют литий, обладающий высоким коэффициентом диффузии, который добавляют в торец полупроводника с *p*-проводимостью.

Преимущества полупроводниковых детекторов: экономичность питания, весьма малые размеры и хорошее амплитудное разрешение (в 20-30 раз лучше, чем у сцинтилляционных преобразователей).

Однако их распространение ограничено. Это связано, во-первых, со сравнительно небольшими размерами чувствительной части детектора, и во-вторых, с необходимостью охлаждения детектора до низких температур (от -100 до -196^0), которое повышает их эффективность.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют преобразователи ядерных излучений в электрический сигнал?

2. Объясните устройство газоразрядного преобразователя.

3. Объясните вольт-амперную характеристику (рис. 4.1, б) газоразрядного детектора.

4. Чем отличаются счетчики Гейгера-Мюллера от пропорциональных счетчиков?

5. Объясните устройство и работу сцинтилляционного детектора.

6. Назовите преимущества сцинтилляционных детекторов перед газоразрядными.

7. Объясните устройство и работу полупроводникового детектора, укажите его достоинства и недостатки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алиев Т. М., Тер-Хачатуров А. А*. Измерительная техника: Учебн. пособие для техн. вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 384 с.

2. *Аппаратура и оборудование для геофизических исследований нефтяных и газовых скважин:* Справочник /А. А.Молчанов, В. В. Лаптев, В. М. Моисеев, Р. С.Челокьян. – М.: Недра, 1987. – 263 с.

3. *Бондаренко В. М., Демура Г. В., Ларионов А. М.* Общий курс геофизических методов разведки: Учебн. пособие для техникумов. – П.*:* Недра, 1986. – 453 с.

4. *Бриндли К*. Измерительные преобразователи: Справочное пособие / Пер.с англ. – М.:Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.

5. *Бухгольц В. П*. Датчики и реле автоматического контроля в горной промышленности. – М.: Недра, 1971. – 224 с.

6. *Виглеб Г*. Датчики / Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 196 с.

7. *Енохович А. С*. Краткий справочник по физике. – М.: Высшая школа, 1976. – 288 с.

8. *Зачиевский Т., Мальзахер С., Квецинский А*. Промышленная электроника / Пер.с польского. – М.; Энергия, 1976. – 640 с.

9. *Зельцман П. А*. Конструирование аппаратуры для геофизических исследований скважин. – М.: Недра, 1968. – 180 с.

10. *Зимодро А. Ф., Скибинский Г. Л.* Основы автоматики. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.

11. *Квартин М. И.* Электромеханические и магнитные устройства автоматики и их расчет. – М.: Высшая школа, 1973. – 344 с.

12. *Кривко Н. Н., Шароварин В. Д., Широков В. Н.* Промыслово-геофизическая аппаратура и оборудование: Учебн. пособие для вузов. – М.: Недра, 1981. – 280 с.

13. *Ларионов В. В*. Радиометрия скважин. – М.: Недра, 1969. – 327 с.

14. *Левшина Е. С., Новицкий П. В*. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. – Л.: Энергоатомиздат, 1983.

15. *Литвак В. И.* Тензореле. Расчет, конструирование, применение. – М.: Машиностроение, 1989. – 160 с.

16. *Логинов В. И.* Электрические измерения механических величин / Изд. 2-е, доп. – М.: Энергия, 1976. – 104 с.

17. *Померанц Л. И., Белоконь Д. В., Козяр В. Ф.* Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин: Учебн. пособие для техникумов. – М.: Недра, 1985. – 271 с.

18. *Сковородников И. Г., Калашников В. Н.* Дистанционный уровнемер для испытательных скважин // Геофизическая аппаратура. Вып.89. – Недра, 1988. – С. 98-103.

19. *Сковородников И. Г., Макаров Л. В., Калашников В. Н.* Газожидкостный расходомер РГЖ-Г: Техническое описание. – Свердловск: СГИ, 1988. – 15 с.

20. *Сковородников И. Г., Макаров Л. В., Калашников В. Н.* Изучение скорости и направления движения подземых вод // Гидрогеология и инж. геология: Обзор / ВНИИ экон. минер. сырья и геологоразв. работ. – М.,1987. – 33 с.

21. *Сковородников И. Г., Макаров Л. В., Калашников В. Н.* Скважинные тахометрические расходомеры / СГИ. – Свердловск, 1989. – 65 с. – Деп. в ВИНИТИ, №7609-В89, 1989.

22. *Справочник по средствам автоматики* / Под ред. В. Э. Низэ, И.В.Антика. – М.: Энергоиздат, 1983. – 504 с.

23. *Электрические измерения неэлектрических величин* / А. М. Туричин, П. В. Новицкий, Е. С. Левшина и др.; Изд. 5-е, перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1975. – 676 с.

24. А. с. 491895. Зонд для измерения направления и скорости движения грунтовых вод /Б. Н. Халтурин, В. С. Лившиц // Бюл. изобр. – 1975, №42.

25. А. с. 1063990. Емкостной датчик зенитного угла / О. В.Фомин // Бюл. изобр. – 1983, № 48.

26. А. с. 1158750. Скважинный уровнемер (его варианты) / В. Н. Калашников, И. Г.Сковородников // Бюл. изобр. – 1985, № .20.

27. А. с. 1509518. Датчик угла наклона буровой скважины / А. В. Давыдов, И. Г. Сковородников // Бюл. изобр. – 1989, № 35.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА

по дисциплине

ЭЛЕКТРОННЫЕ БЛОКИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Специальность:

21.05.03 Технология геологической разведки

форма обучения: очная, заочная

Автор: Сковородников И. Г.

Екатеринбург

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие…….5

1. Назначение первичных преобразователей, их характеристики и классификация…….5

Контрольные вопросы……...11

2. Преобразователи параметрического типа……...12

2.1. Резистивные преобразователи……...12

2.1.1. Контактные преобразователи…….12

2.1.2. Реостатные преобразователи……..13

2.1.3. Тензометрические преобразователи……..16

2.1.4. Электролитические преобразователи……19

2.1.5. Терморезистивные преобразователи……21

2.1.6. Магниторезистивные преобразователи…….23

2.1.7. Фотоэлектрические преобразователи……25

2.2. Индуктивные преобразователи……26

2.2.1. Индуктивные преобразователи с изменяемым воздушным зазором…….27

2.2.2. Магнитоупругие преобразователи…….29

2.2.3. Магнитомодуляционные преобразователи……...30

2.3. Емкостные преобразователи……..34

Контрольные вопросы……..35

3. Преобразователи генераторного типа …...……36

3.1. Преобразователи индукционной э.д.с……..36

3.1.1. Преобразователи индукционной э.д.с. со взаимным перемещением магнита и катушки индуктивности……..36

3.1.2. Преобразователи индукционной э.д.с. со стационарным размещением магнита и катушки индуктивности……..38

3.2. Преобразователи гальваномагнитной э.д.с……..41

3.2.1. Преобразователи Холла……..41

3.2.2. Преобразователи Виганда……...42

3.3. Преобразователи пьезоэ.д.с……...44

3.4. Преобразователи термоэ.д.с……..45

3.5. Преобразователи фотоэ.д.с……46

Контрольные вопросы……...49

4. Радиационные преобразователи……...49

4.1. Газоразрядные детекторы……..50

4.2. Сцинтилляционные детекторы……..53

4.3. Полупроводниковые детекторы……56

Контрольные вопросы……...56

Литература……..57

ПРЕДИСЛОВИЕ

Цель данного пособия – познакомить студентов с применением различных электрических датчиков в геофизической аппаратуре, облегчить им усвоение соответствующих разделов курса «Геофизическая аппаратура» и выполнение курсового проектирования по нему.

Необходимость издания пособия обусловлена тем, что в опубликованных работах по первичным преобразователям рассматриваются датчики общетехнического применения, в то время, как датчики разнообразной геофизической аппаратуры имеют ряд особенностей, связанных со спецификой условий их эксплуатации.

В пособии рассмотрены физические основы и устройство датчиков всех типов, входные и выходные параметры, указаны их достоинства и недостатки и приведены примеры применения в конкретной геофизической аппаратуре.

В качестве примеров в ряде случаев использованы оригинальные разработки автора.

В конце каждой главы приведен перечень контрольных вопросов для самостоятельной проверки усвоения материала студентами.

1. НАЗНАЧЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Первичные преобразователи в геофизической аппаратуре (ГА) являются теми элементами, которые вырабатывают сигнал информации об измеряемой величине. По этой причине первичные преобразователи ГА называются также измерительными преобразователями. Другими синонимами термина «первичный преобразователь» являются «датчик», «детектор», «чувствительный

элемент», «сенсор», «трансмиттер» [4,15,23]. Правда, в специальной литературе существуют различные толкования термина «датчик», наиболее распространенного из перечисленных терминов. Так, например, в монографии К. Бриндли [4], датчик рассматривается как пассивный преобразователь, т.е. преобразователь получающий энергию для своей работы от измеряемой величины. В других источниках [1,16] под датчиком понимается конструктивно законченное устройство, которое, кроме первичного преобразователя, может содержать и другие элементы (усилитель сигнала, источник питания и т.п.) и которое устанавливается на удалении от наблюдателя. В данном пособии, как и в большей части специальной литературы, термин «датчик» будет использоваться как синоним первичного или измерительного преобразователя.

Важнейшими характеристиками датчиков служат: чувствительность, точность (достоверность) информации об измеряемой величине, надежность и долговечность, стабильность работы при изменении внешних условий, быстродействие, вид зависимости выходного сигнала от измеряемой величины (линейная, нелинейная, реверсивная, нереверсивная и т.п.).

Поясним некоторые из перечисленных характеристик.

Чувствительность преобразователя, которую также называют **коэффициентом передачи**, представляет собой отношение изменения выходного сигнала y, к изменению входного сигнала x. Различают три вида коэффициентов передачи: статический, относительный и дифференциальный.

Статический коэффициент передачи используется для определения свойств преобразователей с линейной характеристикой: $K_{ст}=y/x$.

Дифференциальный коэффициент передачи применяется для датчиков с нелинейной характеристикой: $K_{диф}=\lim\Delta y/\Delta x\approx dy/dx$. Значение этого коэффициента непостоянно и зависит от величины входного сигнала x.

Относительный коэффициент передачи равен отношению относительного изменения сигнала на выходе датчика к относительному изменению сигнала на его вход $K_{отн}=(\Delta y/y)/(\Delta x/\Delta x)$. Этот коэффициент является величиной

безразмерной и удобен для сравнения свойств преобразователей, различных по принципу действия и конструкции.

У некоторых измерительных преобразователей вследствие трения покоя, шумов измерительной схемы, гистерезиса и др. причин изменение выходного сигнала появляется только тогда, когда измеряемая величина достигает определенного уровня. Этот уровень называется порогом **чувствительности** x_n.

Во время работы первичного преобразователя на него, кроме измеряемой величины, воздействуют и другие сигналы – помехи, например, изменения температуры, внешнего давления, вибрации, изменения напряжения питания и пр. Результаты воздействия помех проявляются в виде погрешностей измерений: абсолютных, относительных, приведенных.

Абсолютная погрешность – это разность между измеренным y и действительным (расчетным) значениями выходной величины y_0: $\Delta y = y_{изм} - y_0$.

Относительная погрешность – это отношение абсолютной погрешности к действительному значению выходной величины в процентах: $\delta = (\Delta y / y_0) \cdot 100$.

Приведённая погрешность – это отношение абсолютной погрешности к наибольшему действительному значению выходной величины: $\varepsilon = \Delta y / y_{max}$. Для измерительных приборов приведенная погрешность определяет их класс точности.

В зависимости от режима, для которого определяется абсолютная или относительная погрешность, различаются **статические** и **динамические** погрешности (ошибки). Приведенная погрешность определяется только для установившегося (статического) режима [10].

Характер зависимости выходного сигнала от измеряемой величины $y=f(x)$ в установившемся режиме называется **статической** характеристикой преобразователя.

Наиболее удобными в работе и потому наиболее распространенными являются датчики, имеющие линейную характеристику. Если характеристика

датчика нелинейна, то для формирования выходного сигнала могут применяться системы линеаризации. В некоторых случаях, например, если измеряемая величина изменяется нелинейным образом, удобнее использовать преобразователи с нелинейной статической характеристикой.

В зависимости от того, как на выходную величину влияет изменение знака измеряемой величины, статические характеристики бывают: **нереверсивными** (когда знак выходного сигнала остается постоянным во всем диапазоне измерений) и **реверсивными** (когда выходной сигнал изменяет свой знак вслед за измерявшейся величиной).

Следует упомянуть еще одну из характеристик измерительных преобразователей – **гистерезис**, который проявляется в несовпадении значений выходного сигнала при одном и том же значении измеряемой величины в зависимости от уменьшения или увеличения последней в момент измерения.

Надежность преобразователя – это способность работать в течение определенного периода времени при заданных условиях эксплуатации.

Надежность преобразователей, так же, как надежность, сложных электронных или механических устройств вообще, характеризуется вероятностью безотказной работы, средним временем безотказной работы и интенсивностью отказов – отношением числа отказавших устройств в определяемый промежуток времени к числу работоспособных в начале этого промежутка.

График зависимости интенсивности отказов от времени эксплуатации имеет характерную корытообразную форму. Первый участок графика ($0 – t_1$) называется "временем приработки", в этот период интенсивность отказов велика из-за того, что здесь проявляются дефекты сборки, выходят из строя некондиционные детали и т. п. Второй участок $t_1 – t_2$ называется "периодом условной долговечности», здесь отказы могут быть связаны, в основном, со случайными причинами. Третий участок $t_2 – \infty$ называется "периодом старе-

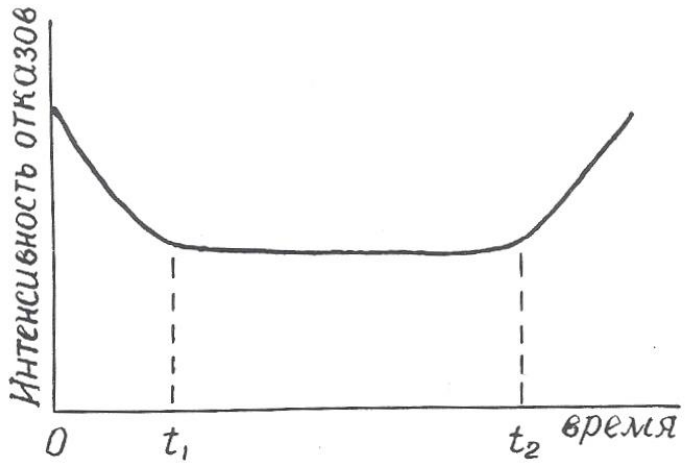


Рис. 1.1. Зависимость и интенсивности отказов от времени эксплуатации преобразователя

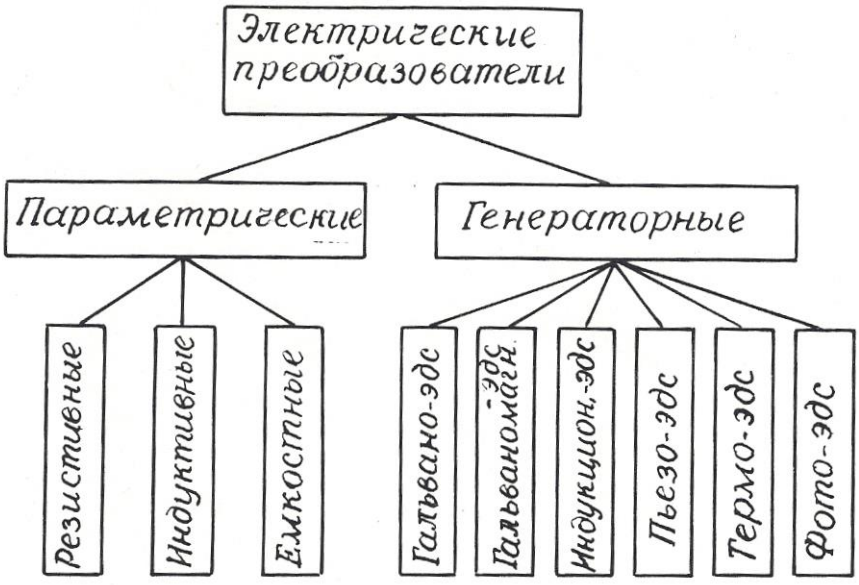


Рис. 1.2. Классификация электрических преобразователей

ния», здесь интенсивность отказов растет из-за того, что детали преобразователя вырабатывают свой ресурс (рис. 1.1).

Пути повышения надежности преобразователей – это упрощение их устройства, использование элементов с большой вероятностью безотказной работы, «разгруженный» режим эксплуатации.

Подавляющее большинство датчиков геофизической аппаратуры преобразуют измеряемую величину в электрический сигнал, хотя имеются датчики, например, в гравиразведочных приборах, выходная величина которых не является электрической.

Электрические преобразователи, применяемые в геофизической аппаратуре, крайне разнообразны по принципу действия и конструкции.

Основными признаками, позволяющими классифицировать датчики, являются: назначение, принцип действия, вид входного и выходного сигналов, наличие или отсутствие источников питания.

По назначение электрические датчики делятся на преобразователи неэлектрических величин в электрические и преобразователи одних электрических величин в другие. Соответственно входные величины измерительных преобразователей могут иметь как электрическую, так и неэлектрическую природу. Это могут быть характеристики различных физических полей (например, магнитная индукция, температура, сила тяжести, э.д.с. естественных электрических полей), разнообразные свойства горных пород, руд и растворов (плотность, электрическое сопротивление, магнитная восприимчивость, радиоактивность), геометрические и технические параметры буровых скважин (их диаметр, углы искривления), скорость перемещения, механические усилия и т. д.

Выходными величинами электрических датчиков могут, быть: э.д.с., сила тока, частота тока, импульсы тока или комбинации импульсов различной длительности и амплитуды, а также сопротивление, емкость или индуктивность электрической цепи.

По принципу действия электрические преобразователи делятся на **параметрические**, изменяющие пассивные элементы электрической цепи (сопротивление, емкость, индуктивность), и **генераторные**, вырабатывающие э.д.с. различной физической природы. В свою очередь, среди параметрических датчиков выделяются: резистивные, емкостные и индуктивные, а среди генераторных: датчики гальванической, гальваномагнитной, индукционной, фото-, пьезо- и термоэ.д.с. (рис. 1.2).

Особняком стоят радиационные преобразователи (детекторы радиоактивных излучений), которые имеет сложную структуру.

Каждый из видов датчиков, изображенных на рис. 1.1, имеет свои разновидности, отличающиеся по конструктивному исполнению.

По наличию или отсутствию специальных источников питания датчики подразделяются на **пассивные**, получающие энергию от измеряемой величины, и активные, питающиеся от внешнего источника.

В следующих разделах пособия будут рассмотрены физические свойства, особенности конструкции, достоинства и недостатки, а также примеры применения в конкретных образцах геофизической аппаратуры всех видов датчиков, представленных на рис. 1.2.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение измерительного преобразователя.
2. Какие синонимы существуют у термина «измерительный преобразователь»?
3. Что такое чувствительность преобразователя?
4. Назовите виды коэффициентов передачи датчика.
5. Назовите виды погрешностей преобразователей, укажите, какие причины их вызывают.
6. Что такое статическая характеристика преобразователя?
7. Что такое надежность преобразователя?
8. Поясните график зависимости интенсивности отказов от времени (рис. 1.1).

9. По каким признакам производят классификацию электрических преобразователей?
10. Назовите входные и выходные величины электрических преобразователей в геофизической аппаратуре.
11. На какие две большие группы делятся электрические преобразователи по принципу действия?
12. Поясните классификацию преобразователей, приведенную на рис. 1.2.

2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

2.1. Резистивные преобразователи

В преобразователях этого вида изменения измеряемого параметра преобразуются в изменения **активного сопротивления** электрической цепи.

В соответствии с выражением $R=\rho \cdot l/S$ (2.1) изменения сопротивления R могут происходить за счет изменения геометрических размеров проводника (длины l и поперечного сечения S) или его удельного сопротивления ρ. К преобразователям с изменяемыми размерами относятся контактные, реостатные, потенциометрические, тензометрические, угольные и электролитические датчики. К преобразователям с изменяемым удельным сопротивлением – электролитические, терморезистивные и некоторые фотоэлектрические датчики.

2.1.1. Контактные преобразователи

Контактные преобразователи представляют собой простейшую разновидность преобразователей резистивного типа. В одном крайнем положении их сопротивление равно бесконечности, в другом близко к нулю.

Работой контактных преобразователей могут управлять механические (линейное или угловое перемещение) или различные физические параметры (температура, магнитное поле, электрический ток).

Контактные преобразователи составляют основу большинства реле, широко применяемых в системах автоматического управления [8,11]. В последнее время широкое распространение получили **герконы** – миниатюрные герметизированные контактные преобразователи, управляемые магнитным полем.

Достоинства контактных преобразователей составляют их простата и малая стоимость, универсальность (они могут работать в цепях как постоянного, так и переменного тока); недостатки – искрение и «дребезг» контактов, возможность ложных срабатываний контактов от тряски.

В геофизической аппаратуре контактные преобразователи используются в различных измерителях постоянных напряжений для преобразования этих напряжений в переменные, которые потом подвергаются усилению на электронных усилителях. Примером могут служить электроразведочные измерители ЭСК-1, АТ-72, самопишущие каротажные потенциометры ПАСК-8 и ПАСК-9. Контактные преобразователи используются также в схемах управления многочисленных скважинных приборов (в пластовом наклономере НП-3, расходомерах с раскрывающимся пакером и др.).

Герконы используются в скважинных расходомерах РСМ, РГД, ДГД и др. [21].

2.1.2. Реостатные преобразователи

Простейший реостатный преобразователь – это переменный резистор, подвижный контакт которого перемещается вследствие изменения измеряемой величины – линейного перемещения, давления, угла наклона, направления магнитного поля и т.п.

Реостатный преобразователь (рис. 2.1, а) может быть включен по потенцио-метрической схеме (рис. 2.1, б), в этом случае он должен быть отнесен к преобразователям генераторного типа.

Как правило, реостатные преобразователи выполняют в виде намотки из изолированной проволоки высокого сопротивления (из манганина, константана, вольфрама) на каркасе из изоляционного материала. Форма каркаса может быть различной: прямоугольной, кольцевой или более сложной конфигурации в зависимости от входного параметра и необходимой зависимости $R= f(x)$.

Проволочные реостатные преобразователи являются дискретными, т.к. непрерывному изменению входной величины x соответствует скачкообразное изменение сопротивления R определяемое переходом подвижного контакта с одного витка провода на другой. Это обуславливает и погрешность измерений, которая уменьшается с уменьшением диаметра проволоки и увеличением числа витков W. Статический коэффициент передачи реостатного датчика $K_{ст}=z\cdot W/l$, где z – сопротивление одного витка, l – длина намотки.

Обычная относительная погрешность датчиков $\delta= 0{,}2 – 0{,}5$ %.

Преимущества реостатных датчиков: простота конструкции, малый вес и габариты, возможность включения в цепь как постоянного, так и переменного тока, возможность получения необходимой статической характеристики $R=f(x)$, недостатки: наличие подвижного механического контакта, что уменьшает надежность датчика, необходимость какого-то усилия для перемещения этого контакта, влияние температуры.

Благодаря своей простоте и универсальности реостатные преобразователи широко используются в геофизической аппаратуре для исследования скважин: в каверномерах (КФ, КМ, СКП-1 и др.), в инклинометрах (ИК-1, ИК-2, МИР-36, ИГ-36 и др.) [2,9,12], в датчиках натяжения кабеля, в некоторых уровнемерах. Так, например, в скважинном уровнемере конструкции УГИ [18,26], изменение уровня жидкости над прибором, точнее, гидростатическое давление столба жидкости над ним преобразуется в изменение уровня токопроводящей жидкос-

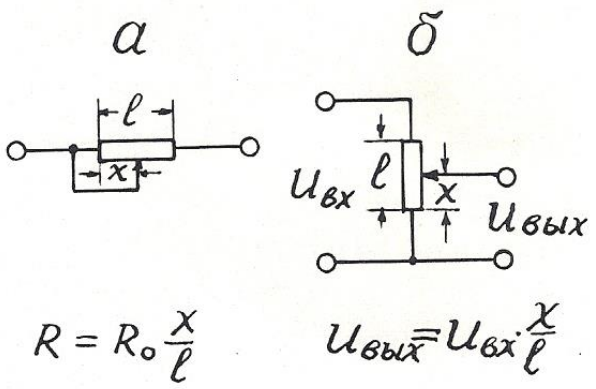


Рис. 2.1. Реостатный преобразователь (а) и его включение по потенциометрической схеме (б).

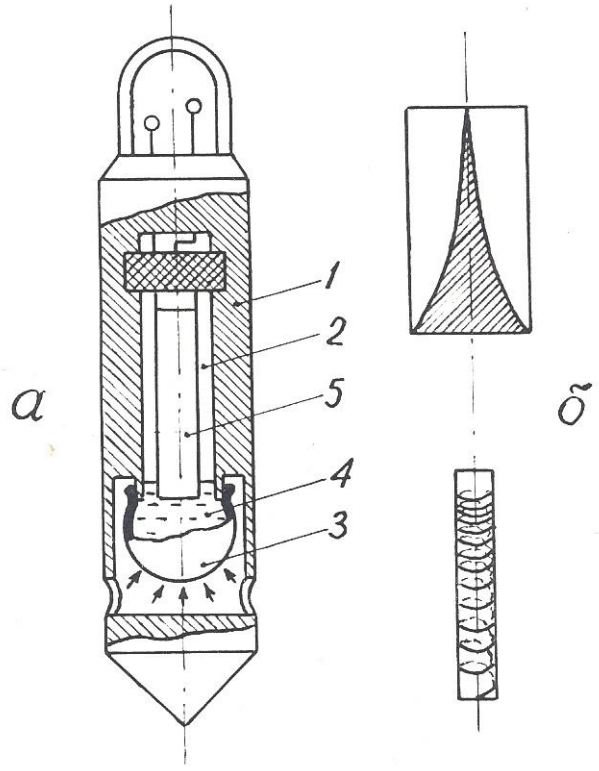


Рис. 1.2. Пример применения реостатного преобразователя в скважинном уровнемере с линейной входной характеристикой: а – конструкция уровнемера; б – варианты выполнения реостата; 1 – корпус уровнемера; 2 – измерительная камера; 3 – гибкий резервуар; 4 – токопроводящая жидкость; 5 – реостат.

ти в измерительной камере, отделенной от внешней среды гибкой оболочкой (рис. 2.2). Вдоль продольной оси камеры располагается реостатный преобразователь, подвижным контактом которого служит токопроводящая жидкость. Поскольку давление P в измерительной камере и ее объем V при постоянной температуре связаны соотношением PV=const [7], то одинаковые приращения давления P .(уровня жидкости) вызывают неодинаковые перемещения уровня токопроводящей жидкости в измерительной камере. Для получения линейной статической характеристики реостатный преобразователь в данном уровнемере выполнен в виде неравномерной намотки или высокоомной пленки переменной ширины таким образом, чтобы приращение сопротивления реостата было обратно пропорционально квадрату перемещения подвижного контакта, т.е. уровня токопроводящей жидкости.

2.1.3. Тензометрические преобразователи

Действие тензопреобразователей основано на изменении сопротивления проводников и полупроводников при их растяжении или сжатии [15].

Тензоэлементы (или тензорезисторы) состоят из тонкой проволоки или фольги, сложенной несколько раз в форме меандра и вклеенной между эластичными бумажными, пленочными или фетровыми подкладками. Толщина проволоки (или фольги) от 0,02 до 0,05 мм. Основные конструктивные формы тензоэлементов представлены на рис. 2.3.

Изменение электрического сопротивления тензоэлемента пропорционально относительной деформации детали в месте наклейки последнего. Относительный коэффициент передачи тензодатчика $K_{отн}=(\Delta R/R)/(\Delta l/l)$. Материал для тензоэлементов должен характеризоваться возможно большей тензочувствительностью и возможно меньшим температурным коэффициентом. Обычно используются сплавы: константан, манганин, нихром, а также чистые металлы: никель, висмут. Очень высокую тензочувствительность, в 60-80 раз

выше, чем у металлов, имеют полупроводники: германий, кремний и др. Полупроводниковые тензоэлементы получают выращиванием кристаллов полупроводника на мембране из диэлектрического металла (например, датчики «кремний на сапфире»).

Достоинства тензорезисторных преобразователей: простота конструкций, малые габариты, высокая точность, безинерционность; недостатки: невысокая чувствительность, зависимость сопротивления от температуры.

Низкая чувствительность тензорезисторных преобразователей требует применения усилителей выходного сигнала, а термозависимость – применения специальных мер для устранения влияния температуры.

Тензопреобразователи находят применение в датчиках силы натяжения каротажного кабеля с подвесным роликом ДНТ-033 ($\delta \leq 1{,}5\%$ при усилии до 500 *Н*) [2,17], в некоторых опробователях пластов в качестве измерителей пластового давления (например, в ОПД-7-10), в некоторых скважинных уровнемерах типа погружных манометров [2].

Автором тензорезисторный преобразователь применен в расходомере РГЖ-1, не содержащем вращающихся деталей [19]. Чувствительным элементом этого прибора служат две гибкие пластины, установленные вдоль измеряемого потока. Поскольку давление в движущемся флюиде понижается, пластины прогибаются навстречу друг другу тем больше, чем выше скорость потока (рис. 2.4). Прогиб пластин преобразуется в электрический сигнал с помощью наклеенных на них тензоэлементов. Для устранения влияния температуры на пластине наклеены 4 тензоэлемента (2 вдоль нее и 2 поперек), соединенные по мостовой схеме. В одну диагональ моста подается переменный ток питания (частота I кГц), к другой диагонали подключен усилитель. Чувствительность описанного расходомера составляет 0,05 л/с.

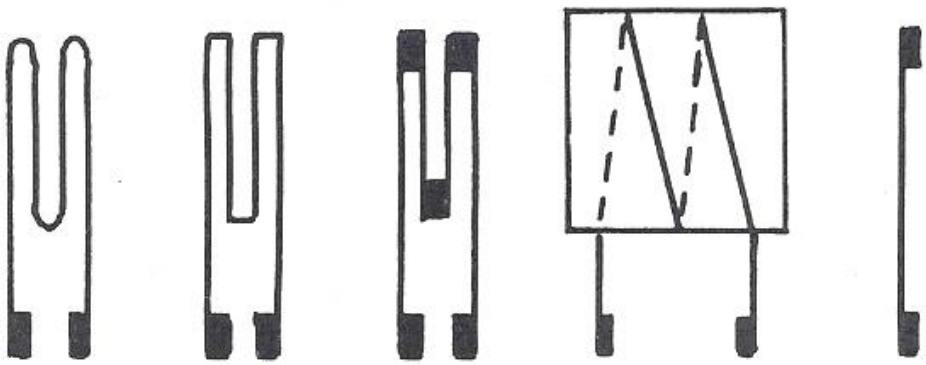


Рис. 2.3. Разновидности тензорезисторов

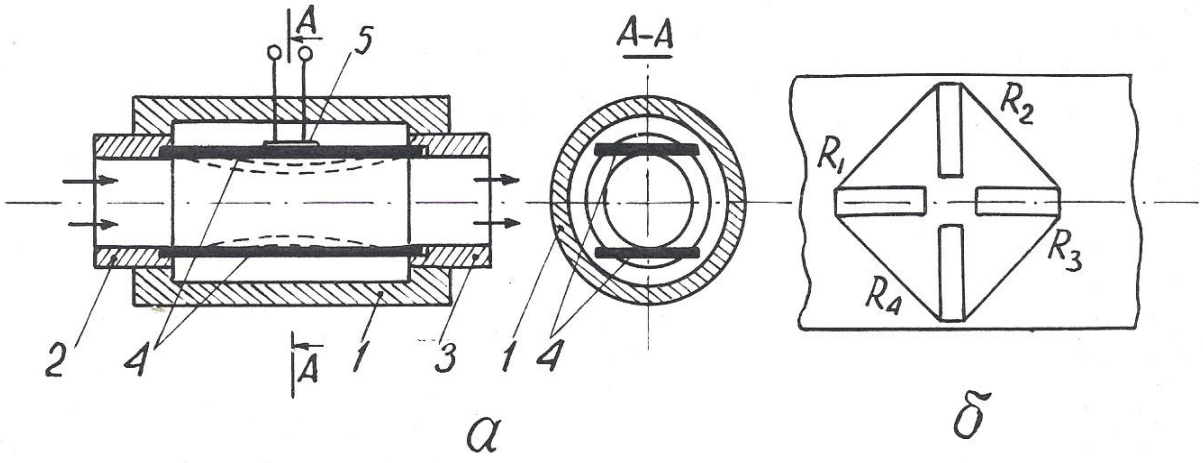


Рис. 2.4. Принцип действия расходомера РГЖ-1 (а) и размещение тензорезисторов на упругой пластине (б): 1 – корпус расходомера; 2 – входной канал; 3 – выходной канал; 4 – упругие пластины; 5 – тензометрический преобразователь прогиба пластины в электрический сигнал

2.1.4. Электролитические преобразователи

Преобразователи этого типа основаны на изменении электрического сопротивления между помещенными в электролит электродами в зависимости от расстояния между ними, площади соприкосновения с электролитом или проводимости последнего (2.1). Электролитические датчики используются для измерения угловых и линейных перемещений, а также для определения сопротивления электролита. Во избежание погрешностей, связанных с электролизом и электродной поляризацией, их включают, как правило, в цепь переменного тока.

Достоинства датчиков этого типа заключаются в простоте конструкции и способности пропускать большие токи; недостатки – в зависимости сопротивления электролита от температуры (при изменении последней на 1° электропроводность растворов изменяется на 1,5-2,5%).

В геофизической аппаратуре электролитические датчики используются в резистивиметрах всех видов: скважинных и переносных (например, в приборе ПР-1).

Еще один пример применения датчик этого типа устройство для определения направления и скорости потока подземных вод [20]. Это устройство содержит цилиндрическую измерительную камеру с перфорированными стенками, по окружности которой размещены радиальные электроды а в середине – центральный (рис. 2.5). Каждый из электродов подсоединен к своей жиле многожильного каротажного кабеля (например, кабеля КГ17-60-180ШМ. Внутри камеры располагается также магнитная стрелка с экраном из изоляционного материала на северном конце. Измерительная камера закрывается крышкой и заполняется электролитом через специальные отверстия в ней. Затем устройство опускают в скважину и устанавливают напротив исследуемого водоносного горизонта. По кабелю

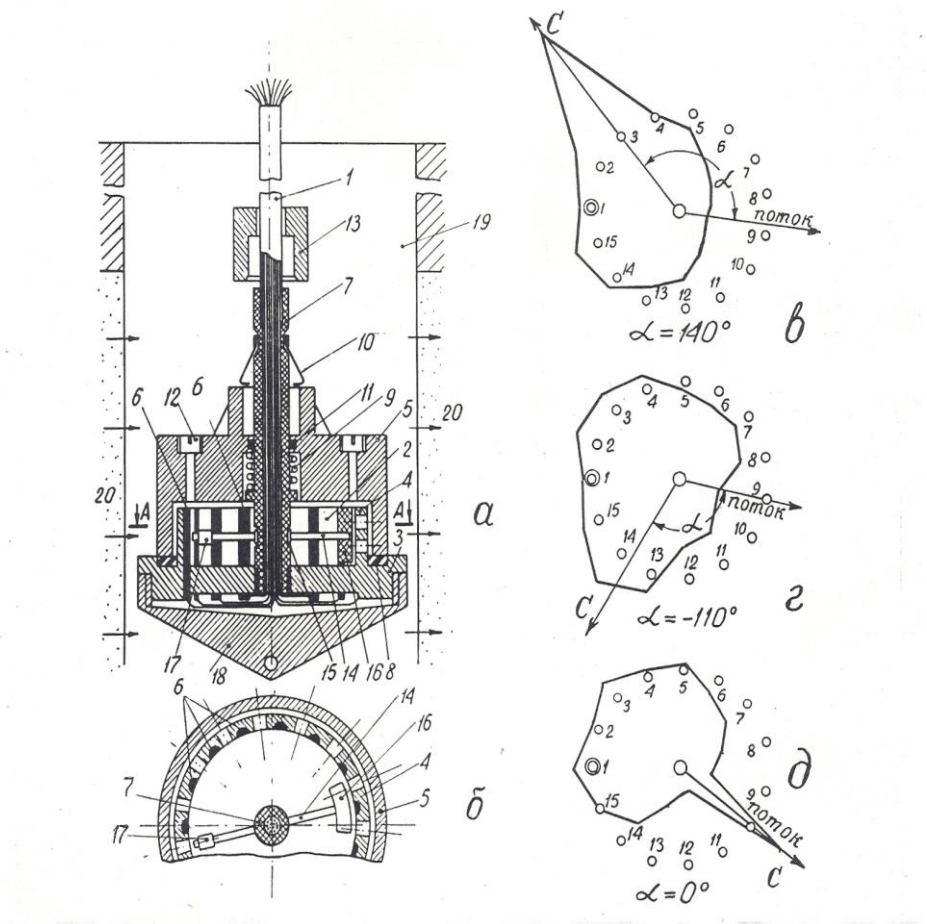


Рис. 2.5. Устройство для определения направления и скорости потока (а, б) и результаты измерений магнитного азимута потока (в-д): 1 – многожильный каротажный кабель; 2 – измерительная камера; 3 – изоляционный диск; 4 – перфорированные стенки камеры; 5 – крышка; 6 – радиальные электроды; 7 – центральный электрод; 8 – резиновая прокладка; 9 – сжатая спиральная пружина; 10 – пружинные защелки; 11 – резиновое кольцо; 12 – заливная пробка; 13 – сбивающий грузик; 14 – магнитная стрелка; 15 – скользящий подшипник; 16 – изоляционный экран; 17 – противовес; 18 – нижний наконечник.

опускают сбивающий грузик, который приводит в действие пружину, отбрасывающую крышку вверх по кабелю. Движением подземных вод электролит из измерительной камеры вымывается по направлению потока через перфорацию в стенках. Магнитная стрелка ориентируется по направлению магнитного меридиана, а экран на ее северном конце перекрывает один из радиальных электродов. На поверхности производят измерения электрического сопротивления между центральным и каждым из радиальных электродов. Минимальное сопротивление указывает направление потока подземных вод, а максимальное – направление на север. Скорость потока определяют по скорости вымывания электролита из измерительной камеры, повторяя измерения через определенные интервалы времени. При использовании 17-жильного кабеля устройство обеспечивает абсолютную погрешность в измерении направления потока, не превышающую ±12°.

2.1.5.Терморезистивные преобразователи

Терморезистивные преобразователи основаны на свойстве металлов и полупроводников изменять свое сопротивление под действием температуры Т.

Зависимость сопротивления металлов от температуры в общем случае нелинейна, однако, для ограниченных интервалов температур ее можно представить в виде линейной двучленной функции $R_т=R_0[1+\alpha(T-T_0)]$, где R_0 – сопротивление при начальной температуре T_0, а α – температурный коэффициент сопротивления для интервала $T – T_0$.

Основным материалом для терморезисторов являются чистые металлы: платина, медь, никель, которые обладают в интервале от О до 100°С положительным $\alpha=0{,}0030–0{,}0068$ $(град.С)^{-1}$.

Известны также объемные полупроводниковые терморезисторы (термисторы). Их сопротивление уменьшается с повышением температуры по экспоненте, в среднем для них $\alpha=0{,}03\text{-}0{,}04$ $(град.\ С)^{-1}$, но значение α сильно

зависит от температуры. Чувствительность (статический коэффициент передачи) терморезисторов $K_{ст}=\Delta R/\Delta T=\alpha R_0$.

Достоинства терморезистивных преобразователей: простота конструкции, малые габариты, возможность установки в труднодоступных местах. Однако им присущи и важные недостатки. Во-первых, это постоянство α лишь в ограниченном диапазоне температур и, во-вторых, инерционность, приводящая к большим динамическим погрешностям. Как известно, термопреобразователь приобретает температуру среды по закону $\Delta T=\Delta T_0 \cdot e^{-t/\tau}$ где ΔT_0 - начальная разность температур, t – время, τ – постоянная времени преобразователя, зависящая от его конструкции и теплопроводности, а также тепловых свойств среды.

В геофизическом приборостроении преобразователи этого типа находят применение в скважинных термометрах электрических (СТС-2, ЭТМИ-55 и др.) и электронных (ТЭГ-36, ТЭГ-60 и др.).

Чувствительный элемент всех скважинных термометров представляет собой тонкую (0,02-0,03 мм) медную проволочку, сложенную в несколько раз и помещенную в тонкостенную медную трубку длиной около 30 см, омываемую скважинным флюидом [9].

Точно так же устроен чувствительный элемент скважинных расходомеров типа термоанемометров СТД-2, СТД-4 [2]. Этот термоэлемент включается в мостовую измерительную схему и нагревается до температуры, превышающей температуру исследуемого потока. Мостовая схема балансируется при размещении чувствительного элемента в неподвижной жидкости. Когда жидкость приходит в движение, она охлаждает нагретый термоэлемент, тем сильнее, чем выше скорость ее движения.

В газокаротажных станциях (АГКС-64, АГКС-4 и др. для определения суммарного газосодержания в газовоздушной смеси эта смесь подается на термочувствительный элемент в виде тонкой платиновой проволочки, нагретой до 850° С и включенной в сбалансированную мостовую схему. Если в

анализируемой смеси имеются углеводородные газы, то при 850°С они сгорают, выделяющееся тепло повышает температуру проволочки, увеличивая ее сопротивление и нарушая баланс мостовой схемы [17].

Аналогичным образом действуют приборы для определения содержания СО в выхлопных газах автомобиля [6].

Известны также устройства для определения направления потока подземных вод [24], содержащие нагреватель и расположенные вокруг него термисторы. По измерениям температуры последних определяют, в каком направлении идет перенос тепла, т.е. происходит движение подземных вод.

2.1.6. Магниторезистивные преобразователи

Эти преобразователи основаны на свойстве некоторых материалов изменять свое электрическое сопротивление под действием магнитного поля (эффект Гаусса). Таким свойством обладает, например, сплав пермаллой (80% никеля, 20% железа). Степень изменения сопротивления магниторезистора зависит от магнитной индукции поля B и угла θ между ее направлением и направлением тока [6,16,22].

Магниторезисторы изготавливаются по тонкопленочной технологии в форме меандров (рис. 2.6).

Еще большим магнитоэлектрическим эффектом, чем сплавы металлов, обладают полупроводники (антимонид индия InSb и арсенид индия InAs).

Увеличение сопротивления магниторезисторов объясняется увеличением пути движения электронов и дырок под действием силы Лоренца.

Чувствительность магниторезистивных датчиков $K_{диф}=\Delta R/\Delta B$ зависит от величины магнитной индукции: $\Delta R=R_0 \cdot A(\nu B)^n$, где A – так называемый «коэффициент формы», ν – подвижность электронов: n – постоянный коэффициент (n=1–2), зависящий от B.

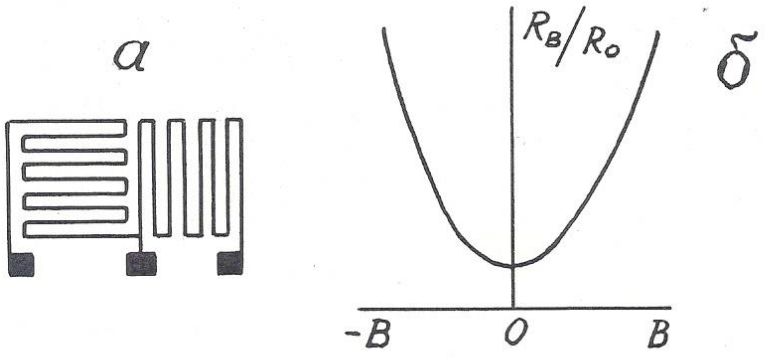


Рис. 2.6. Форма магниторезистора (а) и зависимость приращения его сопротивления от магнитной индукции (б)

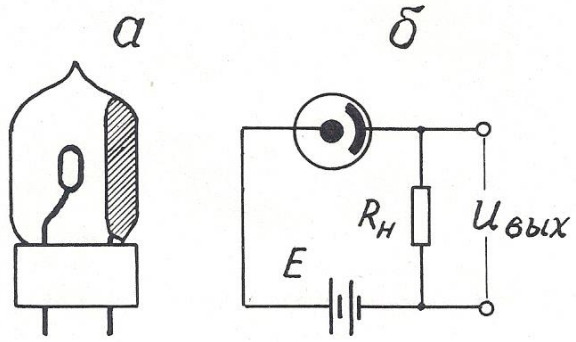


Рис. 2.7. Конструкция фотоэлемента с внешним эффектом (а) и включение его в измерительную схему (б)

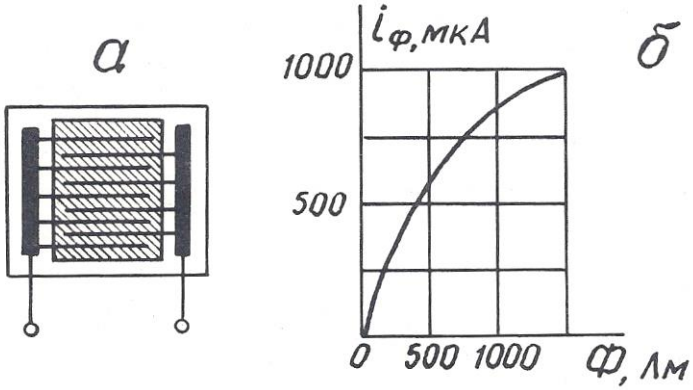


Рис. 2.8. Конструкция фотоэлемента с внутренним фотоэффектом (а) и зависимость фототока от светового потока (б)

При больших B значение n=1, поэтому при использовании магниторезисторов применяют магнитное смещение, помещая их в поле электромагнита с B=0,3 – 0,5 Тл.

Недостатки магниторезисторов: наличие температурного влияния и потребность в сильных магнитных полях.

Магниторезисторы в геофизике могут быть использованы в скважинных расходомерах и магнитных меткоуловителях каротажных станций.

2.1.7. Фотоэлектрические преобразователи

Фотоэлектрические преобразователи (фотоэлементы) основаны на явлении внешнего (электровакуумные и газонаполненные) или внутреннего (полупроводниковые) фотоэффекта.

Фотоэлемент с внешним фотоэффектом представляет собой электронную лампу с двумя электродами, один из которых (фотокатод) покрыт светочувствительным слоем (рис. 2.7). Возрастание фототока при увеличении приложенного напряжения происходит до величины тока насыщения, при котором все электроны, испускаемые фотокатодом под действием светового потока, достигают анода.

Фотоэлемент с внутренним фотоэффектом (фоторезистор) состоит из стеклянной пластины, на которой вытравлены входящие друг в друга гребневидные системы штрихов, заполненные электропроводным веществом (платина, золото). Пластина покрывается тонким слоем полупроводникового светочувствительного материала (рис. 2.8).

Чувствительность фотоэлементов $K_{диф}=\Delta R/\Delta\Phi$ непостоянна и нелинейно зависит от светового потока Ф. Кроме того, фотоэлементы обладают еще и спектральной избирательностью» т.е. чувствительностью к световому излучению определенной длины волны.

Фотоэлементы могут быть использованы и в режиме источников тока, т.е. как генераторные преобразователи фотоэ.д.с.

Фотопреобразователи находят применение в приборах фотокаротажа, предназначенных для дифференциации разрезов скважин по цвету пород, в скважинных расходомерах (например, в ТСР-70Ф) в некоторых инклинометрах. Так, автором совместно с профессором. А.В.Давыдовым предложен датчик угла наклона буровой скважины для непрерывных измерений [27]. Этот датчик содержит измерительную камеру 1, частично заполненную жидкостью 2 с высоким коэффициентом поверхностного отражения, например, ртутью или сплавом Вуда, а над жидкостью соосно размещены источник света 3 и кольцевой фотопреобразователь 4 (рис. 2.9). При вертикальном положении датчика весь свет источника, отраженный от поверхности жидкости, попадает на фотопреобразователь, и сигнал на его выходе максимален. При отклонении датчика от вертикали поверхность жидкости наклоняется относительно оси камеры, и часть отраженного света уходит за пределы фотопреобразователя. Выходной сигнал уменьшается тем сильнее, чем больше зенитный угол скважины.

2.2. Индуктивные преобразователи

Принцип действия индуктивных преобразователей основан на изменении электрического сопротивления *z* катушки индуктивности при изменении магнитного сопротивления ее сердечника. В свою очередь, магнитное сопротивление сердечника может быть изменено либо за счет изменения величины воздушного зазора в нем, либо за счёт изменения магнитных свойств материала, из которого он состоит.

2.2.1. Индуктивные преобразователи с изменяемым воздушным зазором

Входной величиной преобразователей этого типа обычно служат линейные или угловые перемещения. Чувствительность датчика $K_{диф}=\Delta z/\Delta x$.

Конструкции датчиков весьма разнообразны, некоторые из них, наиболее распространенные, представлены на рис. 2.10.

Независимо от конструкции датчика, его индуктивное сопротивление $z=j\ \omega\ L$, где ω – круговая частота тока в катушке; L – ее индуктивность. $L=W^2/R_\mu$, где W – число витков в катушке; R_μ – магнитное сопротивление сердечника. $R_\mu=R_ж+R_в$, где $R_ж$ – магнитное сопротивление железа сердечника; $R_в$ – магнитное сопротивление воздушного зазора. $R_в>>R_ж$. $R_в=\delta/(\mu_0\cdot S)$, где δ – длина воздушного зазора; S – его площадь; μ_0 – абсолютная магнитная проницаемость воздуха. Таким образом, $z=-j\ \omega\ W^2\mu_0 S/\delta$, т.е. z обратно пропорционально δ и зависимость $z=f(\delta)$ нелинейна.

Линеаризовать эту зависимость удается в конструкции так называемых «дифференциальных» индуктивных преобразователей (рис. 2.11). В этих преобразователях, используются, две катушки индуктивности, включенные в мостовую схему и расположенные таким образом, что, когда индуктивное сопротивление одной увеличивается, сопротивление другой падает.

Достоинства индуктивных: преобразователей: отсутствие открытых электрических контактов, большая мощность вырабатываемого сигнала; недостаток – наличие электромагнитного взаимодействия между катушкой и сердечником (или его подвижной частью), отсюда – так называемая «реакция преобразователя».

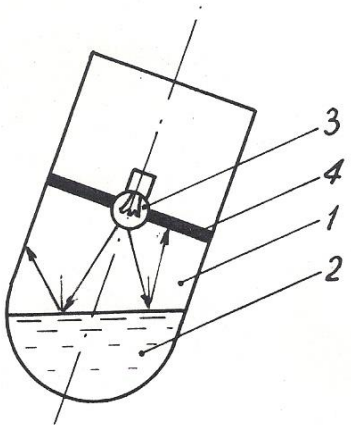


Рис. 2.9. Датчик угла наклона буровой скважины: 1 – измерительная камера; 2 – жидкость с высоким коэффициентом поверхностного отражения; 3 – источник света; 4 – кольцевой фотоприемник

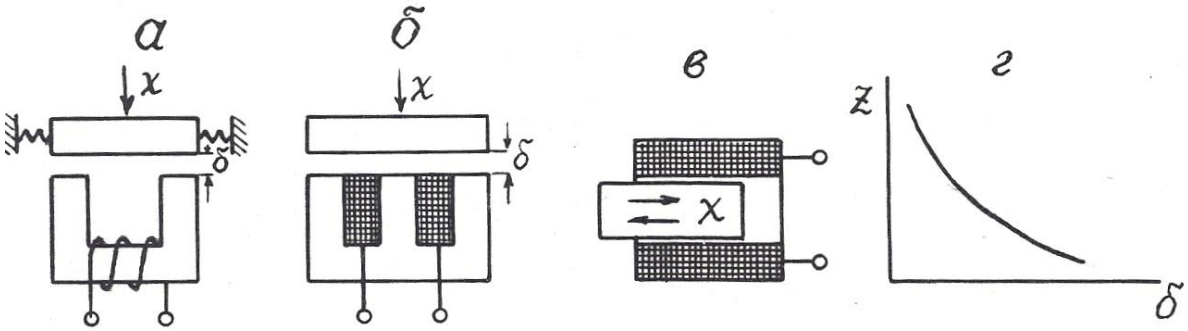


Рис. 2.10. Варианты выполнения индуктивных преобразователей с изменяемым воздушным зазором (*а-в*) и их статическая характеристика (*г*).

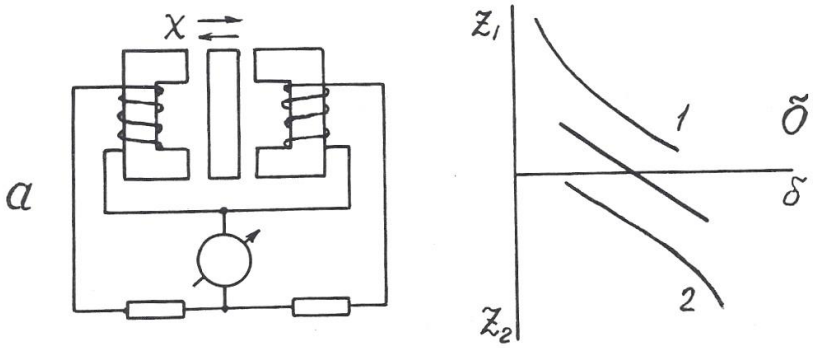


Рис. 2.11. Дифференциальный индуктивный преобразователь (а) и его статическая характеристика (б)

В геофизической аппаратуре индуктивные преобразователи находят применение в некоторых каверномерах и профилемерах (например, в профилемере ПМ-50) [2], в скважинных расходомерах ДАУ-3, РСИ-3 и ГЕО-В-600 (последний венгерского производства) [21], в индуктивных дефектомерах обсадных колонн.

2.2.2. Магнитоупругие преобразователи

Эти преобразователи основаны на взаимосвязи между магнитным и механическим состоянием ферромагнитных материалов.

Различают собственно **магнитоупругий эффект**, т.е. изменение магнитных свойств, в частности, магнитной проницаемости под воздействием механических деформаций, и обратное явление – **магнитострикционный эффект**, т.е. изменение формы и размеров ферромагнитных тел под воздействием внешнего магнитного поля.

В качестве материала для изготовления магнитоупругих датчиков используют сплавы: пермаллой, пермендюр, альсифер, ферриты, а также чистые металлы, например, никель. Конструкции преобразователей изображены на рис. 2.12.

Относительный коэффициент передачи магнитоупругого датчика $K_{отн}=(\Delta\mu/\mu)/(\Delta l/l)$ составляет около 200 и не остается постоянным при изменении размеров датчика (см. рис. 2.12, д).

Достоинства магнитоупругих датчиков: простота конструкции, прочность, удобство герметизации; недостатки: нелинейная статическая характеристика, наличие резонансной частоты.

Для стержневых датчиков (см. рис. 2.12, а, б) резонансная частота $f_0=V/2l$, где V – скорость упругих волн в материале сердечника, l – его длина; для кольцевого (см. рис. 2.12, в) – $f_0=V/2d$, где d – диаметр датчика.

Магнитоупругие преобразователи находят применение в аппаратуре акустического каротажа в качестве источников (магнито-стрикционные излучатели) упругих волн [12,17], в некоторых прихватоопределителях, а также в буровой технике – в измерителях нагрузки МКМ-2 буровых станков и в измерителях давления промывочной жидкости МИД-1, МИД-1А [5].

2.2.3. Магнитомодуляцнонные преобразователи

Эти преобразователи основаны на изменении магнитных свойств ферромагнитных материалов под действием магнитного поля.

Сердечники магнитомодуляционных преобразователей изготавливают в форме стержня с большим отношением длины l к диаметру d: $l/d>100$. При этом условии коэффициент размагничивания сердечника $N=0$ и даже в слабом магнитном поле, направленном вдоль его оси, сердечник намагничивается до насыщения. При этом его относительная магнитная проницаемость падает до 1, хотя при ненасыщенном состоянии она очень велика – до 10000. Для того, чтобы намагнитить сердечник до насыщения, на него наносят обмотку возбуждения, по которой пропускают переменный ток.

В моменты как падения магнитной проницаемости (при возрастании намагничивающего поля до H_s), так и восстановления ее (при уменьшении намагничивающего поля ниже H_s) в обмотке индуцируются пики э.д.с. самоиндукции противоположных знаков. Частота этих пиков вдвое превышает частоту возбуждающего тока, как это можно видеть по рис.2.13.

При воздействии на датчик внешнего постоянного магнитного поля, направленного вдоль его оси, в один из полупериодов это поле складывается с магнитным полем катушки возбуждения, и сердечник доходит до насыщения быстрее, чем вне внешнего магнитного поля, в другой полупериод внешнее поле вычитается из поля катушки возбуждения, и сердечник не доходит до

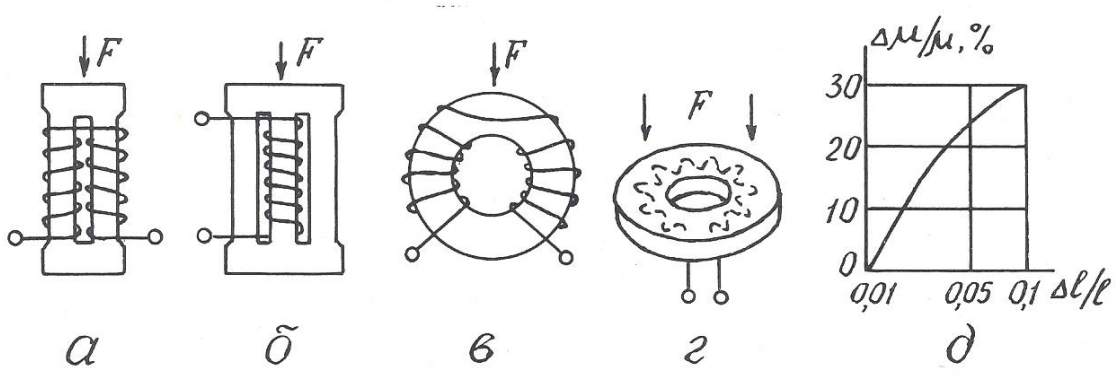


Рис. 2.12. Разновидности магнитоупругих преобразователей (а-г) и зависимость изменения магнитной проницаемости от изменения размеров преобразователя (д)

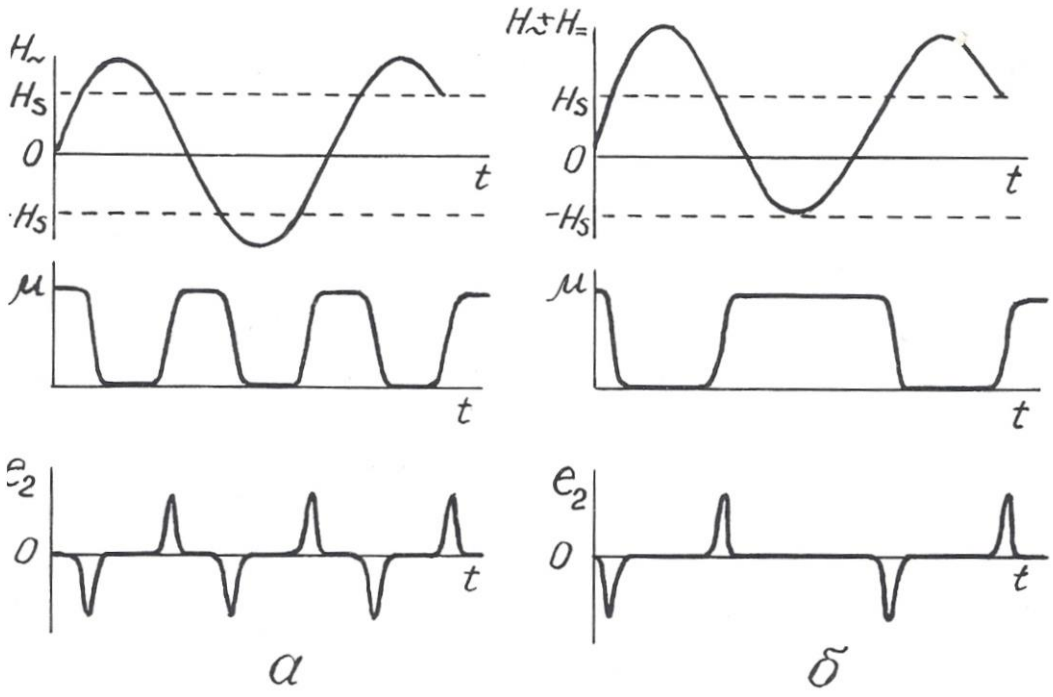


Рис. 2.13. Возникновение э.д.с. второй гармоники в магнитомодуляционном преобразователе в отсутствие (а) и при наличии (б) внешнего магнитного поля

магнитного насыщения, и нарушается симметрия перемагничивания сердечника.

Существуют 2-элементная и 1-элементная конструкции магнитомодуляционных датчиков (рис. 2.14). В 2-элементной имеются 2 параллельных сердечника, обмотки возбуждения на которых намотаны в противоположных направлениях и потому их магнитное поле имеет противоположное направление, а пики э.д.с. второй гармоники противоположны по знаку. По этой причине в сигнальной обмотке, охватывающей оба стержня, при отсутствии внешнего магнитного поля выходной сигнал равен 0. При наличии внешнего магнитного поля в один полупериод исчезает пара импульсов э.д.с. второй гармоники в одной обмотке, когда ее стержень не доходит до насыщения, в другой полупериод – не возникает такая же пара импульсов в другой обмотке возбуждения и потому на выходе сигнальной обмотки будет существовать э.д.с. второй гармоники, имеющая частоту, удвоенную по сравнению с током возбуждения. Амплитуда этой э.д.с. пропорциональна напряженности внешнего магнитного поля, а фаза определяется направлением последнего.

В одноэлементных датчиках э.д.с. второй гармоники выделяется не с помощью дополнительной сигнальной обмотки, а с помощью фильтров, настроенных на ее частоту.

Достоинства магнитомодуляционных датчиков: простота, надежность, отсутствие открытых электрических контактов, высокая чувствительность; недостаток – необходимость в сложной измерительной схеме, обеспечивающей питание датчика переменным током, а также выделение и усиление сигнала второй гармоники. Дополнительный недостаток 2-элементных датчиков – большое количество выводов.

Магнитомодуляционные преобразователи находят широкое применение в магнитометрической аппаратуре – 2-элементные в полевых (М-17) и аэромагнитометрах (АММ-13, АСГМ-46) [3], 1-элементные – в скважинных

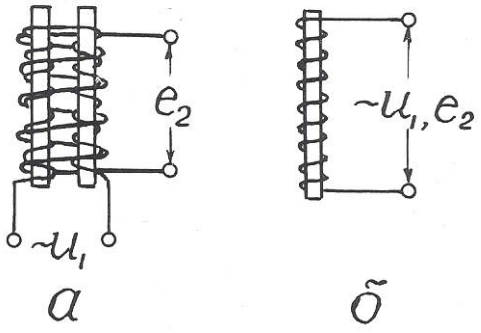


Рис. 2.14. Конструкция 2-элементного (а) и 1-элементного (б) магнитомодуляционного преобразователя

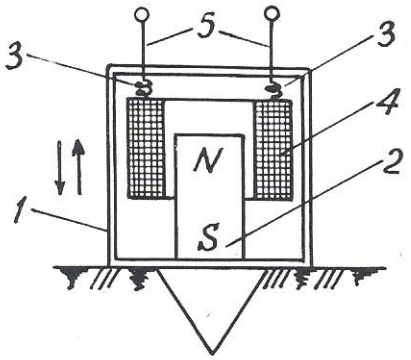


Рис. 3.1. Сейсмоприемник магнитоэлектрического типа: 1 – корпус; 2 – постоянный магнит; 3 – пружинки; 4 – катушка индуктивности; 5 – электрические выводы

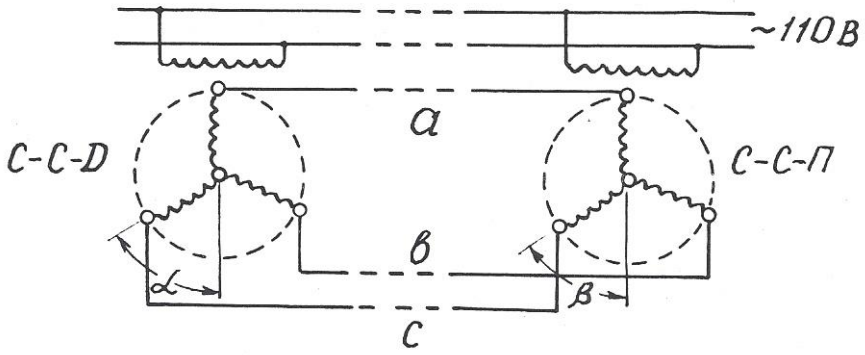


Рис. 3.2. Электрическая схема сельсинной передачи

магнитометрах ТСМ-3, ТСМК-40, ТСМК-30, КСМ-38 и др. [12,17]. Они используются также в скважинных расходомерах РЭТС-2 и магнитных меткоуловителях каротажных станций.

2.3. Емкостные преобразователи

Преобразователи этого вида основаны на изменении емкости C конденсатора под действием измеряемой величины.

Как известно, $C=\varepsilon S/\delta$ (2.2), где S – площадь обкладок конденсатора; δ – расстояние между ними; ε – диэлектрическая проницаемость среды между обкладками. Следовательно, изменять емкость можно путем воздействия измеряемой величины либо на геометрические размеры датчика, либо на его диэлектрическую проницаемость. При этом очевидно, что датчики с изменяемыми параметрами S и ε имеют линейную статическую характеристику, а датчики с изменяемой величиной δ – нелинейную. В последнем случае для линеаризации характеристики возможно применение дифференциальных емкостных преобразователей, аналогичных по конструкции дифференциальным индуктивным датчикам.

Входными величинами емкостных датчиков могут быть линейные и угловые перемещения, механические усилия, деформации, изменение состава вещества.

Достоинства емкостных датчиков: высокая чувствительность, безинерционность, стабильность; недостаток – малая выходная мощность.

Датчики этого вида используются в аппаратуре диэлектрического каротажа ДК-1.Чувствительный элемент этой аппаратуры представляет собой цилиндрический конденсатор больших размеров, емкость которого зависит от диэлектрической проницаемости окружающих горных пород [2].

В так называемых «аквамерах» – приборах для определения количества воды в смесях «вода-нефть», откачиваемых из буровых скважин, также

применяется емкостной датчик. Действие этого прибора основано на том, что у воды ε=81, а у нефти ε=2,5 отн.ед. (при температуре 18^0 С)

В некоторых скважинных термометрах используются в качестве частотозадающего элемента в схеме *RC*-генератора конденсаторы, емкость которых зависит от температуры.

Кроме того, известны скважинные емкостные измерители зенитного угла [25]. Их чувствительный элемент – конденсатор, одна обкладка которого представляет собой металлическую изолированную полусферу, установленную перпендикулярно оси прибора, а другая обкладка – залитую в эту сферу ртуть. При вертикальном расположении датчика емкость его максимальна, при наклоне – уменьшается.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные характеристики контактных преобразователей и приведите примеры их применения в геофизической аппаратуре (ГА).

2. Назовите основные характеристики реостатных преобразователей, приведите примеры их применения в ГА.

3. Назовите основные характеристики тензометрических преобразователей и приведите примеры их применения.

4.Назовите основные характеристики электролитических преобразователей и приведите примеры их применения в ГА.

5. Назовите основные характеристики терморезистивных преобразователей и приведите примеры их применения в ГА.

6. Назовите разновидности и основные характеристики фоторезистивных преобразователей, приведите примеры применения их в ГА.

7. Назовите разновидности индуктивных преобразователей.

8. Поясните принцип действия индуктивных преобразователей с изменяемым воздушным зазором, приведите примеры их применения в ГА.

9. Поясните принцип действия магнитоупругих преобразователей, приведите примеры их применения в ГА.

10. Поясните принцип действия магнитомодуляционных преобразователей, приведите примеры их применения.

11. Назовите основные характеристики емкостных преобразователей и приведите примеры их применения.

3.ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ГЕНЕРАТОРНОГО ТИПА

Во всех генераторных преобразователях выходной величиной является э.д.с., появляющаяся в результате воздействия измеряемой величины.

3.1. Преобразователи индукционной э.д.с.

Эти преобразователи основаны на явлении электромагнитной индукции, возникающей при воздействии на проводник переменного магнитного поля.

Изменение магнитного поля, воздействующего на проводник или, точнее, на катушку индуктивности, достигается либо за счет перемещения катушки относительно постоянного магнита, либо за счет изменения магнитного поля при неизменном расположении магнита и катушки индуктивности.

3.1.1 Преобразователи индукционной э.д.с, со взаимным перемещением магнита и катушки индуктивности

Э.д.с., возникающая в катушке индуктивности, зависит от следующих факторов: $e=BVlW\sin\alpha$, где B – магнитная индукция; V – относительная скорость перемещения; α – угол между векторами V и B, l – длина витка и W – число витков в катушке.

Преобразователи этого вида широко используются в геофизической аппаратуре. Примером могут служить сейсмоприемники магнито-электрического типа (С210, СВ1-30 и др.), принцип действия которых

иллюстрируется рис. 3.1 [3]. С корпусом приемника 1 жестко скреплен постоянный магнит 2. Над магнитом на пружинках 3 подвешена катушка индуктивности 4 с электрическими выводами 5. При колебаниях поверхности, на которой установлен сейсмоприемник, происходят взаимные перемещения магнита 2 и катушки индуктивности 4, и в последней наводится э.д.с.

Другой пример использования датчиков этого вида – автосинная (или сельсинная) передача, которая применяется в каротажных станциях для синхронизации движения носителя записи (диаграммной или магнитной ленты) с перемещением, зонда по скважине [12]. Принципиальная схема сельсинной передачи представлена на рис. 3.2. Передача содержит, по меньшей мере, две идентичных электрических машины, у которых статор имеет однофазную обмотку с явно выраженными полюсами, а ротор – трехфазную обмотку с неявно выраженными полюсами. Одна машина, называемая сельсином-датчиком (ССД), устанавливается на блок-балансе, через который в скважину опускается кабель со скважинным снарядом. При движении кабеля по скважине блок-баланс через зубчатую передачу приводит во вращение ротор сельсина-датчика. Другая машина, называемая сельсином-приемником (ССП), устанавливается в регистрирующем приборе каротажной станции и играет роль привода его лентопротяжного механизма. Обмотки роторов ССД и ССП включены навстречу друг другу, а обмотки статоров питаются переменным током промышленной частоты от одного и того же источника. Переменный ток создает в обмотках статоров пульсирующие магнитные потоки, которые индуцируют в роторных обмотках э.д.с., зависящие от угла поворота ротора относительно статора. Если эти углы у роторов ССД и ССП одинаковы ($\alpha=\beta$), то э.д.с., в их обмотках равны и взаимно компенсируют друг друга. Токи в каждой роторной цепи равны нулю. Если эти углы не равны ($\alpha\neq\beta$), баланс э.д.с. нарушается, и в роторных обмотках возникают токи, которые создают в них магнитные поля, стремящиеся повернуть роторы до положения $\alpha=\beta$.Поскольку ротор ССД механически связан с роликом блок-баланса, находящегося под

большой нагрузкой, то поворачивается все время ротор ССП, нагрузка на который меньше и который перемещает носитель записи синхронно с движением скважинного прибора. С одним и тем же ССД могут быть соединены несколько ССП, например, один в регистрирующем приборе, другой на панели лебедчика в блоке счетчика глубин.

Еще один пример применения датчиков этого вида – тахогенераторы – приборы для измерения скорости вращения [5]. В этих приборах ротор генератора вращается в поле постоянного магнита или электромагнита, а индуцируемая в нем э.д.с. выпрямляется и измеряется стрелочным или цифровым прибором. Такие тахогенераторы также используются в каротажных станциях для измерения скорости движения скважинного снаряда. Приводом ротора тахогенератора служит один из сельсинов-приемников автосинной передачи.

3.1.2. Преобразователи индукционной э.д.с. со стационарным размещением магнита и катушки индуктивности

В преобразователях этого вида изменение магнитного поля достигается за счет перемещения ферромагнитных масс в воздушном зазоре между магнитом и катушкой индуктивности. В общем случае э.д.с. индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока Ф и числу витков в катушке:

$e=-wd\Phi/dt.$

На рис. 3.3 представлено несколько примеров применения преобразователей этого вида в геофизической аппаратуре.

В скважинном каппаметре Н. А. Иванова (рис. 3.3, а) датчик представляет собой катушку индуктивности с большим количеством витков, намотанную на постоянном стержневом магните. Когда такой датчик перемещается по стволу скважины мимо горных пород с повышенными магнитными свойствами, это вызывает изменение магнитного потока через катушку индуктивности, и в ней

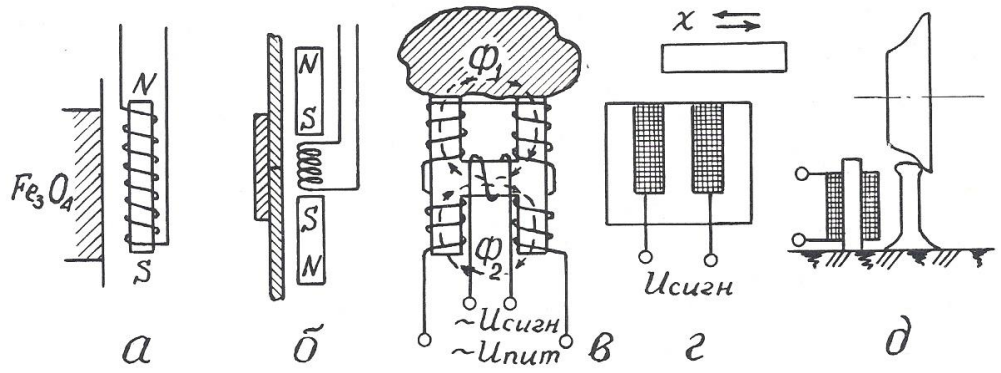


Рис. 3.3. Примеры применения преобразователей индукционной э.д.с.: а – скважинный каппаметр Н. А. Иванова; б – локатор муфт; в – лабораторный измеритель магнитной восприимчивости; г – счетчик количества; д – счетчик вагонеток

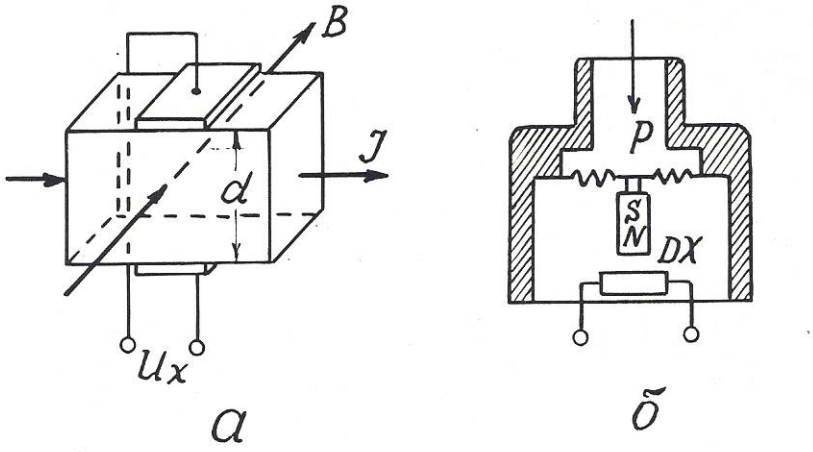


Рис. 3.4. Принцип действия преобразователя Холла (а) и его применение в манометре мембранного типа (б)

возникает э.д.с., пропорциональная магнитной восприимчивости горных пород. В наземном измерительном пульте эта э.д.с., усиливается, выпрямляется и выводится на регистрирующий прибор.

В 50-60 годах каппаметры Н. А. Иванова успешно применялись для исследования скважин на железорудных месторождениях Урала, но потом были заменены более совершенными приборами, поскольку описанный датчик имеет один явный недостаток – сигнал на его выходе зависит не только от магнитных свойств среды, но и от скорости перемещения датчика.

До настоящего времени при исследованиях обсаженных скважин применяются так называемые «локаторы муфт» – приборы, предназначенные для определения положения соединительных муфт обсадных колонн в скважинах [17].

Локатор муфт (рис. 3.3, б) содержит катушку индуктивности и два идентичных постоянных магнита, размещенных выше и ниже нее навстречу друг другу одноименными полюсами. Когда такой прибор перемещается по стальной трубе, имеющей постоянную толщину стенок, магнитные потоки верхнего и нижнего магнитов равны и в области расположения катушки индуктивности компенсируют друг друга. Когда же прибор проходит через соединительную муфту, то из-за увеличения толщины стали сначала усиливается магнитный поток одного (верхнего), а затем другого (нижнего) магнита. В результате в катушке возникает пара разнополярных импульсов э.д.с., которые и регистрируются на диаграммной ленте.

Еще один пример применения преобразователей данного вида – измерители магнитной восприимчивости образцов горных пород (прибор ИМВ-2) [3]. Датчик измерителя (рис. 3.3, в) представляет собой «Н» – образный сердечник с четырьмя обмотками возбуждения на концах сердечника и одной измерительной обмоткой на его «перекладине». Обмотки возбуждения подключены к источнику переменного тока и соединены таким обрезом, чтобы магнитные потоки, создаваемые ими в «перекладине» сердечника, были

направлены навстречу друг другу. Когда датчик находится в воздухе, эти потоки взаимно компенсируются, и сигнал в измерительной обмотке равен нулю. Когда к рабочей поверхности датчика прикладывается образец с повышенной магнитной восприимчивостью, магнитный поток, проходящий через него, увеличивается, и в измерительной обмотке наводится э.д.с., которая затем усиливается и измеряется.

Датчики данного вида находят также применение в технике как счетчики металлических предметов (рис. 3.3, г), счетчики вагонеток (рис. 3.3, д) и т.п. [5].

Общими достоинствами преобразователей индукционной э.д.с. является большая мощность выходного сигнала и отсутствие открытых электрических контактов, недостатком – наличие электромагнитного взаимодействия между магнитом и катушкой индуктивности.

3.2. Преобразователя гальваномагнитной э.д.с.

3.2.1. Преобразователи Холла

Преобразователи этого вида основаны на эффекте Холла, наблюдаемом в полупроводниках. Этот эффект проявляется в возникновении разности потенциалов U_x на обкладках датчика, по которому протекает ток I, при помещении его в магнитное поле, направленное перпендикулярно току. Принцип действия преобразователя Холла поясняется рис. 3.4.

$U_x=K_x \cdot IB/d$, где B – магнитная индукция; d – толщина датчика; K_x – коэффициент Холла, зависящий от характеристики материала и размеров датчика. Эффект Холла наблюдается в таких полупроводниковых материалах, как антимонид индия (InSb), арсенид индия (InAs), арсенид галлия (GaAs), арсенид-фосфат индия ($InAs_{0,8}P_{0,2}$) и др. Чистые полупроводники германий и кремний имеют очень высокое значение коэффициента Холла, но весьма чувствительны к режиму работы.

Датчики Холла используются для измерения перемещений, давления, числа оборотов и скорости вращения.

Достоинство датчиков: высокая чувствительность; недостатки: потребность во внешнем источнике питания, высокое выходное сопротивление и необходимость в высоком внутреннем сопротивлении источника питания, наличие четырех выводов.

В геофизической аппаратуре датчики Холла могут быть использованы для улавливания магнитных меток на каротажном кабеле (патент США № 4709208) или для измерения давления (рис. 3.4, б).

Отечественная приборостроительная промышленность выпускает микросхемы серии К1116 с датчиками Холла для магнитного управления электрическими цепями [16].

3.2.2. Преобразователи Виганда

Магнитобистабильный преобразователь Виганда состоит из специально обработанной проволоки из сплава викаллой (ванадий-10%, кобальт-52%, железо-38%) небольшого диаметра (около 0,3 мм), на которую нанесена обмотка индуктивности (рис. 3.5). При помещении датчика в магнитное поле в момент превышения напряженностью поля определенного порога направление намагниченности сердечника катушки спонтанно меняется, и в катушке возникает импульс напряжения длительностью около 20 мкс. При длине датчика 15 мм и числе витков w=1300 выходное напряжение достигает 2,5 В [6].

Достоинства датчиков Виганда: большой выходной сигнал, отсутствие внешнего питания, широкий температурный диапазон (от - 196 до + 175° С), искробезопасность.

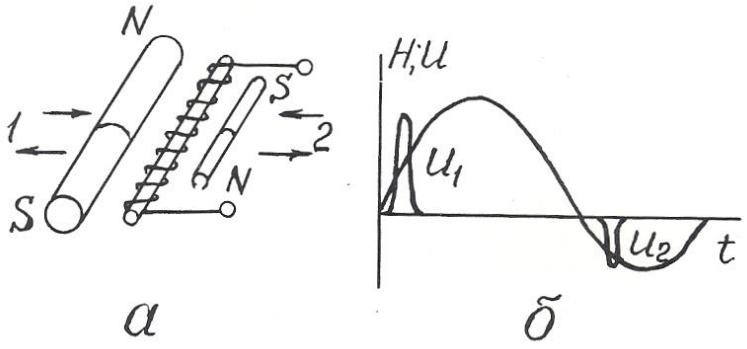


Рис. 3.5. Устройство преобразователя Виганда (а) и осциллограмма его выходного сигнала (б)

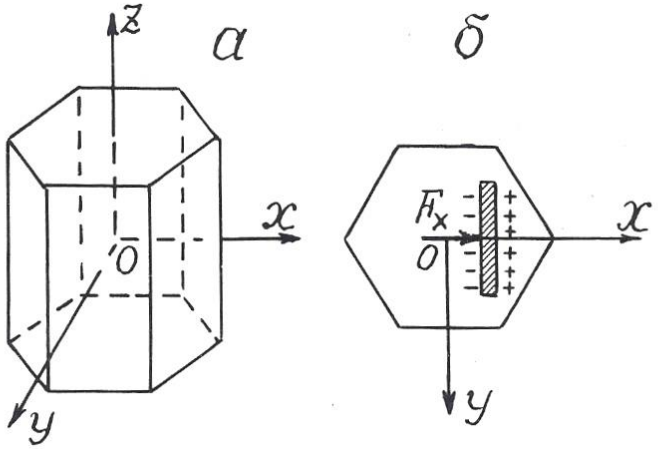


Рис. 3.6. Основные оси кристалла кварца (а) и возникновение пьезоэ.д.с. на кварцевой пластине (б)

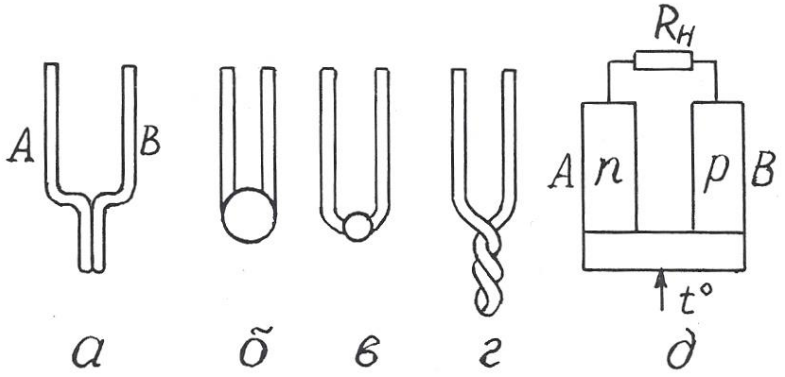


Рис. 3.7. Преобразователи термоэ.д.с. металлические (а-г) и полупроводниковые (д)

Ввиду того, что датчики Виганда были разработаны сравнительно недавно, в конце 80-х годов, они пока еще не используются в геофизической аппаратуре, хотя и могли бы найти применение, например, в магнитных меткоуловителях, устройствах блокировки, каротажных станций и других приборах.

3.3. Преобразователи пьезоэ.д.с.

Действие пьезопреобразователей основано на пьезоэлектрическом эффекте, который возникает в результате взаимосвязи между механическим и электрическим состоянием некоторых диэлектрических материалов, называемых **пьезоэлектриками**.

Различают **прямой пьезоэффект**, заключающийся в возникновении электрических зарядов на гранях кристаллов пьезоэлектриков под действием механических напряжений и исчезновении их после снятия нагрузки, и **обратный пьезоэффект**, проявляющийся в изменении формы и размеров пьезоэлектриков под действием электрического поля.

Способность к пьезоэффекту характеризуется пьезоэлектрической постоянной (пьезомодулем), величина которой определяется электрическим зарядом в Кл, возникающим вод действием внешней силы в 1 Н: $K_{пэ}=Q/F$.

Наиболее сильно пьезоэффект выражен у сегнетоэлектриков – веществ с аномально высокой диалектрической проницаемостью. К ним относиться сегнетовая соль, кварц, турмалин, титанат бария и некоторые другие вещества.

Самая высокая пьезоэлектрическая постоянная у сегнетовой соли ($C_4H_4O_6KNa$): $K_{пэ}=300\cdot10^{-12}$ Кл/Н; у титана бария ($BaTiO_3$) $K_{пэ}= 100\cdot10^{-12}$ Кл/Н; у кварца $K_{пэ}=2{,}1\cdot10^{-12}$ Кл/Н.

Основные свойства пьезоэлектрических датчиков рассмотрим на примере кварца. Кристалл кварц имеет главную оптическую ось *z*, нейтральную или механическую ось *y*, и электрическую ось *x* (рис.3.6). Максимальный пьезоэффект наблюдается при воздействии механических нагрузок вдоль

электрической оси *x*, поэтому пластины для пьезопреобразователей вырезают из кристаллов кварца перпендикулярно оси *x*.

Возникновение пьезоэффекта объясняется тем, что под действием механических сил происходит смещение электрических зарядов – одна область кристалла заряжается положительно, другая – отрицательно.

Достоинства преобразователей этого вида: безынерционность, линейная статическая характеристика, высокая собственная частота, малые габариты; недостатки: утечка зарядов с течением времени, необходимость гидроизоляции.

Применяются пьезопреобразователи для измерения динамических нагрузок, деформаций, перемещений.

В геофизической аппаратуре пьезопреобразователи используются в качестве приемников упругих колебаний в скважинных приборах акустического каротажа (СПАК-2, СПАК-4, СПАК-6 и др.). Такой пьезоэлектрический сейсмоприемник изготавливается в виде полой сферы из пьезокерамики, внутренняя и внешняя поверхности которой имеют серебряное покрытие для облегчения снятия с них электрических зарядов. От промывочной жидкости в скважине сейсмоприемник отделен слоем резины [2,17].

В полевой геофизике существует сейсмоэлектрический метод разведки, который заключается в возбуждении с помощью взрыва пьезоэффекта на кристаллах естественных пьезоэлектриков в условиях их коренного залегания и в измерении этого эффекта с помощью системы электродов [3].

В быту пьезопреобразователи используются в качестве звукоснимателей в электропроигрывателях, в зажигалках для газовых плит (прямой пьезоэффект), в звукоизлучателях электронных часов и ПЭВМ (обратный пьезоэффект) [22].

3.4. Преобразователи термоэ.д.с.

Преобразователи этого вида основаны на термоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что в цепи из двух разнородных проводников при

поддержании разных температур в точках их соединения возникает э.д.с., пропорциональная разнице этих температур (эффект Зеебека) [22].

Термоэлектрические преобразователи называют термопарами а проводники А и В, из которых они состоят – термоэлементами (рис. 3.7).

Один **чувствительный спай** термоэлементов подвергают воздействию измеряемой температуры, температуру другого, **опорного**, поддерживают постоянной.

Чувствительность термопреобразователей составляет от 5 до 60 мкВ/К.

Наибольшую чувствительность имеют термопары, составленные из двух полупроводников с различной (электронной и дырочной) природой проводимости.

Достоинства термопреобразователей: отсутствие источников питания, линейная статическая характеристика, большой диапазон измеряемых температур; недостаток: малая мощность сигнала отдельной термопары.

В геофизике используются металлические термопреобразователи в качестве термометров для исследования скважин на месторождениях парогидротерм, полупроводниковые – в качестве датчиков в полевой терморазведке.

В технике термопары используются в системах автоматического регулирования температуры в различных металлургических процессах. В годы Великой Отечественной войны выпускались батареи полупроводниковых термопреобразователей, которые надевались на стекло керосиновой лампы и вырабатывали электроэнергию, достаточную для питания лампового приемника или рации.

3.5. Преобразователи фотоэ.д.с.

В этих преобразователях используются два полупроводника с разным характером проводимости (рис. 3.8, а). На их контакте происходит взаимная

диффузия электронов в *p*-полупроводник, дырок – в *n*-полупроводник. Дырки рекомбинируют с электронами, в результате на контакте полупроводников образуется тонкий запирающий слой – «*p*-*n*-переход». Такие преобразователи могут работать в режиме источника тока и фотодиода.

При отсутствии светового облучения через такой преобразователь проходит очень небольшой, так называемый «темновой ток», соответствующий обратному току диода. При световом облучении *p*-*n* -перехода кванты света образуют добавочные носители тока.

Под действием разности потенциалов потенциального барьера *p*-*n*-перехода электроны перемещаются в зону *n*-полупроводника, а дырки – в зону *p*-полупроводника, создавая фотоэ.д.с., на выводах прибора. На рис. 3.8, а электроны и дырки, прошедшие через *p*-*n*-переход в результате диффузии и создавшие потенциальный барьер *p*-*n*-перехода, условно обозначены как «+» и «-» без кружочков. Добавочные дырки и электроны, возникшие под действием облучения, показаны как «+» и «-» в кружочках. Стрелками показано направление действующих на них сил поля *p*-*n*-перехода.

На рис. 3.8, б показан разрез германиевого фотодиода, состоящего из пластины германия 1 с проводимостью *n*-типа, которая сплавлена с индием 2 (проводимость *p*-типа). Толщина слоя германия над индием настолько мала, что кванты света свободно проникают через него в зону *p*-*n*-перехода. Корпус 3 выполнен из оргстекла и залит компаундом 4.

Спектральные характеристики фотопреобразователей зависят от используемых в них материалов.

Интегральная чувствительность германиевых фотопреобразователей имеет наибольшее значение $K_{диф}=\Delta I/\Delta Ф=20$ мА/лм. Э.д.с. фотогенераторов не превышает 0,12-0,5 В.

Преобразователи фотоэ.д.с. изготавливаются из кремния, селена, сернистого таллия и сернистого серебра. Достоинством селеновых фотопреобра-

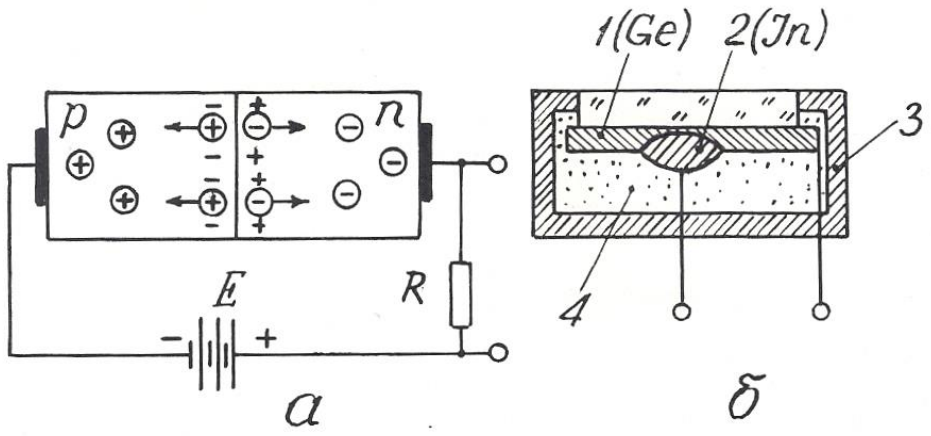


Рис. 3.8. Преобразователь фотоэ.д.с.: принцип действия (а) и конструкция (б)

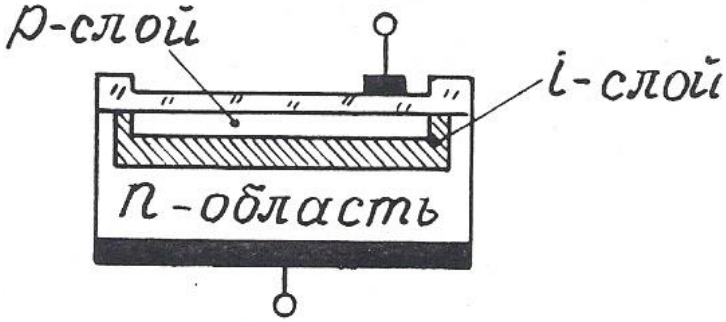


Рис. 3.9. Структура *pin*-диода

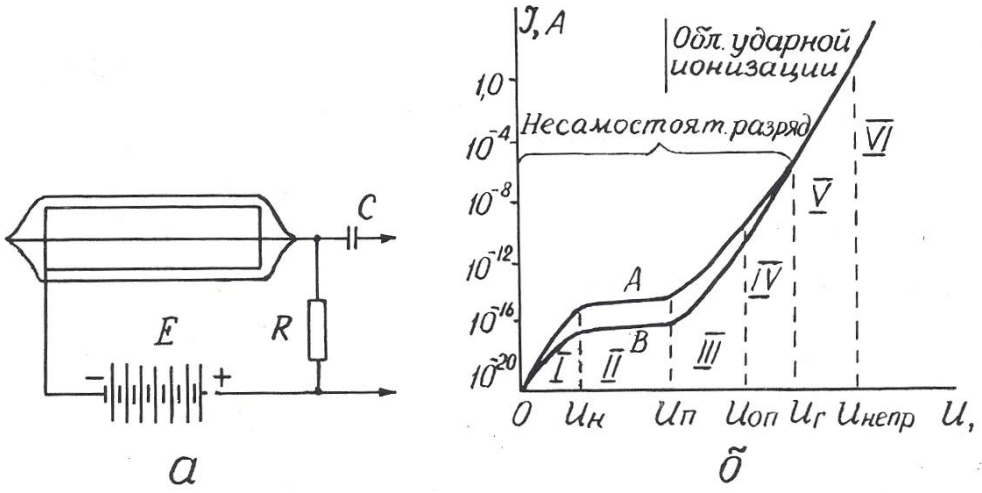


Рис. 4.1. Устройство газоразрядного счетчика (а) и его вольт-амперная характеристика (б):
А – β-частица; В – γ-квант

зователей является их спектральная чувствительность, близкая к чувствительности человеческого глаза.

Для увеличения количества дополнительных носителей, образующихся в *p*-*n*-переходе под действием светового облучения, между *p* и *n*-полупроводниками располагают дополнительный слой нелегированного высокоомного кремния (*i*-слой) – рис. 3.9. Такие фотоэлектрические приборы носят название *pin*-диодов. Область применения их в геофизической аппаратуре та же, что и фоторезистивных датчиков (см. раздел 2.1.7).

Контрольные вопросы

1. Назовите основные характеристики преобразователей индукционной э.д.с., их разновидности и приведите примеры их применения в технике и геофизической аппаратуре (ГА).

2. Поясните принцип действия датчика Холла и объясните его устройство (рис. 3.4, а).

3. Поясните принцип действия и устройство датчика Виганда (рис. 3.5).

4. Поясните принцип действия преобразователей пъезоэ.д.с. и приведите примеры их применения в ГА.

5. Поясните принцип действия преобразователей термоэ.д.с. и приведите примеры их применения в технике и ГА.

6. Поясните принцип действия преобразователей фотоэ.д.с. и приведите примеры их применения.

4. РАДИАЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

В настоящем пособии будут рассмотрены только те радиационные преобразователи, которые преобразуют энергию ядерного излучения в электрический сигнал. Эти преобразователи называются также детекторами радиоактивных излучений. Они бывают трех видов: газоразрядные, сцинтилляционные и полупроводниковые.

4.1. Газоразрядные детекторы

В газоразрядном детекторе происходит непосредственное преобразование энергии радиоактивного излучения в электрические импульсы.

Газоразрядный детектор представляет собой металлический цилиндр, по оси которого натянута тонкая металлическая нить. Цилиндр играет роль катода и подключается к «минусу» источника постоянного напряжения, нить (анод) – к «плюсу». И нить, и цилиндр могут быть помещены в стеклянный баллон (рис. 4.1, а). Полость детектора заполнена газом под низким давлением (примерно – $1{,}5 \cdot 10^4$ Па). При прохождении через детектор нейтроны и гамма-кванты взаимодействуют с атомами вещества его катода и газового наполнителя, вызывая ионизацию газа и, как следствие, прохождение кратковременного импульса тока, сила I которого зависит от напряжения U между электродами. При схеме включения детектора, изображенной на рис. 4.1, а, на нагрузочном сопротивлении R импульс тока создает отрицательный импульс напряжения, который через разделительный конденсатор C подается на усилительно-регистрирующую схему [13].

Зависимость $I=f(U)$ или вольт-амперная характеристика счетчика приведена на рис. 4.1, б. В ней выделяются шесть областей, отличающихся по механизму переноса ионов в электрическом поле счетчика. В области I при малых напряжениях на электродах ток возрастает пропорционально напряжению, т.к. с ростом напряжения уменьшается количество рекомбинирующихся ионов и все большее их количество достигает электродов счетчика. Эта область (от 0 до $U_н$) называется **омической**. Начиная с некоторого значения $U_н$, ток достигает насыщения (все ионы долетают до анода и катода) и перестает возрастать. Величина ионизационного тока во II области (от $U_н$ до $U_п$) определяется только количеством ионов, образующихся в единицу времени. Преобразователи, работающие в этой области, носят название **ионизационных камер**. При дальнейшем, свыше $U_п$ росте напряжения, несмотря на постоянство

начальной ионизации, происходит рост тока в импульсе. Это связано с возникновением ударной ионизации, при которой электроны, образующиеся при первоначальном воздействии радиации, ускоряются электрическим полем счетчика настолько, что начинают ионизировать молекулы газового наполнителя. Отношение числа ионов, достигших анода счетчика, к числу первичных ионов, созданных регистрируемой частицей (или гамма-квантом), называется **коэффициентом газового усиления**. Величина его зависит от приложенного напряжения.

С возникновением ударной ионизации вначале ток возрастает пропорционально напряжению на электродах (область пропорциональности III от $U_{\text{п}}$ до $U_{\text{оп}}$), здесь отмечается относительно невысокий коэффициент газового усиления (до 10^4), а при дальнейшем увеличении U пропорциональность нарушается и от $U_{\text{оп}}$ до $U_{\text{г}}$ следует IV область – **ограниченной пропорциональности**. За ней идет область Гейгера (V), в которой амплитуда импульса не зависит от начальной ионизации. Коэффициент газового усиления достигает 10^8-10^9 и продолжает увеличиваться с ростом напряжения. За областью Гейгера следует область **непрерывного разряда** (VI), для возникновения которого не нужна первичная ионизация, достаточно к электродам счетчика приложить напряжение, превышающее $U_{\text{непр}}$.

Области V и VI – это области самостоятельного разряда, который не требует для своего поддержания внешних источников ионизации.

Газоразрядные детекторы, применяемые в геофизической аппаратуре, работают либо в пропорциональной области (пропорциональные счетчики), либо в области Гейгера (счетчики Гейгера-Мюллера).

Пропорциональные счетчики используются для измерения плотности потока тепловых нейтронов. Баллон счетчика заполняется трехфтористым бором (BF_3), обогащенным до 96 % изотопом B-10, имеющим большое сечение захвата тепловых нейтронов. При захвате нейтрона происходит реакция B (n,α) Li, α – частица производит первичную ионизацию в объеме счетчика. Для

измерений нейтронов надтепловых энергий счетчик окружают сначала слоем водородсодержащего вещества, например, парафина, а затем тонким (около 0,5 мм) слоем кадмия. Кадмий поглощает тепловые нейтроны, а надтепловые в парафине замедляются до тепловых энергий и затем фиксируются счетчиком.

Счетчик Гейгера-Мюллера применяется для регистрации гамма-квантов. Он заполняется инертным газом (аргоном или гелием) с добавкой паров высокомолекулярных органических соединений (этилового спирта или этилового эфира) или галогенов (хлора, брома). Такая добавка способствует гашению непрерывного разряда, т.к, положительные ионы, образовавшиеся из молекул инертного газа, нейтрализуются при столкновениях с молекулами высокомолекулярного соединения или галогена и не вызывают вторичной электронной эмиссии с катода.

После регистрации каждой ионизирующей частицы газоразрядный счетчик не способен в течение некоторого «мертвого времени» $\tau_м$ (порядка 10^{-4} с) отмечать попадание следующей частицы или реагирует на нее образованием импульса пониженной амплитуды («время восстановления» – $\tau_в$). Величина «мертвого времени» и «времени восстановления» определяет разрешающую способность и эффективность преобразователя.

Разрешающей способностью преобразователя называют максимальное количество ионизирующих частиц N_{max}, которые могут быть уверенно зафиксированы преобразователем $N_{max}=I/(\tau_м+\tau_в)$.

Под **эффективностью счетчика** понимают отношение числа частиц, зарегистрированных счетчиком, к общему числу частиц, прошедших через объем счетчика. Эффективность газоразрядных счетчиков зависит от их конструкции, размеров и материала катода и обычно не превышает нескольких процентов.

Основной рабочей характеристикой газоразрядного преобразователя является его **счетная характеристика** – зависимость числа импульсов на его выходе от напряжения на электродах при постоянной интенсивности

ионизирующего облучения (рис. 4.2). Участок *ав* в пределах которого выбирается рабочее напряжение счетчика $U_{раб}$, называется **плато**. Протяженность плато составляет от 200 до 300 В, а наклон – от 3 до 15 % на 100 В.

Достоинства газоразрядных детекторов: большая амплитуда сигнала, малая потребляемая мощность, широкий температурный диапазон; недостатки: потребность в источнике питания с высоким напряжением, ограниченный ресурс, для счетчиков Гейгера-Мюллера – независимость амплитуды выходного сигнала от энергии ионизирующего излучения.

Газоразрядные счетчики очень широко применялись во всех разновидностях геофизических радиометров: полевых, каротажных, автомобильных и самолетных [3,12]. В последнее время они в значительной мере вытеснены более эффективными сцинтилляционными детекторами.

4.2 Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционный радиационный преобразователь (рис. 4.3) состоит из люминофора 1 (оптически прозрачного вещества, люминесцирущего под действием ядерного излучения), и фотоэлектронного умножителя 2 (ФЭУ).

В результате действия попавшей в сцинтиллятор элементарной частицы (или гамма-кванта) часть атомов сцинтиллятора переходит в возбужденное состояние. Обратный переход их в нормальное состояние сопровождается кратковременной (порядка 10^{-7}-10^{-9}с) световой вспышкой. Фотоны света преобразуются в электрический сигнал с помощью ФЭУ, который представляет собой комбинацию фотоэлемента с электронным усилителем. Фотоны из сцинтиллятора 1 выбивают из фотокатода ФЭУ 3 электроны, которые под действием электрического поля устремляются к ближнему диноду 4, имеющему положительный потенциал. Вследствие вторичной электронной

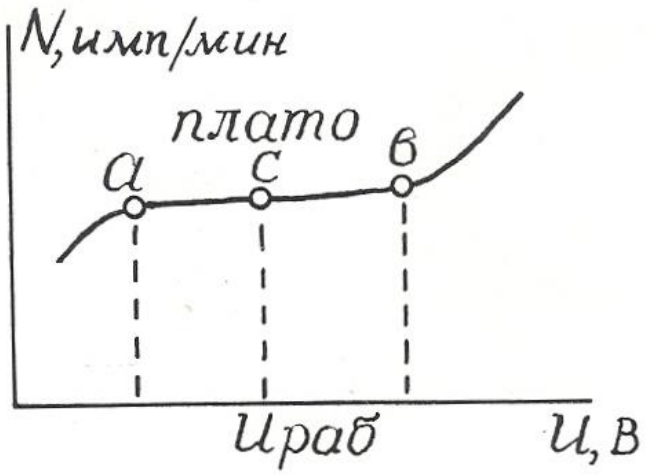


Рис. 4.2. Счетная характеристика газоразрядного счетчика Гейгера – Мюллера

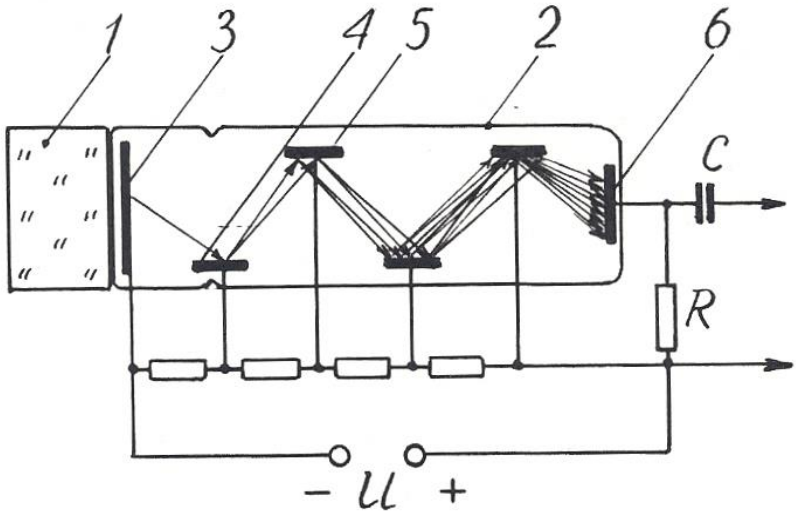


Рис. 4.3. Устройство сцинтилляционного преобразователя: 1 – кристалл-сцинтиллятор; 2 – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ); 3 – фотокатод; 4 – первый динод; 5 – второй динод; 6 – анод (ФЭУ)

эмиссии каждый электрон "выбивает из динода вторичные электроны, которые притягиваются следующим динодом 5, имеющим более высокий потенциал, и также вызывают вторичную электронную эмиссию. Процесс развивается лавинообразно, в результате попаданию каждой ионизирующей частицы в кристалл-сцинтиллятор соответствует прохождение импульса тока между анодом 6 и катодом 1 ФЭУ, причем амплитуда этого импульса пропорциональна энергии ионизирующей частицы.

Эффективность сцинтилляционных детекторов намного выше, чем у газоразрядных, и достигает 20 %.

В качестве сцинтилляторов для регистрации гамма-квантов в геофизический аппаратуре используют монокристаллы соединений NaI, CsI, KI, активированных таллием (Tl), а для регистрации нейтронов – кристаллы сернистого цинка ZnS с добавками серебра или меди. Примесь активатора (Tl, Ag, Cu) в люминофоре способствует созданию в решетках кристаллов-сцинтилляторов дополнительных центров люминесценции [13].

Счетная характеристика сцинтилляционных преобразователей имеет плато очень небольшой протяженности, вследствие чего эти преобразователи требуют питания высокостабилизированным напряжением.

Преимущества сцинтилляционных преобразователей перед газоразрядными: высокая эффективность, большая разрешающая способность, зависимость амплитуды выходного сигнала от энергии ионизирующего излучения, что позволяет изучать энергетический спектр последнего.

Эти преимущества обеспечивают широкое распространение детекторов этого вида в разнообразных радиометрах: полевых (СРП-68-02), скважинных (ДРСТ-3, Кура-2м и др.), самолетных (АСГМ-46 и др.).

К недостаткам сцинтилляционных детекторов можно отнести низкую термостойкость и термостабильность, что требует их термостатирования в скважинных радиометрах [9].

4.3. Полупроводниковые детекторы

Полупроводниковые детекторы (ППД) устроены и действуют совершенно аналогично преобразователям фотоэ.д.с., рассмотренным в разделе 3.5. Отличие заключается только в том, что в ППД образование свободных носителей в зоне *p*-*n*-перехода происходит за счет действия не фотонов света, а ионизирующего ядерного излучения.

Амплитуда импульса на выходе ППД пропорциональна числу носителей зарядов, образованных ионизирующей частицей, а следовательно, ее энергии, что дает возможность изучать энергетический спектр излучения.

Для создания *i*-слоя в ППД используют литий, обладающий высоким коэффициентом диффузии, который добавляют в торец полупроводника с *p*-проводимостью.

Преимущества полупроводниковых детекторов: экономичность питания, весьма малые размеры и хорошее амплитудное разрешение (в 20-30 раз лучше, чем у сцинтилляционных преобразователей).

Однако их распространение ограничено. Это связано, во-первых, со сравнительно небольшими размерами чувствительной части детектора, и во-вторых, с необходимостью охлаждения детектора до низких температур (от -100 до -196^0), которое повышает их эффективность.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют преобразователи ядерных излучений в электрический сигнал?

2. Объясните устройство газоразрядного преобразователя.

3. Объясните вольт-амперную характеристику (рис. 4.1, б) газоразрядного детектора.

4. Чем отличаются счетчики Гейгера-Мюллера от пропорциональных счетчиков?

5. Объясните устройство и работу сцинтилляционного детектора.

6. Назовите преимущества сцинтилляционных детекторов перед газоразрядными.

7. Объясните устройство и работу полупроводникового детектора, укажите его достоинства и недостатки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алиев Т. М., Тер-Хачатуров А. А*. Измерительная техника: Учебн. пособие для техн. вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 384 с.

2. *Аппаратура и оборудование для геофизических исследований нефтяных и газовых скважин:* Справочник /А. А.Молчанов, В. В. Лаптев, В. М. Моисеев, Р. С.Челокьян. – М.: Недра, 1987. – 263 с.

3. *Бондаренко В. М., Демура Г. В., Ларионов А. М.* Общий курс геофизических методов разведки: Учебн. пособие для техникумов. – П.*:* Недра, 1986. – 453 с.

4. *Бриндли К*. Измерительные преобразователи: Справочное пособие / Пер.с англ. – М.:Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.

5. *Бухгольц В. П*. Датчики и реле автоматического контроля в горной промышленности. – М.: Недра, 1971. – 224 с.

6. *Виглеб Г*. Датчики / Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 196 с.

7. *Енохович А. С*. Краткий справочник по физике. – М.: Высшая школа, 1976. – 288 с.

8. *Зачиевский Т., Мальзахер С., Квецинский А*. Промышленная электроника / Пер.с польского. – М.; Энергия, 1976. – 640 с.

9. *Зельцман П. А*. Конструирование аппаратуры для геофизических исследований скважин. – М.: Недра, 1968. – 180 с.

10. *Зимодро А. Ф., Скибинский Г. Л.* Основы автоматики. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.

11. *Квартин М. И.* Электромеханические и магнитные устройства автоматики и их расчет. – М.: Высшая школа, 1973. – 344 с.

12. *Кривко Н. Н., Шароварин В. Д., Широков В. Н.* Промыслово-геофизическая аппаратура и оборудование: Учебн. пособие для вузов. – М.: Недра, 1981. – 280 с.

13. *Ларионов В. В*. Радиометрия скважин. – М.: Недра, 1969. – 327 с.

14. *Левшина Е. С., Новицкий П. В*. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. – Л.: Энергоатомиздат, 1983.

15. *Литвак В. И.* Тензореле. Расчет, конструирование, применение. – М.: Машиностроение, 1989. – 160 с.

16. *Логинов В. И.* Электрические измерения механических величин / Изд. 2-е, доп. – М.: Энергия, 1976. – 104 с.

17. *Померанц Л. И., Белоконь Д. В., Козяр В. Ф.* Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин: Учебн. пособие для техникумов. – М.: Недра, 1985. – 271 с.

18. *Сковородников И. Г., Калашников В. Н.* Дистанционный уровнемер для испытательных скважин // Геофизическая аппаратура. Вып.89. – Недра, 1988. – С. 98-103.

19. *Сковородников И. Г., Макаров Л. В., Калашников В. Н.* Газожидкостный расходомер РГЖ-Г: Техническое описание. – Свердловск: СГИ, 1988. – 15 с.

20. *Сковородников И. Г., Макаров Л. В., Калашников В. Н.* Изучение скорости и направления движения подземых вод // Гидрогеология и инж. геология: Обзор / ВНИИ экон. минер. сырья и геологоразв. работ. – М.,1987. – 33 с.

21. *Сковородников И. Г., Макаров Л. В., Калашников В. Н.* Скважинные тахометрические расходомеры / СГИ. – Свердловск, 1989. – 65 с. – Деп. в ВИНИТИ, №7609-В89, 1989.

22. *Справочник по средствам автоматики* / Под ред. В. Э. Низэ, И.В.Антика. – М.: Энергоиздат, 1983. – 504 с.

23. *Электрические измерения неэлектрических величин* / А. М. Туричин, П. В. Новицкий, Е. С. Левшина и др.; Изд. 5-е, перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1975. – 676 с.

24. А. с. 491895. Зонд для измерения направления и скорости движения грунтовых вод /Б. Н. Халтурин, В. С. Лившиц // Бюл. изобр. – 1975, №42.

25. А. с. 1063990. Емкостной датчик зенитного угла / О. В.Фомин // Бюл. изобр. – 1983, № 48.

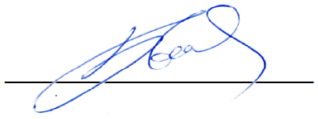
26. А. с. 1158750. Скважинный уровнемер (его варианты) / В. Н. Калашников, И. Г.Сковородников // Бюл. изобр. – 1985, № .20.

27. А. с. 1509518. Датчик угла наклона буровой скважины / А. В. Давыдов, И. Г. Сковородников // Бюл. изобр. – 1989, № 35.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
факультета геологии и геофизики УГГУ
«20» марта 2020 г.
Председатель комиссии



_____ проф. В.И. Бондарев

Виноградов В.Б.

ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург
2020

В пособии описаны практические работы по дисциплине «Геометризация и анализ физических полей. Учебным планом предусмотрено проведение занятий по 3 разделам курса:

- аналитическое описание геологических поверхностей и физических полей,
- подсчет ресурсов,
- анализ физических полей.

Половина из них проводится в компьютерном классе кафедры геофизики с применением математических пакетов для расчетов.

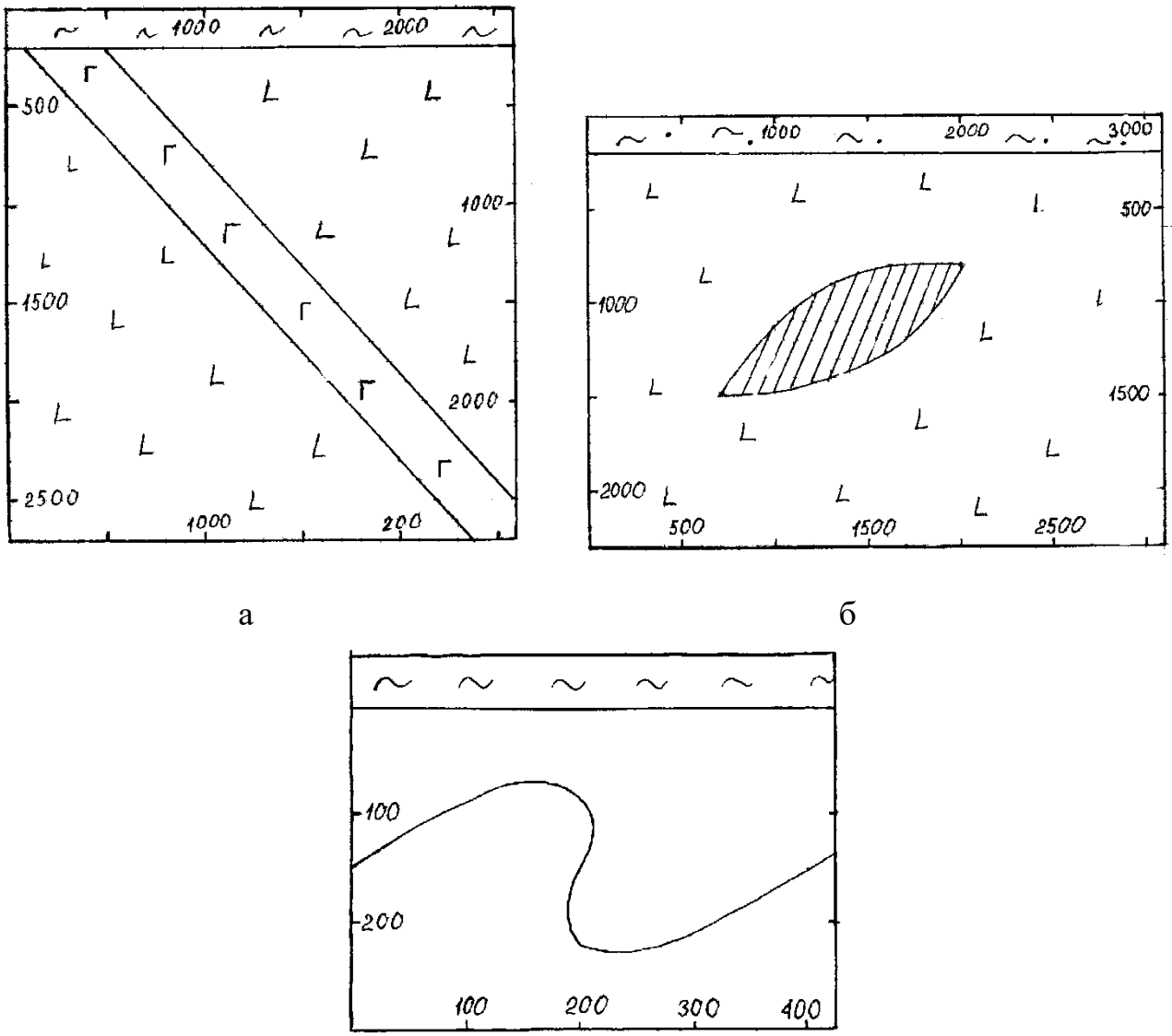
Практическое занятие №1 Описание поверхностей геологических объектов

Цель работы: Составить аналитическое описание геометрии геологического разреза.

1) Для представленного разреза (см. рис. 1а) составить линейные уравнения $z=ax+b$, описывающие поверхности дайки порфиритов.

2) Для локального геологического объекта (батолита, лакколита и т.д.) составить уравнения полиномов второго порядка $z=ax^2+bx+c$, описывающие его нижнюю и верхнюю поверхности.

3) Составить параметрические уравнения $x=t+asint$, $z=bsint$, описывающее поверхность складки (рис. 1в).



а б

в

Рис. 1 Примеры поверхностей, предлагаемых в качестве задания

Результаты работы представить в виде разреза, уравнений и неравенств для параметров уравнений.

Рис. 2 Образец оформления работы

Практическое занятие № 2 Описание геологической поверхности кубическими сплайнами (4 часа)

Для заданных результатов измерений построить кубические сплайн-функции 1, 2, и 3 порядка.

Таблица 1 Варианты работ

Вариант	X	Y	Вариант	X	Y	Вариант	X	Y	Вариант	X	Y
1	1	4,2	3	0	2,2	5	1	2,4	7	0	3,2
	2	4,2		1	2,3		2	2,7		1	4,3
	3	5,2		2	3,0		3	2,5		2	3,0
	4	4,0		3	3,0		4	0,4		3	1,0
	5	5,3		4	2,0		5	3,5		4	2,2
2	0	5,0	4	0	5,5	6	0	4,0	8	0	7,5
	1	4,5		1	1,0		1	4,9		1	3,0
	2	4,7		2	0,5		2	4,7		2	4,5
	3	1,7		3	1,0		3	5,7		3	2,0
	4	2,3		4	0,5		4	3,3		4	0,9
9	1	6,3	10	1	7,2	11	1	3,3	12	1	2,5
	2	6,8		2	5,5		2	5,6		2	3,3
	3	7,1		3	3,2		3	6,7		3	2,8
	4	7,1		4	3,0		4	6,8		4	3,1
	5	6,5		5	3,5		5	6,7		5	2,3

Для своего варианта составьте СЛАУ для определения коэффициентов кубического сплайна. СЛАУ представьте в виде двух матриц A(16,16) и B(16,1). Матричное уравнение решите с помощью пакета MathCad (процедура) lsolve(A,*B*), Оцените погрешность решения вычислив число обусловленности матрицы cond(A) с помощью того же пакета. Расчет интерполирующих функций провести с шагом 0,25. Построить графики. Составить отчет

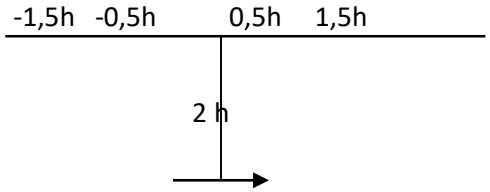
Практическое занятие № 3 АНАЛИТИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ (4 часа)

	h	Dx	1 мВ	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.5	1	-20	0	20	45	80	115	160	200	219	175
2	1	2	35	60	72	100	125	170	210	210	210	160
3	2	4	-4	-2	0	5	10	15	25	25	30	37
4	1	1	15	30	41	40	27	15	5	0	-2	-3
5	1	2	-2	-6	-10	-13	-14	-4	6	18	20	18
6	1	4	-6	-10	-12	-14	-6	0	10	18	19	18
7	2	1	4.25	4.5	4.7	4.9	5.25	5.3	5.2	4.6	3.8	3
8	1	2	3	3	3	4.1	0	-3	-5	-12	-18	-20
9	0.5	4	10	20	42	39	25	-5	-40	-70	-80	-110
10	0.2	1	-170	-175	-170	-150	-125	-110	-95	-70	-30	-5
11	0.4	2	25	21	15	8	0	-8	-15	-17	-12	-8
12	2	4	0	2	13	5	7	10	0	0	1	1
13	2	1	10	20	30	42	55	70	90	105	107	103
14	1	2	0	2	4	6	10	20	20	12	-1	4
15	2	4	175	150	115	50	20	22	20	30	25	40
16	0.5	1	-2	-10	-20	-27	-40	-60	-80	-80	-30	5
17	0.4	2	-100	-180	-200	-350	-400	-600	-900	-600	-250	-100
18	0.5	4	30	130	120	60	0	-40	-120	-200	-130	-85
19	2	5	118	40	-45	-120	-170	-130	-80	40	120	110
20	0.5	2	100	102	101	0	-150	-400	-350	-100	-85	-40

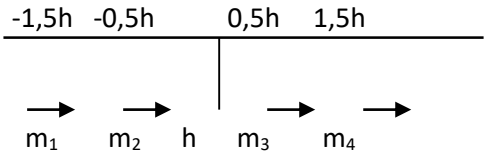
Пример выполнения работы.

«Аналитические модели поля»

Исходная модель:



Проверяемая модель:



Расчетные формулы:

$$Z_в = 100M\frac{2h^2 - x^2}{(h^2 + x^2)^{\frac{5}{2}}} \qquad Z_г = -300M\frac{hx}{(h^2 + x^2)^{\frac{5}{2}}}$$

Рассчитанная матрица:

$$A := \begin{pmatrix} 0 & 0.1768 & 0.0179 & 0.003 \\ -0.1768 & 0 & 0.1768 & 0.0179 \\ -0.0179 & -0.1768 & 0 & 0.1768 \\ -0.003 & -0.0179 & -0.1768 & 0 \end{pmatrix} \qquad B := \begin{pmatrix} 0.0307 \\ 0.0269 \\ -0.0269 \\ -0.0307 \end{pmatrix}$$

$$\mathrm{lsolve}(A,B) = \begin{pmatrix} 6.048\times 10^{-3} \\ 0.158 \\ 0.158 \\ 6.048\times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

Решение:

$m_1/M = 6{,}048*10^{-3}$

$m_2/M = 0{,}158$

$m_3/M = 0{,}158$

$m_4/M = 6{,}048*10^{-3}$

Рассчитываем число обусловленности:

$\mathrm{cond1}(A) = 4.386$

$\mathrm{cond2}(A) = 2.619$

$\mathrm{conde}(A) = 6.001$

$\mathrm{condi}(A) = 4.386$

По значению conde (A) = 6.001 <10 можно сделать вывод, что решение устойчиво, качество аппроксимации высокое.

Практическое занятие № 4 ПОДСЧЕТ РЕСУРСОВ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Каждый студент получает план изоаномал силы тяжести (рис. 1). Необходимо оценить запасы месторождения.

1Разбить аномальную зону на прямоугольники, в пределах которых силу тяжести можно принять постоянной величине (среднему по площади).

2 Определить среднее значение силы тяжести в каждом прямоугольнике.

3Принять избыточную плотность 1,4 г/см^3 и вычислить ресурсы предполагаемого месторождения меди:

$$Z_в = 100M \frac{2h^2 - x^2}{(h^2 + x^2)^{\frac{5}{2}}}$$

$$M = 1400 * \frac{4{,}80}{1{,}4} 6{,}28 * (6{,}67 * 10^{-11})^{-1} * 10^{-5} \sum \Delta S * \Delta g \ \text{(кг)}$$

$M = M_1 * 10^{-9}$ млн. т руды

$M = M * C_{CU}$

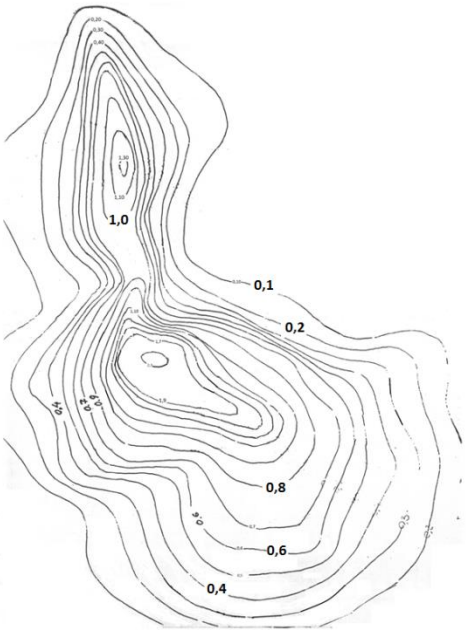


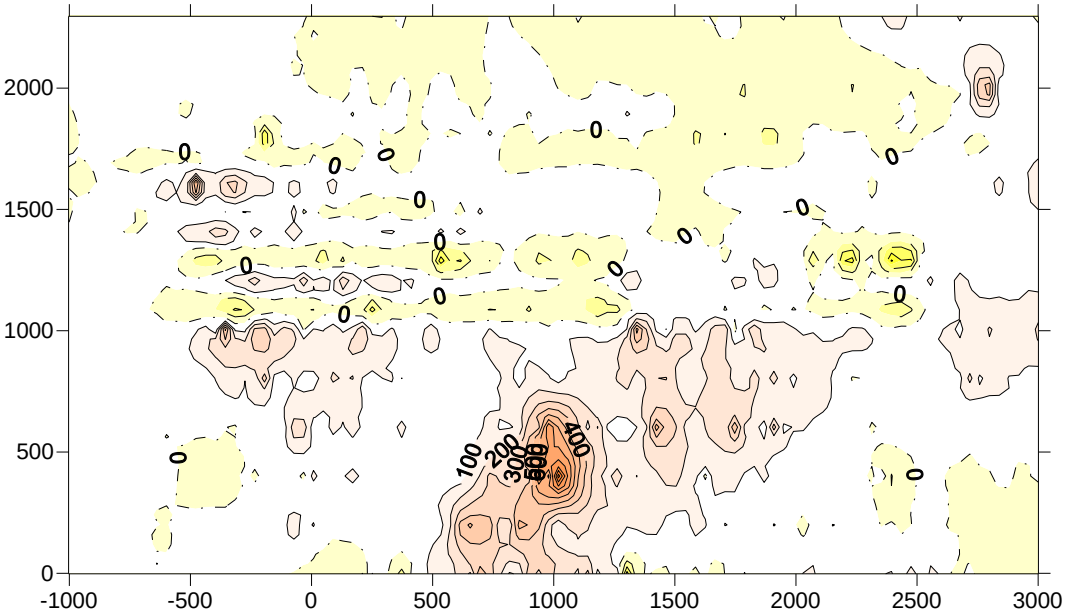
Рис. 1 План изоаномал медноколчеданного месторождения. Избыточная плотность 1,4 г/см^3

Практическое занятие № 5 ВЫДЕЛЕНИЕ РАЗЛОМОВ ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

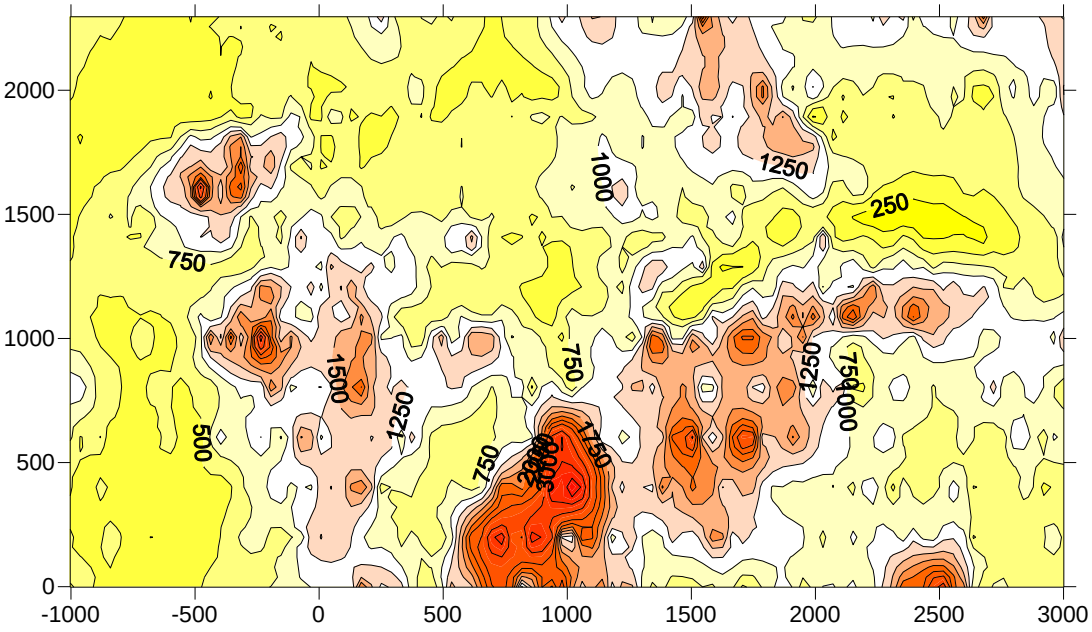
Разломы линейные геологические тела, размеры которых по простиранию во много раз больше чем в крест простиранию. Их выделение на картах полей качественно проводят выделением линеаментов . Для надежного выделения разломов используют несколько геофизических полей.

Разломы выделяют по признакам:

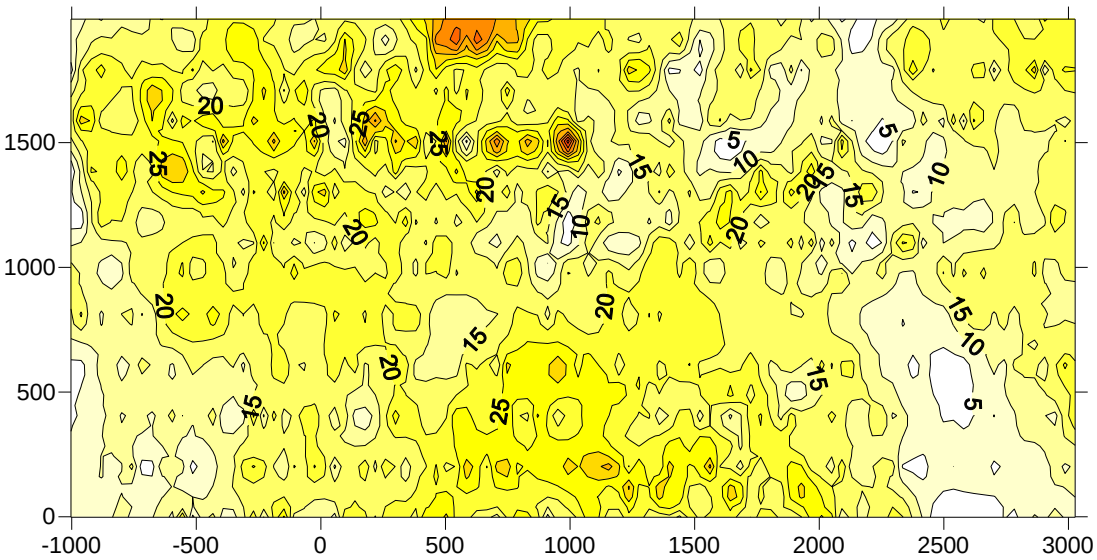
1. Линейные цепочки аномалий.
2. Аномалии типа ступени.
3. Смещение изолиний вдоль некоторой линии.
4. Изменение морфологии аномалий вдоль некоторой прямой.



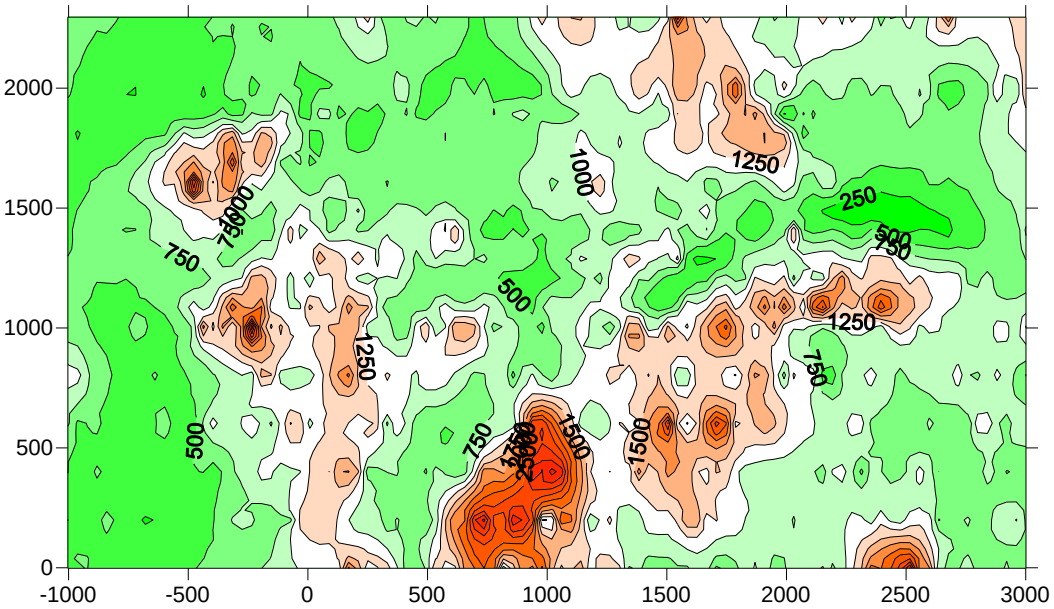
RO2-RO1



Кажущееся сопротивление



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



RO2

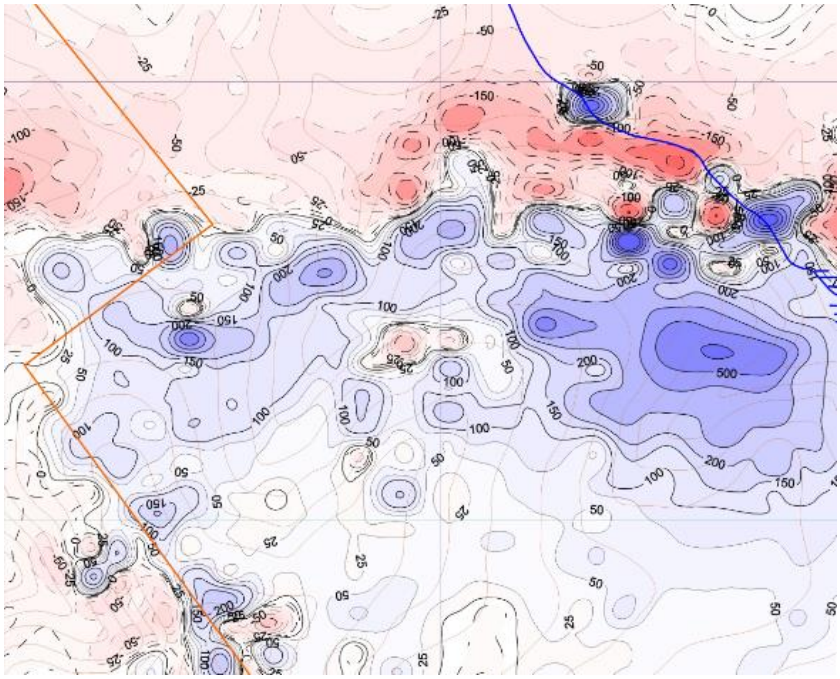
Рис. 1 Пример задания

Практическое занятие № 6 Качеств интерпретация

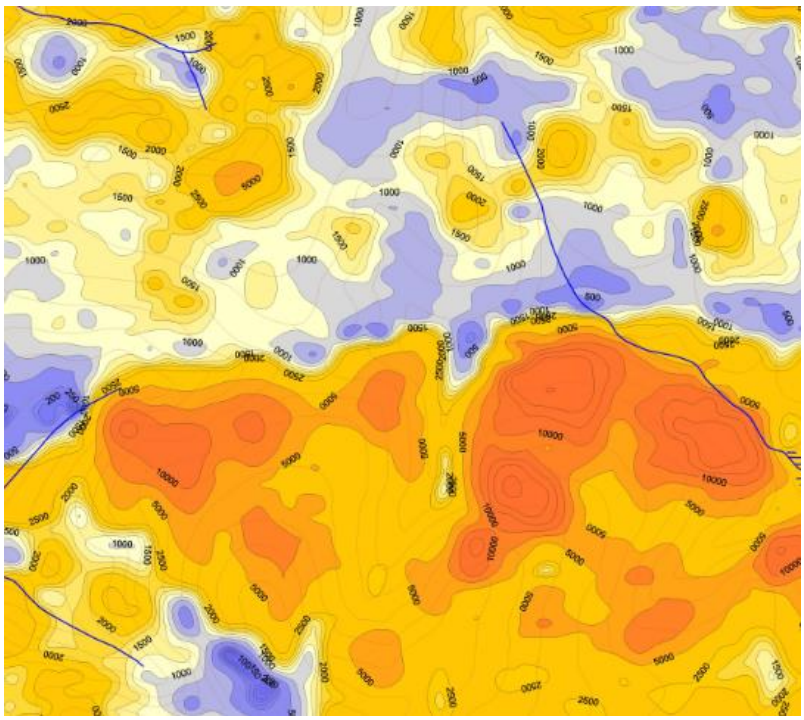
Принципы качественной интерпретации:

Форма аномалии в плане отражает форму тела. Простирание аномалии совпадает с простиранием объекта.

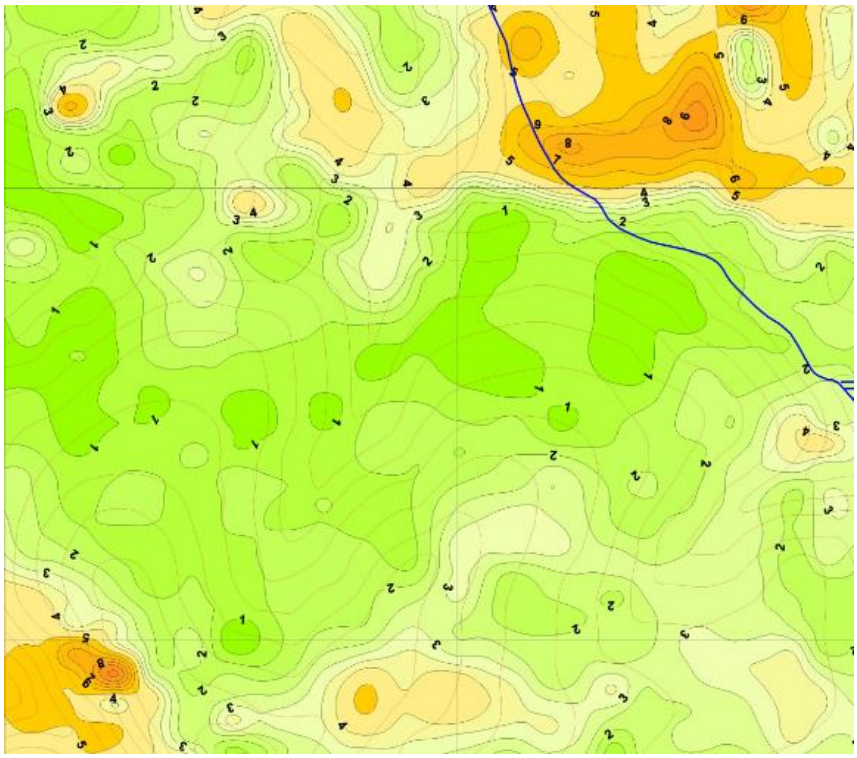
ВАРИАНТ 1



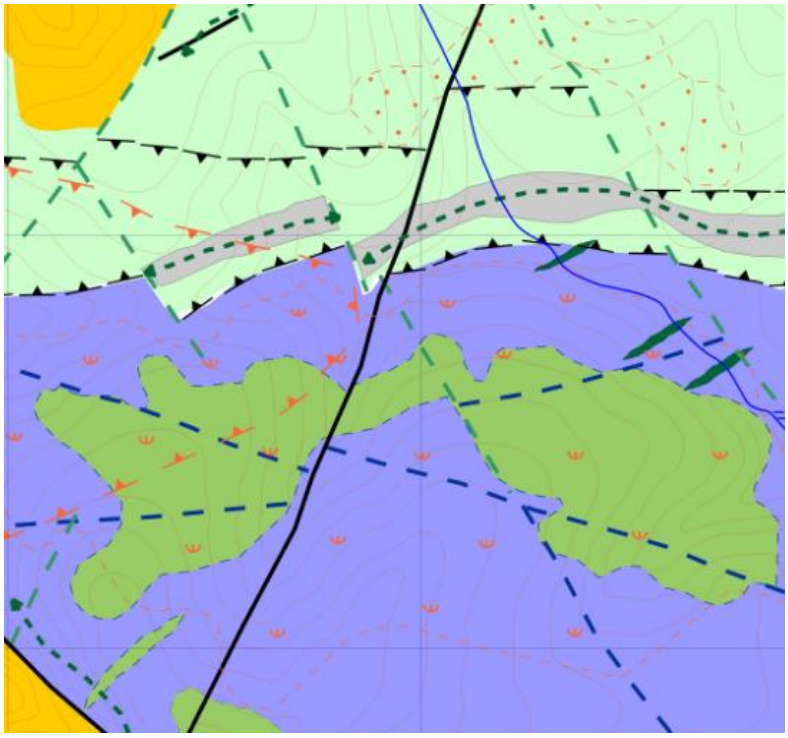
T



КАЖ. СОПР.



ФАЗОВЫЙ УГОЛ (ВП)

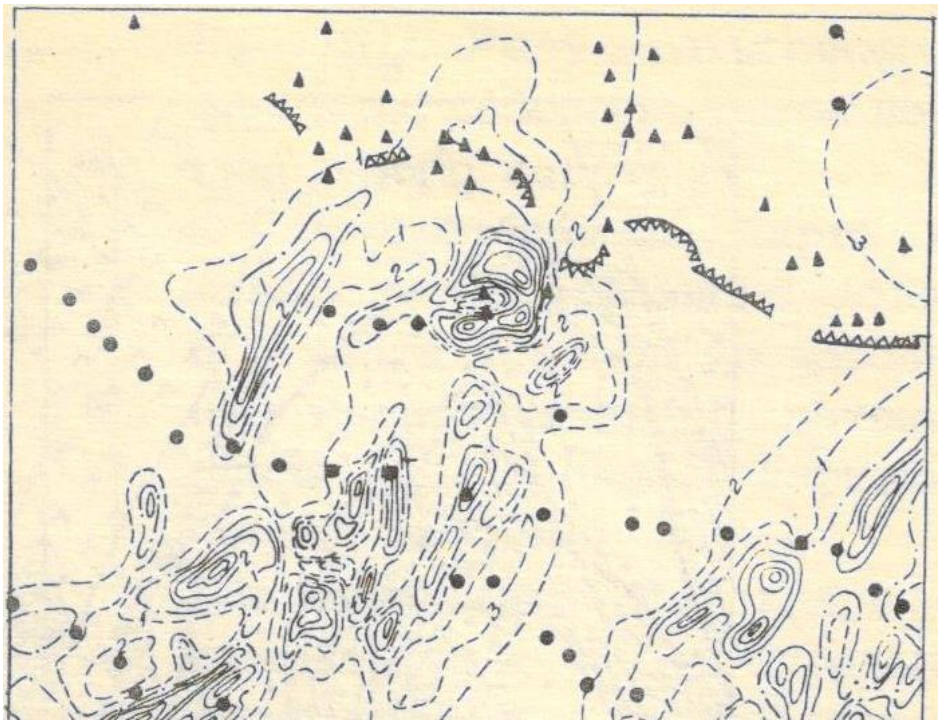


ВАРИАНТ 2

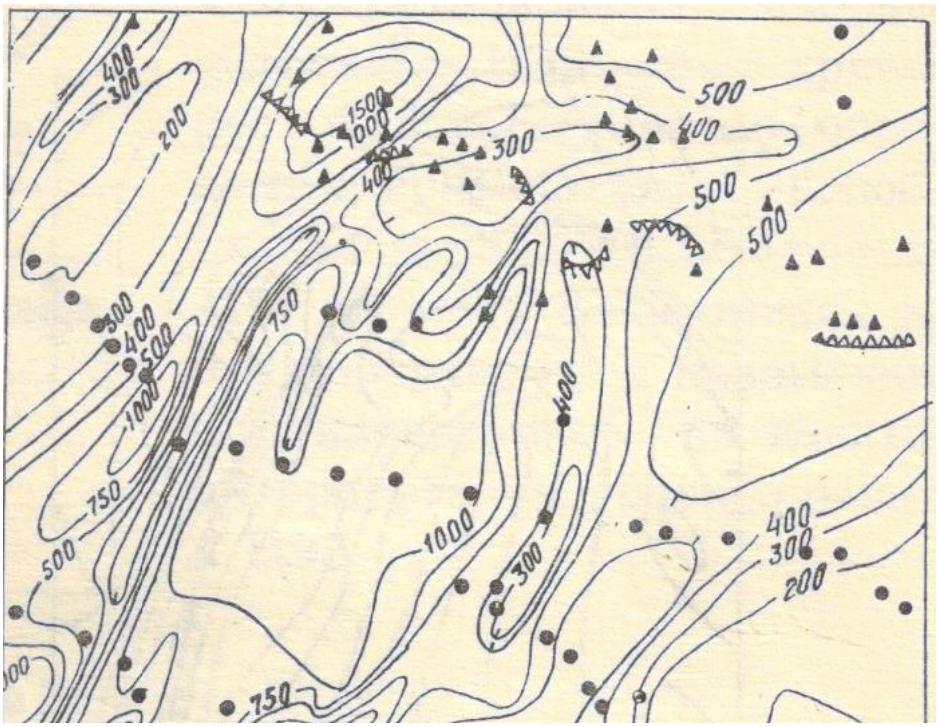
ВЫДЕЛИТЕ ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОРФИРИТОВ АНДЕЗИТОВ СОСТАВА,

ИЗВЕСТНЯКОВ, ПЕСЧАНИКОВ, ТЕКТОНИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ.

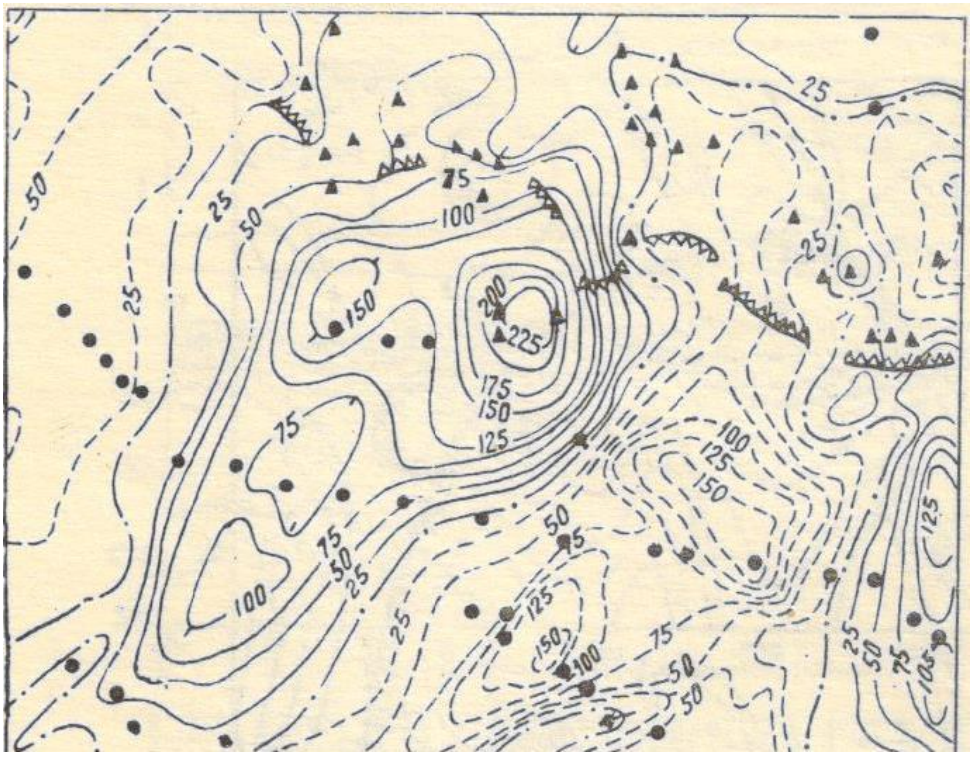
НА КАРТАХ ПОКАЗАНЫ СКВАЖИНЫ И ВЫХОДЫ КОРЕННЫХ ПОРОДАХ



ПЛАН ИЗОДИНАМ



ПЛАН ИЗООМ



ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ

Практическое занятие № 6 КОРРЕЛЯЦИЯ СОДЕРЖАНИЙ ЖЕЛЕЗА И МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТЬЮ

Оцените тесноту линейной взаимосвязи содержания железа в железных рудах Гусевогорского месторождения и их магнитной восприимчивостью.

Коэффициент корреляции, определяемый по выборочным данным, называется **выборочным коэффициентом корреляции.** Он вычисляется по формуле:

$$r = r_{x;y} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Таблица 1

При оценке тесноты связи можно использовать следующую условную таблицу:

Теснота связи	Величина коэффициента корреляции при наличии	
	прямой связи (+)	обратной связи (−)
Связь отсутствует	$r = 0$	$r = 0$
Связь слабая	$0 < r \le 0{,}3$	$-0{,}3 \le r < 0$
Связь умеренная	$0{,}3 < r \le 0{,}7$	$-0{,}7 \le r < -0{,}3$
Связь сильная	$0{,}7 < r < 1$	$-1 < r < -0{,}7$
Полная функциональная	$r = 1$	$r = -1$

Постройте 3 поля корреляции содержаний железа и магнитной восприимчивости. Определите, с какой величиной теснее связана магнитная восприимчивость. Для последней вычислите коэффициент корреляции и в соответствии с таблицей, приведенной выше, сделайте вывод. В отчете приведите графики и результат расчета. Сформулируйте вывод по выполненной работе.

Таблица 2. Содержание железа в руде по скважинам и их магнитная восприимчивость

№ скв	Значения КАРЬЕР-2	Хим. анализ Fe общ.	Хим. анализ Fe маг.	Fe sil	Магнитная восприимчивость
ВАРИАНТ 1					
258	5254	18,2	12,03	6,17	0,007361
245	5249	18,26	12,09	6,17	0,007438
223	5358	15,53	8,96	6,57	0,005791
198	5274	15,58	10,12	5,46	0,007054
165	5261	16,81	10,55	6,26	0,007253
118	5389	12,75	6,53	6,22	0,005334

102	5387	14,9	8,11	6,79	0,005364
44	5495	12,16	5,2	6,96	0,003813
30	5515	11,84	4,76	7,08	0,003533
13	5653	9,23	3,06	6,17	0,001651
108	5426	12,82	6,31	6,51	0,004797
133	5386	14,45	7,77	6,68	0,005378
251	5197	17,32	11,39	5,93	0,008248
241	5174	17,22	12,27	4,95	0,008612
221	5189	16,89	12,12	4,77	0,008374
211	5225	15,88	8,93	6,95	0,007810
117	5167	19,22	14,05	5,17	0,008723
106	5210	17,35	12,4	4,95	0,008044
96	5210	16,8	10,34	6,46	0,008044
86	5243	15,77	9,86	5,91	0,007531
298	5181	15,91	11,23	4,68	0,008501
271	5159	17,46	11,96	5,5	0,008850
206	5277	17,02	10,88	6,14	0,007008
176	5771	5,06	1,92	3,14	0,000114
151	5240	16,46	9,84	6,62	0,007577
ВАРИАНТ 2					
142	5247	15,99	9,83	6,16	0,007469
175	5285	17,48	10,15	7,33	0,006886
222	5424	13,62	7,06	6,56	0,004826
235	5201	16,38	10,13	6,25	0,008185
68	5211	17,49	12,38	5,11	0,008028
78	5214	17,86	12,33	5,53	0,007981
93	5297	14,21	8,76	5,45	0,006704
128	5618	9,28	4,44	4,84	0,002120
154	5248	15,24	8,41	6,83	0,007453
124	5785	5,21	1,42	3,79	-6,3551E-05
87	5336	14,13	7,7	6,43	0,006118
74	5302	16,83	10,24	6,59	0,006629
47	5305	17,95	10,96	6,99	0,006583
34	5417	14,67	8,8	5,87	0,004927
117	5402	14,71	8,39	6,32	0,005145
138	5261	14,84	8,49	6,35	0,007253
147	5264	15,85	9,82	6,03	0,007207
157	5281	16,45	10,27	6,18	0,006947
149	5253	16,56	10,86	5,7	0,007376
136	5278	16,12	10,58	5,54	0,006993

100	5341	15,28	9,54	5,74	0,006043
84	5291	15,92	10,78	5,14	0,006795
94	5456	13,19	7,23	5,96	0,004366
105	5341	14,96	8,38	6,58	0,006043
ВАРИАНТ 3					
85	5237	17,8	12,61	5,19	0,007623
269	5277	15,16	8,26	6,9	0,007008
262	5321	15,5	8,71	6,79	0,006342
212	5303	17	9,76	7,24	0,006613
189	5308	18,46	11,97	6,49	0,006538
162	5248	17,6	11,78	5,82	0,007453
152	5269	17,86	12,44	5,42	0,007131
139	5301	16,22	9,82	6,4	0,006644
168	5190	19,48	14,17	5,31	0,008358
198	5222	17,83	10,83	7	0,00785703
208	5321	16,61	9,79	6,82	0,006342793
223	5265	18,18	11,44	6,74	0,007192336
258	5272	18,23	12,38	5,85	0,007085156
263	5357	14,65	8,03	6,62	0,005806037
278	5248	17,23	11,49	5,74	0,00745382
100	5316	17,98	9,73	8,25	0,006417917
120	5299	17,55	9,65	7,9	0,0066744
132	5361	17,04	9,16	7,88	0,005746843
142	5448	15,31	8,34	6,97	0,004480867
147	5256	17,56	10,83	6,73	0,007330558
161	5335	16,88	9,9	6,98	0,006133194
174	5291	16,99	10,09	6,9	0,006795669
181	5529	14,02	7,09	6,93	0,003338015
165	5233	17,63	10,89	6,74	0,007685952
153	5276	17,22	9,64	7,58	0,007024038
ВАРИАНТ 4					
143	5273	18,16	11,92	6,24	0,007069868
104	5267	17,07	10,26	6,81	0,007161684
116	5307	18,34	11,57	6,77	0,006553498
126	5471	14,55	6,51	8,04	0,004152913
141	5358	16,68	9,51	7,17	0,00579123
281	5549	10,18	4,27	5,91	0,003060965
267	5527	9,78	3,78	6	0,00336583
253	5381	11,95	6,33	5,62	0,00545219
206	5265	17,95	10,98	6,97	0,007192336
170	5331	14,77	9,27	5,5	0,006192967

167	5316	14,51	8,61	5,9	0,006417917
154	5293	14,74	9,13	5,61	0,006765317
155	5311	14,81	9,88	4,93	0,006493183
163	5338	13,57	8,36	5,21	0,006088423
174	5307	14,94	9,24	5,7	0,006553498
197	5293	16,7	10,34	6,36	0,006765317
207	5292	17,66	12,03	5,63	0,00678049
238	5379	14,74	8,92	5,82	0,005481557
243	5462	12,54	7,16	5,38	0,004280914
252	5316	14,08	8,63	5,45	0,006417917
271	5529	10,81	5,04	5,77	0,003338015
323	5413	13,85	7,85	6	0,004985275
293	5514	13,81	7,92	5,89	0,003547121
272	5569	7,22	3,25	3,97	0,002785905
251	5432	13,08	7,62	5,46	0,004710647
ВАРИАНТ 5					
188	5289	16,75	10,61	6,14	0,006826043
172	5313	14,25	8,82	5,43	0,00646306
164	5279	14,98	8,57	6,41	0,00697826
259	5616	5,9	2,27	3,63	0,002147226
264	5282	13,95	8,01	5,94	0,006932534
301	5497	11,25	5,32	5,93	0,003785487
318	5415	12,66	6,880	5,78	0,004956276
24	5497	11,51	5,18	6,33	0,003785487
36	5495	11,41	5,58	5,83	0,003813627
48	5520	12,22	5,42	6,8	0,003463342
61	5561	10,74	4,29	6,45	0,002895692
84	5559	10,13	4,12	6,01	0,002923188
85	5609	12,02	4,86	7,16	0,00224167
132	5487	12,73	5,87	6,86	0,003926393
181	5557	12,94	6,67	6,27	0,002950703
71	5556	11,43	5,77	5,66	0,002964469
62	5567	11,91	5,78	6,13	0,002813322
59	5553	10,65	5,16	5,49	0,003005794
47	5528	11,13	5,6	5,53	0,00335192
26	5522	10,35	4,89	5,46	0,003435456
35	5536	11,24	5,62	5,62	0,003240819
7	5646	8,52	2,97	5,55	0,001745119
123	5262	14,69	10,15	4,54	0,007238357
113	5229	15,86	11,72	4,14	0,007748079
ВАРИАНТ 6					

99	5216	14,25	8,69	5,56	0,00795065
66	5226	16,7	12	4,7	0,007794737
49	5327	14,95	10,21	4,74	0,00625283
104	5230	16,13	11,26	4,87	0,007732539
115	5228	14,13	9,65	4,48	0,007763626
96	5222	15,53	11,18	4,35	0,00785703
45	5293	15,57	10,95	4,62	0,006765317
260	5207	14,33	8,07	6,26	0,008091483
245	5684	8,23	2,28	5,95	0,001241876
239	5441	15,6	9,88	5,72	0,00458123
226	5504	10,75	4,94	5,81	0,003687158
206	5550	11,87	5,81	6,06	0,003047165
205	5695	9,17	3,63	5,54	0,001097454
195	5730	7,61	1,66	5,95	0,000641618
187	5724	7,42	1,71	5,71	0,000719365
179	5604	12,68	6,03	6,65	0,002309275
171	5650	13,21	8,48	4,73	0,001691827
163	5499	10,97	5,02	5,95	0,003757368
142	5718	6,54	1,16	5,38	0,000797276
139	5757	5,68	0,82	4,86	0,00029376
59	5617	12,75	4,37	8,38	0,002133754
69	5680	11,97	3,98	7,99	0,001294532
79	5519	14,17	6,32	7,85	0,003477292
120	5238	16,43	12,04	4,39	0,007608427
202	5246	17,27	11,2	6,07	0,007484694
229	5295	16,75	11,22	5,53	0,006734989
ВАРИАНТ 7					
302	5210	17,19	11,82	5,37	0,008044485
341	5242	17,67	12,3	5,37	0,007546513
393	5281	16,18	11,11	5,07	0,006947771
423	5177	18,41	11,81	6,6	0,008564465
405	5252	17,25	11,03	6,22	0,007392142
380a	5183	18,07	12,44	5,63	0,008469431
360	5258	16,35	11,07	5,28	0,007299801
350a	5322	16,55	9,57	6,98	0,006327785
320a	5261	17,59	11,72	5,87	0,007253709
231a	5349	16,8	9,66	7,14	0,005924692
151	5445	14,7	6,84	7,86	0,004523848
31	5378	15,08	7,11	7,97	0,005496248
379	5179	16,92	12,53	4,39	0,008532762
354	5256	17,1	11,02	6,08	0,007330558
344	5370	15,72	9,86	5,86	0,005613977

329	5275	16,35	10,6	5,75	0,007039309
279	5258	16,28	11,54	4,74	0,007299801
248	5229	17,75	12,29	5,46	0,007748079
222	5285	15,51	10,61	4,9	0,006886861
127	5185	16,84	12,53	4,31	0,008437801
97	5329	13,88	8,4	5,48	0,006222887
67	5615	12,65	4,18	8,47	0,002160704
37	5318	15,44	9,26	6,18	0,00638785
7	5575	12,23	3,97	8,26	0,002703772
410	5185	18,23	12,92	5,31	0,008437801
ВАРИАНТ 8					
400	5145	18,66	13,12	5,54	0,009075059
358	5268	15,98	10,22	5,76	0,007146367
348	5327	17,4	11,59	5,81	0,00625283
328	5274	16,59	10,65	5,94	0,007054585
254	5278	16,24	10,68	5,56	0,006993514
206	5237	16,13	9,7	6,43	0,00762392
166	5427	14,96	8,46	6,5	0,004782731
163	5478	16,16	9,64	6,52	0,004053648
146	5510	12,41	5,41	7	0,003603075
433	5173	17,44	12,26	5,18	0,008627944
444	5211	17,1	11,96	5,14	0,00802883
454	5198	18,02	12,18	5,84	0,008232804
475	5178	15,43	9,77	5,66	0,008548611
506	5317	16,49	9,93	6,56	0,006402881
497	5235	16,18	10,48	5,7	0,007654924
443	5216	16,6	11,09	5,51	0,00795065
485	5135	16,69	12,38	4,31	0,009235924
436	5232	16,57	11,07	5,5	0,007701475
448	5263	17,98	12,22	5,76	0,007223011
529	5280	15,69	10,39	5,3	0,006963012
528	5241	15,58	10,47	5,11	0,007561983
522	5341	15,29	10,28	5,01	0,006043702
514	5223	18,04	12,59	5,45	0,007841448
250	5230	15,15	11,38	3,77	0,007732539
ВАРИАНТ 9					
219	5367	12,61	8	4,61	0,005658216
214	5325	13,98	9,54	4,44	0,006282795
159	5343	13,13	8,61	4,52	0,006013916
144	5399	14,21	9,67	4,54	0,005188869
338	5286	15,1	10,25	4,85	0,006871648

348	5244	14,66	8,68	5,98	0,007515592
277	5219	18,6	12,45	6,15	0,007903813
297	5378	14,64	6,96	7,68	0,005496248
339	5255	13,74	8,93	4,81	0,007345945
218	5466	11,81	7,31	4,5	0,004223973
205	5741	7,32	4,16	3,16	0,000499503
195	5401	14,14	9,62	4,52	0,00515972
175	5387	12,86	8,44	4,42	0,005364221
148	5379	18,05	13,81	4,24	0,005481557
138	5391	11,81	7,37	4,44	0,005305684
12	5123	15,99	11,9	4,09	0,009429792
32	5120	20,62	16,66	3,96	0,009478401
25	5115	17,03	13,75	3,28	0,009559542
19	5139	18,43	15,19	3,24	0,009171503
18	5162	19,64	15,57	4,07	0,008803018
24	5127	19,85	16,28	3,57	0,009365068
243	5444	11,89	7,7	4,19	0,004538186
226	5370	12,11	8,93	3,18	0,005613977
155	5179	14,65	11	3,65	0,008532762
85	5379	15,24	10,21	5,03	0,005481557
ВАРИАНТ 10					
74	5313	14,26	9,62	4,64	0,00646
18	5267	14,60	10,68	3,92	0,00716
65	5266	14,60	10,57	4,03	0,00717
82	5307	13,75	9,30	4,45	0,00655
87	5359	13,16	8,97	4,19	0,00577
89	5400	13,21	9,05	4,16	0,005174292
95	5323	15,28	10,98	4,3	0,006312782
99	5310	15,52	11,12	4,4	0,006508253
101	5269	14,78	10,93	3,85	0,007131055
110	5266	14,7	10,78	3,92	0,007177007
130	5217	15,26	11,71	3,55	0,007935031
132	5229	15,58	11,77	3,81	0,007748079
281	5337	14,15	9,48	4,67	0,006103341
284	5294	13,93	9,55	4,38	0,00675015
285	5438	11,10	6,82	4,28	0,004624321
289	5282	14,90	10,59	4,31	0,006932534
303	5361	13,52	9,44	4,08	0,005746843
304	5347	13,05	8,83	4,22	0,005954411
307	5301	13,14	9,39	3,75	0,00664414
309	5368	12,22	8,31	3,91	0,005643465
310	5348	12,89	9,08	3,81	0,005939549

319	5338	14,66	10,82	3,84	0,006088423
322	5327	14,07	10,35	3,72	0,00625283
325	5332	13,11	8,98	4,13	0,006178015
328	5409	11,15	7,26	3,89	0,005043337
ВАРИАНТ 11					
329	5365	13,15	9,07	4,08	0,005687736
340	5431	12,35	8,41	3,94	0,004725053
344	5400	14,16	10,14	4,02	0,005174292
347	5463	10,98	7,22	3,76	0,004266671
348	5476	12,32	8,42	3,9	0,004081983
353	5411	10,94	7,26	3,68	0,005014295
364	5365	13,20	9,11	4,09	0,005687736
369	5360	12,86	9,80	3,06	0,005761633
381	5430	10,13	6,67	3,46	0,004739465
383	5269	16,69	12,52	4,17	0,007131055
391	5256	15,20	11,12	4,08	0,007330558
27	5311	14,77	10,73	4,04	0,006493183
51	5476	10,53	6,38	4,15	0,004081983
75	5341	13,72	10,23	3,49	0,006043702
140	5500	8,32	3,91	4,41	0,003743316
170	5321	14,00	10,23	3,77	0,006342793
190	5526	8,82	5,35	3,47	0,003379745
203	5412	11,49	7,73	3,76	0,004999783
240	5332	14,21	10,16	4,05	0,006178015
253	5245	14,89	11,31	3,58	0,00750014
234	5397	15,29	8,93	6,36	0,005218041
243	5385	14,49	7,97	6,52	0,005393522
265	5415	14,95	9,51	5,44	0,004956276
266	5355	14,31	9,36	4,95	0,005835668
276	5257	17,46	11,87	5,59	0,007315176
286	5357	16,01	10	6,01	0,005806037
ВАРИАНТ 12					
287	5358	15,38	9,55	5,83	0,00579123
306	5224	20,34	14,08	6,26	0,007825872
285	5287	16,52	11,68	4,84	0,00685644
268	5458	14,91	8,71	6,2	0,004337939
264	5326	15,79	11,16	4,63	0,006267809
255	5427	14,67	8,38	6,29	0,004782731
232	5333	16,01	9,95	6,06	0,006163069
212	5360	16,24	9,72	6,52	0,005761633
73	5338	14,21	9,68	4,53	0,006088423

76	5304	14,58	10,15	4,43	0,006598793
83	5314	14,42	9,62	4,8	0,006448006
123	5419	13,05	8,69	4,36	0,004898342
153	5743	7,41	3,32	4,09	0,000473722
166	5322	15,05	9,8	5,25	0,006327785
239	5584	9,91	5,51	4,4	0,002580903
229	5537	11,6	6,58	5,02	0,003226954
207	5539	11,3	6,29	5,01	0,00319924
199	5482	11,38	6,47	4,91	0,003997038
190	5554	11,18	5,92	5,26	0,002992014
137	5689	9,35	4,52	4,83	0,00117616
107	5505	9,64	4,53	5,11	0,003673131
106	5586	11,17	6,68	4,49	0,002553653
121	5684	7,39	2,78	4,61	0,001241876
151	5663	10,31	5,57	4,74	0,001519149
272	5206	18,94	14,99	3,95	0,008107161
252	5262	15,91	11,59	4,32	0,007238357
212	5239	15,5	11,79	3,71	0,00759294
192	5205	16,72	13,12	3,6	0,008122846
182	5167	16,11	12,31	3,8	0,008723346
211	5228	15,77	11,8	3,97	0,007763626
220	5244	16,08	11,76	4,32	0,007515592
190	5200	15,62	11,75	3,87	0,008201357
245	5233	17	12,55	4,45	0,007685952
235	5276	15,85	11,62	4,23	0,007024038
Вариант 13					
224	5254	16,56	12,9	3,66	0,007361338
205	5166	17,4	14,2	3,2	0,008739268
185	5202	16,35	12,37	3,98	0,008169935
203	5222	16,45	11,44	5,01	0,00785703
233	5196	16,22	12,5	3,72	0,008264276
156	5176	15,86	12,15	3,71	0,008580325
172	5203	16,49	12,44	4,05	0,008154232
154	5213	16,61	13,15	3,46	0,00799754
37	5255	14,51	10,34	4,17	0,007345945
36	5225	15,94	12,16	3,78	0,007810301
16	5268	15,1	10,43	4,67	0,007146367
300	5360	14,9	9,97	4,93	0,005761633
125	5656	9,06	4,48	4,58	0,001612031
73	5274	14,64	10,65	3,99	0,007054585
55	5487	10,74	6,59	4,15	0,003926393
79	5337	14,67	10,82	3,85	0,006103341

91	5277	16,21	12,2	4,01	0,007008773
164	5430	12,34	7,88	4,46	0,004739465
18	5267	14,60	10,68	3,92	0,007161684
89	5400	13,21	9,05	4,16	0,005174292
99	5310	15,52	11,12	4,4	0,006508253
130	5217	15,26	11,71	3,55	0,007935031
110	5266	14,7	10,78	3,92	0,007177007
87	5359	13,16	8,97	4,19	0,005776429
101	5269	14,78	10,93	3,85	0,007131055
132	5229	15,58	11,77	3,81	0,007748079
95	5323	15,28	10,98	4,3	0,006312782
ВАРИАНТ 14					
289	5282	14,90	10,59	4,31	0,006932
303	5361	13,52	9,44	4,08	0,005746
307	5301	13,14	9,39	3,75	0,00664
348	5476	12,32	8,42	3,9	0,00408
386	5254	13,45	9,70	3,75	0,007361
369	5360	12,86	9,80	3,06	0,005761
347	5463	10,98	7,22	3,76	0,004266
391	5256	15,20	11,12	4,08	0,007330
344	5400	14,16	10,14	4,02	0,005174
329	5365	13,15	9,07	4,08	0,005687
322	5327	14,07	10,35	3,72	0,00625
265	5356	12,33	8,21	4,12	0,00582
228	5364	14,95	10,53	4,42	0,005702
208	5293	13,43	9,47	3,96	0,006765
188	5451	12,39	7,63	4,76	0,004437
178	5386	13,51	9,19	4,32	0,005378
179	5330	14,57	10,49	4,08	0,006207
204	5342	12,57	8,58	3,99	0,006028
239	5258	13,55	9,46	4,09	0,007299
254	5223	15,13	11,05	4,08	0,007841
279	5563	7,86	4,79	3,07	0,002868
100	5272	16,58	12,59	3,99	0,007085
64	5404	13,72	9,46	4,26	0,005116
41	5481	12,44	7,89	4,55	0,004011
28	5494	10,67	6,43	4,24	0,003827
12	5405	11,97	7,67	4,3	0,005101
7	5402	12,68	8,27	4,41	0,005145

Практическое занятие № 7 ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН МЕТАСОМАТОЗА

ПРЕДСТАВЛЕНЫ КАРТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ, КАЖУЩЕЙСЯ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ И МАСШТАБА 1:10000

1 РАССМОТРИТЕ ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

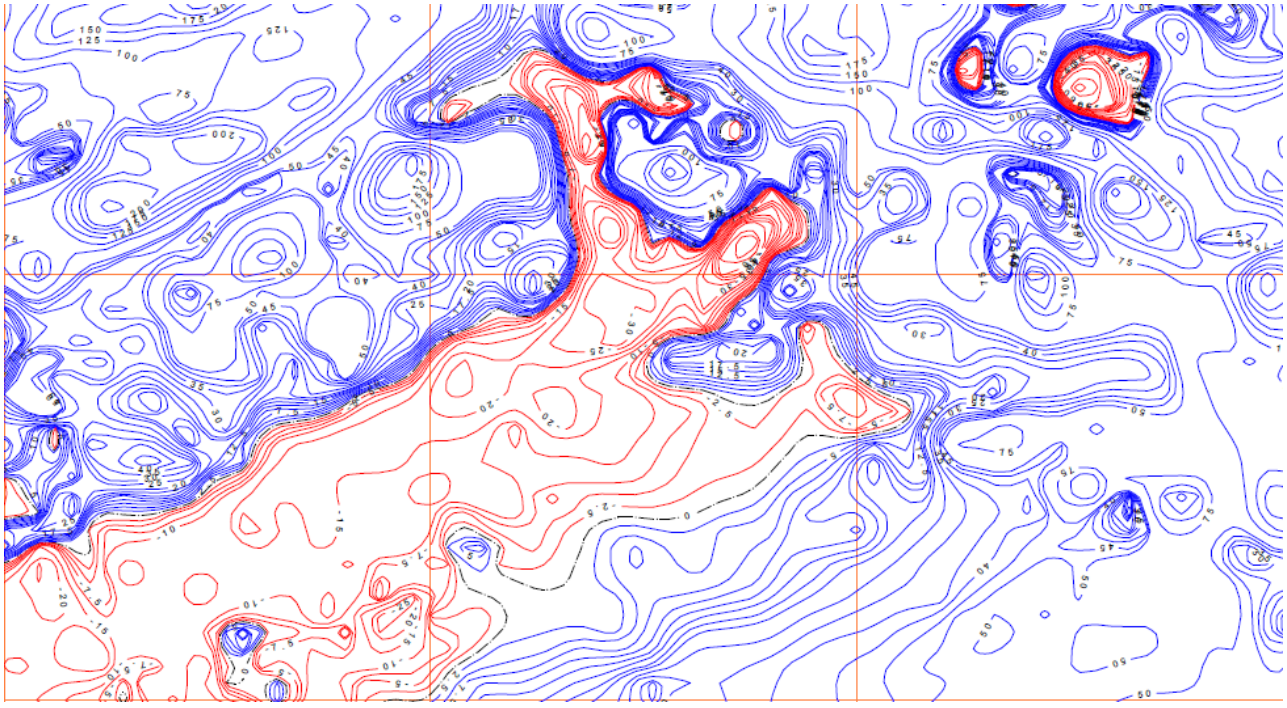
2 СФОРМУЛИРУЙТЕ ПРИЗНАКИ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СОЗДАЙТЕ ПРИЗНАКОВОЕ ПРОСТРАНСТВО (ДИАПАЗОН ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ)

3 ВЫПОЛНИТЕ ПРОЦЕДУРУ ЕСТЕСТВЕННОГО РАССЛОЕНИЯ ДАННЫХ (РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ)

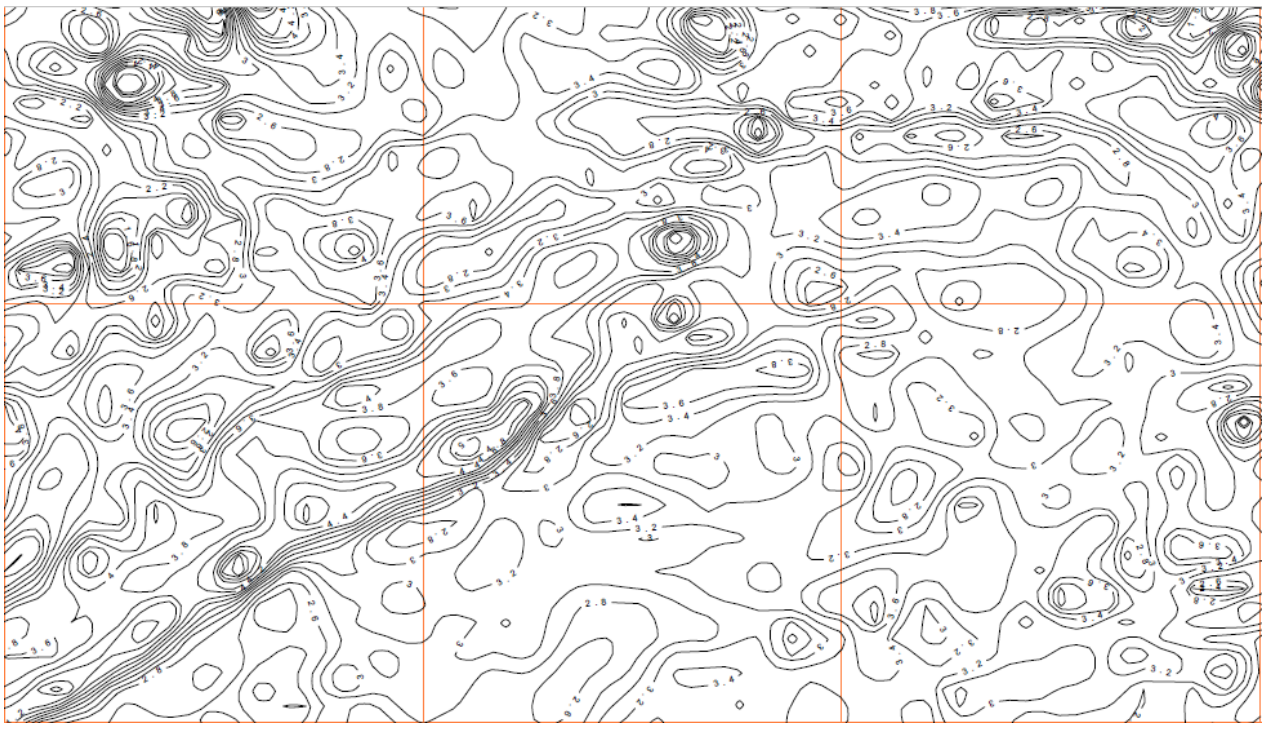
4 ВЫДЕЛИТЕ ЗОНУ МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ. УКАЖИТЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ТРЕХ СКВАЖИН ГЛУБИНОЙ 100 М

4 НАПИШИТЕ ОТЧЕТ

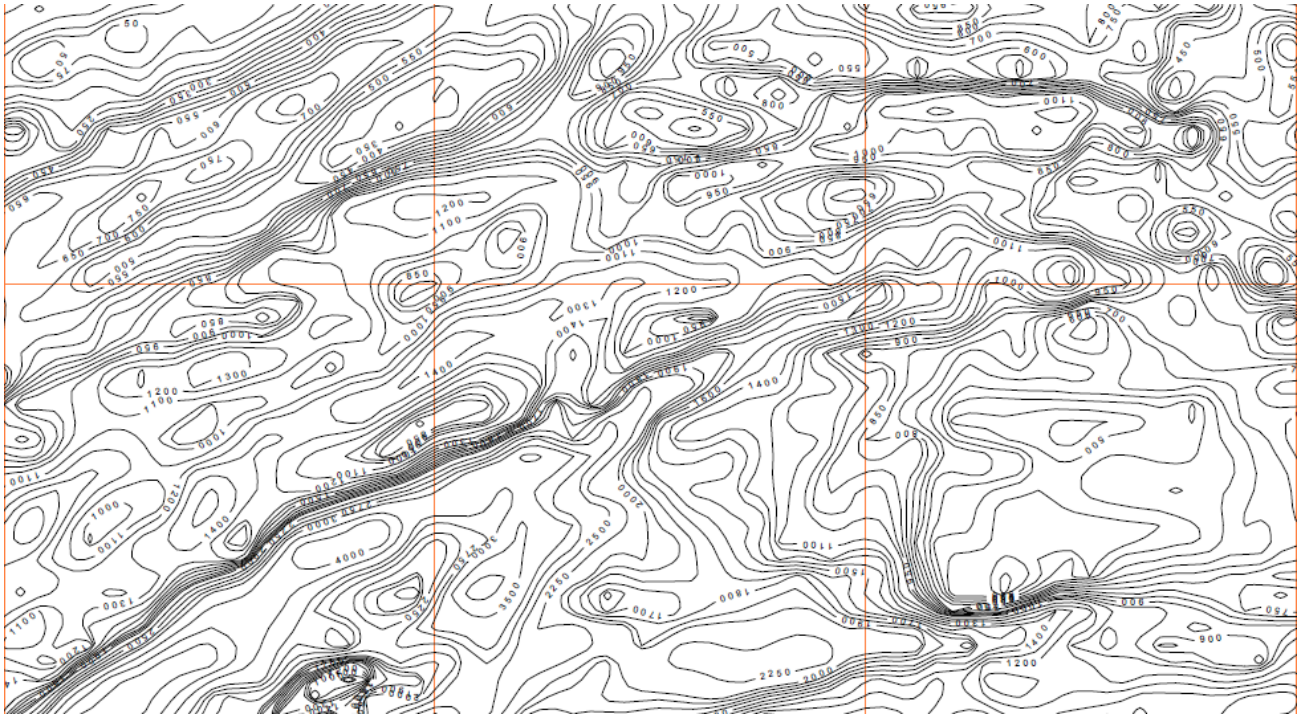
1 вариант



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



ВП FI



КАЖУЩЕЕСЯ СОПРОТИВЛЕНИЕ

2 вариант

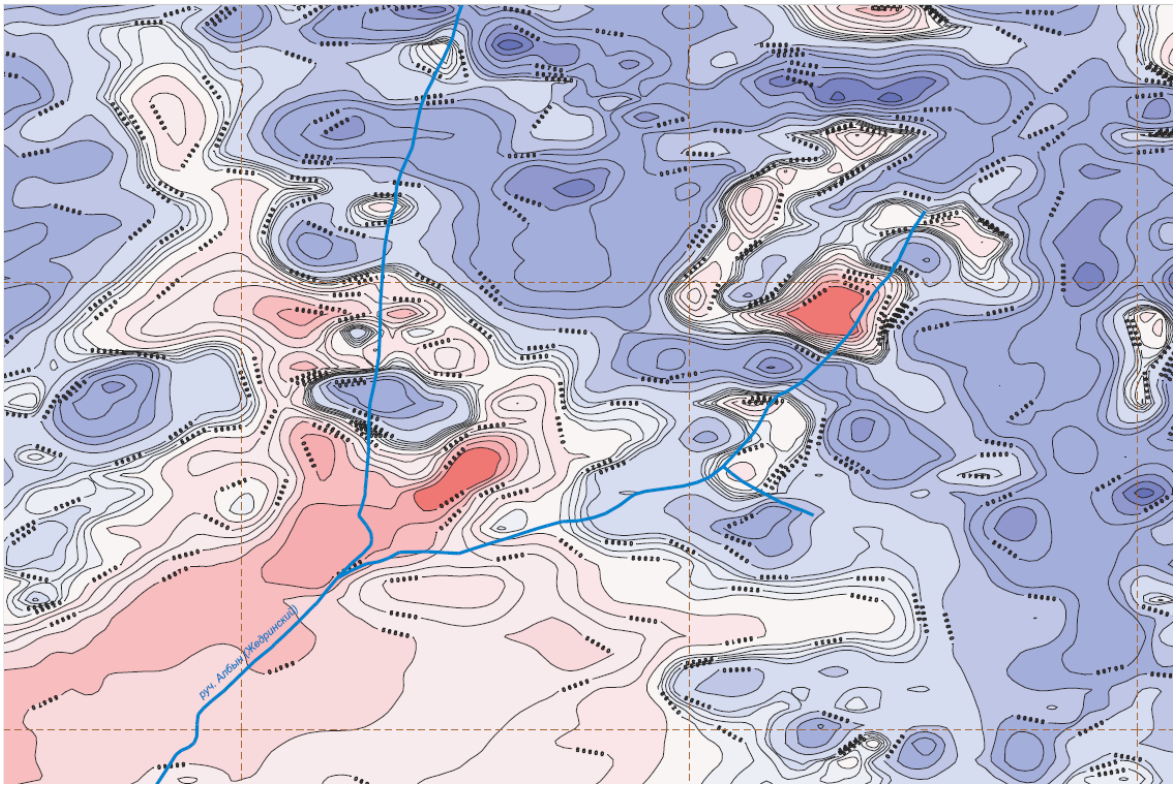
ПРЕДСТАВЛЕНЫ КАРТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ, КАЖУЩЕЙСЯ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА МАСШТАБА :10000

1 РАССМОТРИТЕ ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

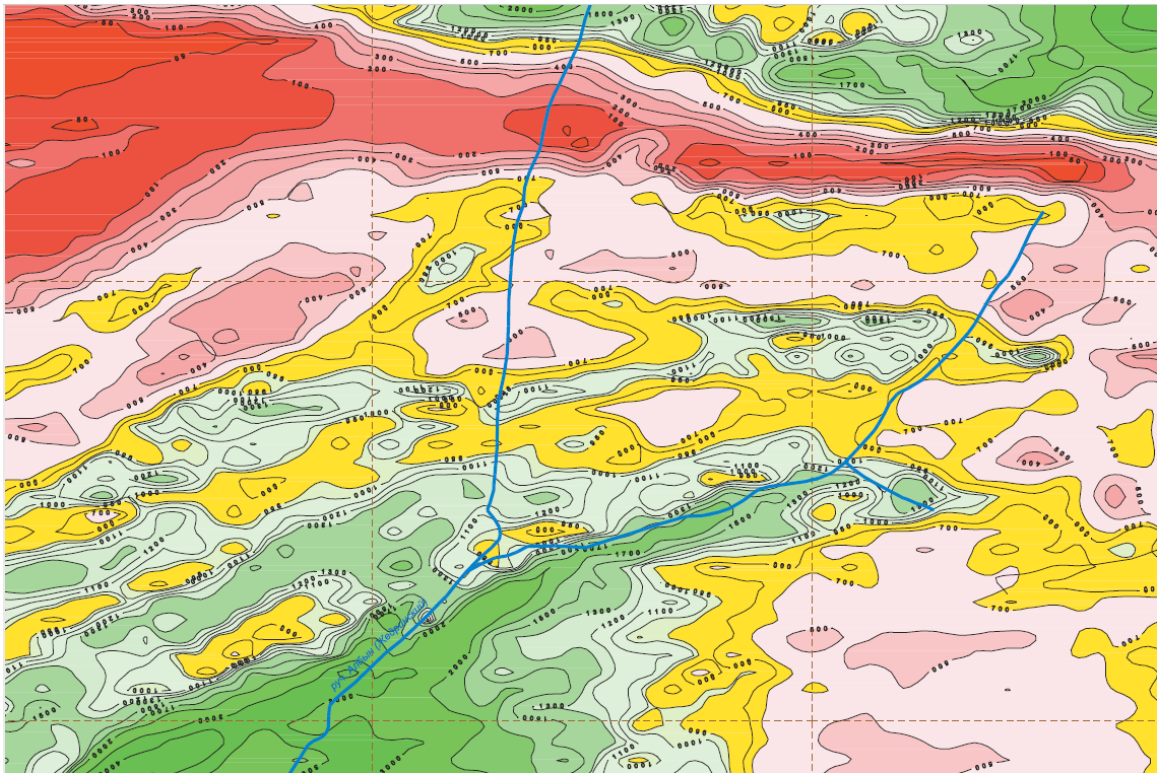
2 ОПРЕДЕЛИТЕ КАК ИСПОЛЬЗОВАНЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

3 ДОПОЛНИТЕ ВЫПОЛНЕННОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ ПОЛЕЙ ЭЛЕМЕНТАМИ, НЕ НАШЕДШИМИ ОТРАЖЕНИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЕ

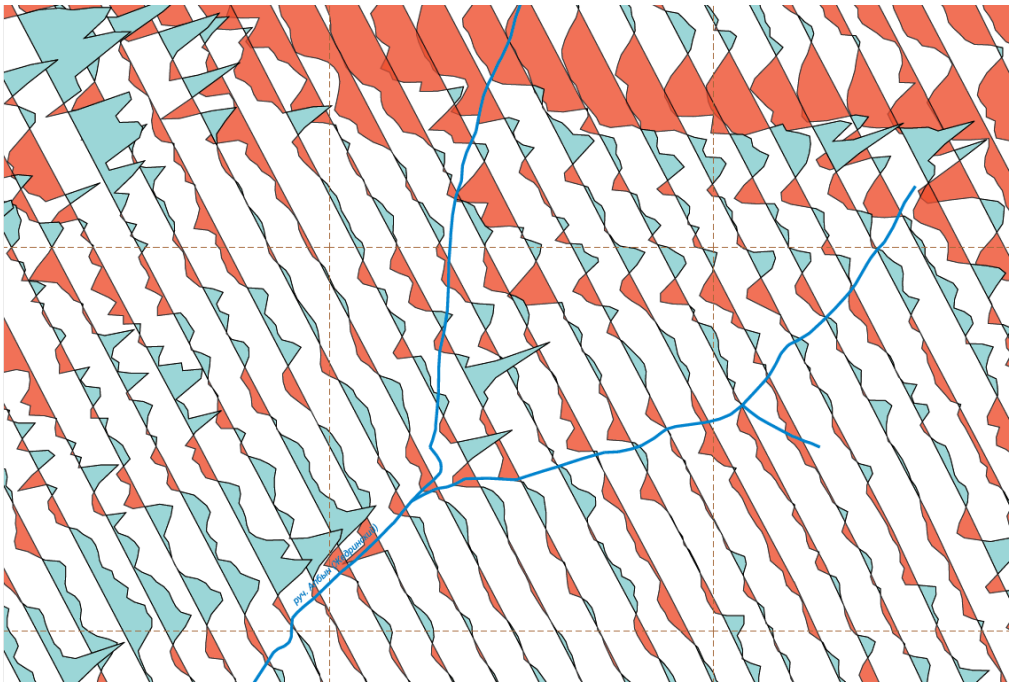
4 НАПИШИТЕ ОТЧЕТ



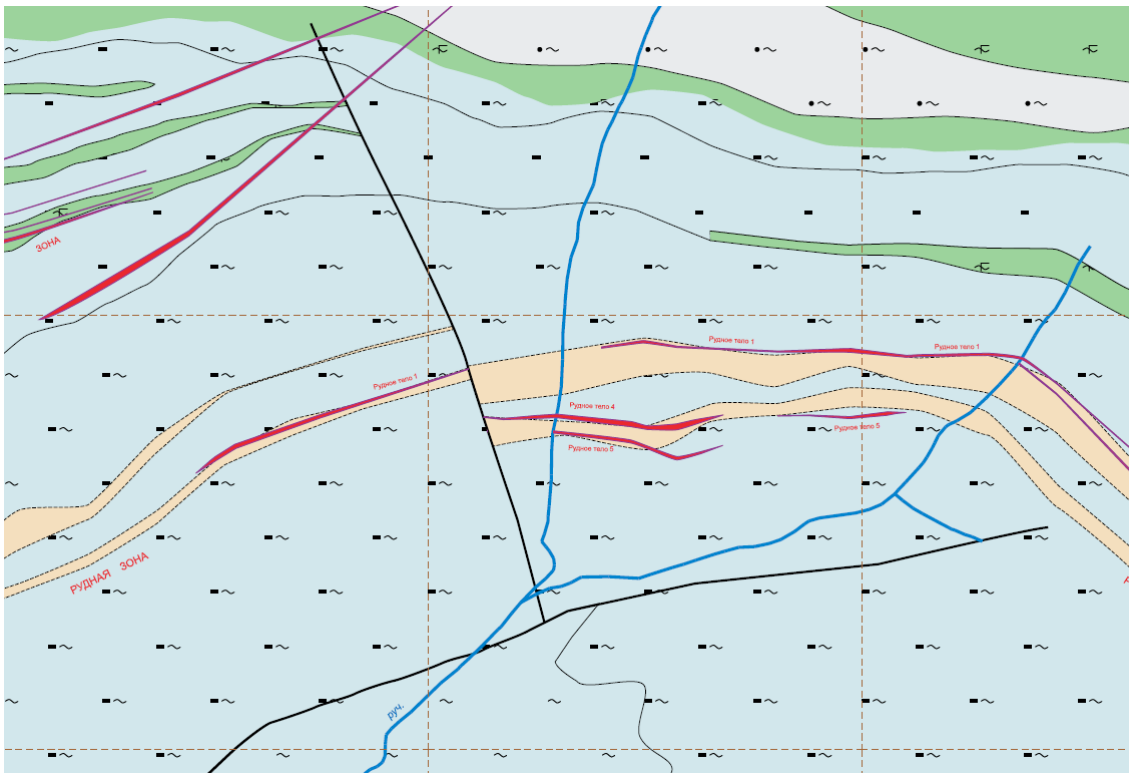
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



КАЖУЩЕЕСЯ СОПРОТИВЛЕНИЕ



ГРАФИКИ КАЖУЩЕЙСЯ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ



Условные обозначения

- низкие слабодифференцированные поля кажущегося сопротивления (500 - 1000 Ом*м), низкие спокойные поля магнитногот поля (50нТл - 100 нТл), отмечающиеся поляризуемостью (1% - 3%) соответствующие метапесчаникам, метаалевролитам с прослоями филлитизированных сланцев

- низкие, линейные поля кажущегося сопротивления (40 - 400 Ом*м), низкие дифференцированные поля магнитногот поля (50нТл - 200 нТл), отмечающиеся дифференцированной поляризуемостью (1% – 4%) соответствующие графитистым (углеродсодержащим) сланцам с прослоями серых филлитизированных алевритовых и карбонат-кремнистых сланцев, филлитовых сланцев верхней подсвиты

- дифференцированные поля кажущегося сопротивления (400 - 1000 Ом*м), низкие знакопеременные дифференцированные поля магнитногот поля (-20нТл - 300 нТл), отмечающиеся слабодифференцированной поляризуемостью (2,5% - 3,5%) соответствующие участкам переслаивания графитистых (углеродсодержащих) сланцев и серых алевритовых филлитизированных сланцев с карбонат-глинистыми (карбонат-слюдяно-кварцевыми) углеродистыми и карбонат-кремнистыми сланцами средней подсвиты

- высокие слабодифференцированные поля кажущегося сопротивления (1500 - 5000 Ом*м), низкие знакопеременные поля магнитногот поля (-70нТл - 30 нТл), отмечающиеся высокой слабодифференцированной поляризуемостью (3% - 4%) соответствующие графитистым сланцам с прослоями двуслюдяных сланцев (альбит-слюдяно-кварцевых) нижней подсвиты

- высокие поля кажущегося сопротивления (2000 - 10000 Ом*м), линейные интенсивные аномалии магнитногот поля (500 нТл - 600 нТл), низкие линейные поля кажущейся поляризуемости (0,5% - 1,0%) соответствующие альбит-актинолит-эпидотовым, альбит-хлорит-актинолит-эпидотовым сланцам

- золоторудные тела по данным поисково-оценочных работ 2007-2008 г.г.

1. Золоторудные кварц-альбитовые метасоматиты
2. Золотоносные жилы

месторождения и их названия

- тектонические нарушения.

ЛИТЕРАТУРА

1 В.И. Аронов Методы математической обработки геологических данных на ЭВМ.

2 В.Н. Страхов – геофизик и математик.

3 Справочник по математическим методам в геологии.

4 Никитин А.А. Теоретические основы обработки геологической информации.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1 Описание поверхностей геологических объектов

Лабораторная работа № 2 Описание геологической поверхности кубическими сплайнами

Лабораторная работа № 3 Аналитическая аппроксимация естественного электрического поля

Лабораторная работа № 4 Подсчет ресурсов по геофизическим данным

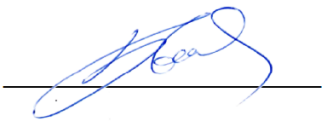
Лабораторная работа № 5 Выделение разломов по комплексу геофизических методов

Лабораторная работа № 6 Корреляция содержания железа и магнитной восприимчивости

Лабораторная работа № 7 Анализ геофизических полей

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
факультета геологии и геофизики УГГУ
«20» марта 2020 г.
Председатель комиссии


проф. В.И. Бондарев

Виноградов В.Б.

ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Екатеринбург

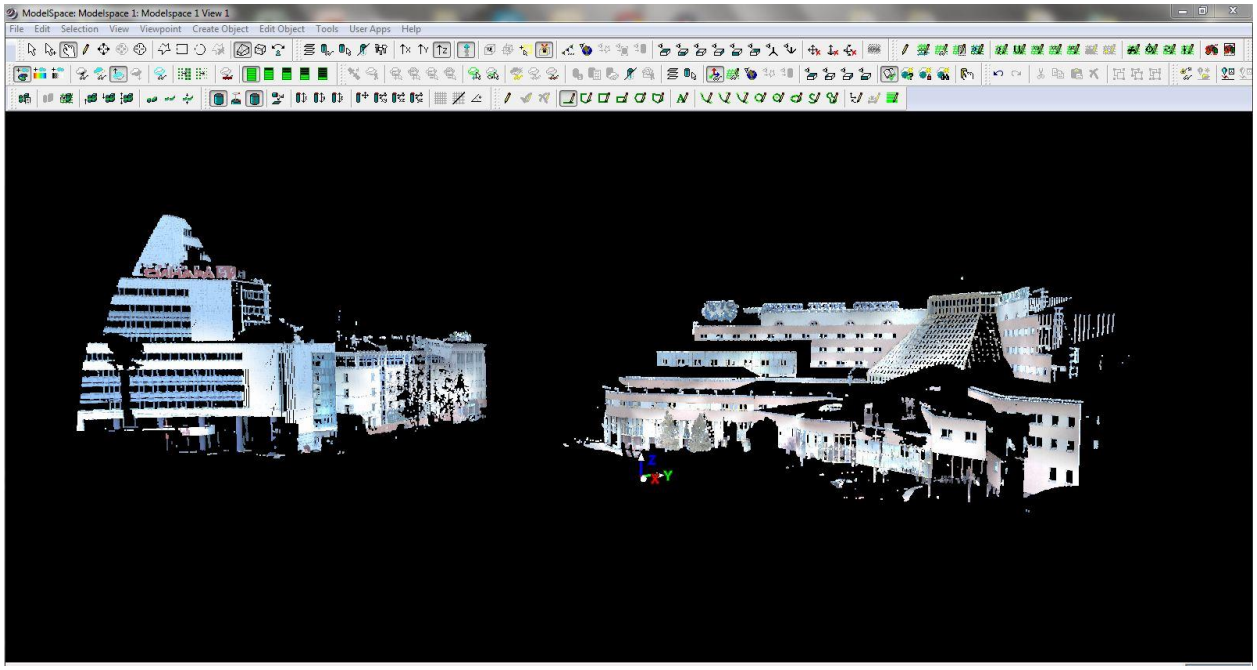
2020

Введение.

Цели, задачи и объекты дисциплины. Ознакомиться с методами геометрии, применяемыми в геофизической практике. Ознакомиться с алгоритмами, программами и математическими пакетами, используемыми при построении карт и разрезов.

Термин «Геометризация» в нашей отрасли имеет крайне широкое толкование. В широком смысле применение методов геометрии в геологии и горном деле. Часто его толкуют как описание геологических поверхностей, поверхностей карьеров и иных горных выработок на основе инструментальных измерений, а также теорию и набор технологий подсчета запасов. Геометризация это непрерывный процесс, отражающий степень изученности объекта. По мере поступления новых данных расчеты проводятся заново. На основе геометрической модели при проведении разведки корректируется сеть скважин.





Основным отчетным материалом проведенных геофизических съемок является карта. В инструкциях по каждому геофизическому методу детально прописано, каким требованиям должна удовлетворять отчетная карта (сечение, раскраска, вид изолиний, масштаб и т.д.), как должна выглядеть отчетная карта, указано с помощью каких специализированных пакетов. Более сложная задача построения геологических поверхностей по геофизическим данным. По данным ГИС строят поверхности ВНК, ГНК, ГВК, кровли резервуара, подошвы резервуара, поверхности тектонических нарушений, поверхности несогласия. Нередко строят карты параметров: пористости, эффективной нефтенасыщенной мощности, плотности и др. Для рудных месторождений строят поверхности рудных тел, карты ЗМС и т.п.

Одна из задач количественной интерпретации – определение геометрии источников поля, особенно их верхней кромки. Для разработки месторождений строительных материалов – это главная задача.

Результат существенно зависит от знания пространственной изменчивости свойств, учета расположения точек на площади, по которым они определены. Если точка определения концентрируются в подобластях, то и средние значения, и дисперсии могут оказаться ошибочными.

Геометрия сети наблюдений. Сеть наблюдений обычно представляет множество более - менее регулярно расположенных на земной поверхности пунктов наблюдений. С одной стороны пункты относятся к поверхности, т.е. к двумерному множеству. Для описания движения автомобиля достаточно указать две координаты. Например, на шаре достаточно указать две координаты. С другой стороны при описании местоположения пунктов наблюдений обычно мы используем третью координату – высоту, так как рельеф меняет рисовку карты.

Сеть наблюдений принято представлять в виде множества многоугольников. Очень часто сеть пунктов наблюдений представляют в виде триангуляционной сети – множества треугольников. Шаг измерений, расстояние между профилями оказывают определяющее влияние на качество построенных карт. Этому влиянию необходимо давать количественную оценку.

Геометризация и анализ физических полей. Геометризация геологических объектов проводится в несколько этапов:

- измерение
- создание базы данных
-создание цифровой модели геологического объекта
- сопровождение модели.

В разведочной геофизике строят не только карты изолиний, но и карты векторов поля. В гравиразведке с 20-х годов 20 века по 70-е годы 20 века строили карты проекции вектора поля на горизонтальную плоскость V которые измеряли с помощью вариометров и градиентометров.

Особенность магниторазведки в том, что намагниченность горных пород – вектор и магнитная индукция – вектор. В магниторазведке измерения с феррозондовыми магнитометрами позволяли получить все три компоненты вектора индукции. Сотрудники НГУ по результатам работ с таким прибором построили карты во всех возможных вариантах, и даже карты аномальных склонений и наклонений.

По результатам микромагнитной съемки строят карты векторов. Анализ направлений векторов позволяет судить о преимущественном направлении трещин на территории съемки. Разработана методика построения роз-диаграмм направлений изодинам. Эта методика применяется сейчас в обработке площадных съемок.

Измерение векторов полей считается перспективным направлением в разведочной геофизике. Внедрение инерциальных магнитометров приведет в возобновлению построения карт векторов. Интерпретация таких карт проще, чем карт проекций, поскольку вектор поля направлен в к источнику поля. Векторная магнитометрия в скважинах нередкое явление.

Создание пространственной модели проводится в несколько этапов. Для получения результата необходима длительная кропотливая работа. Обязательно нужно оценивать надежность и точность используемой информации. На схеме показаны возможные виды работ и последовательность операций.

Обе перечисленные выше задачи относятся к категории задач восстановления. функций по эмпирическим данным. Естественно необходимо оценить качество восстановления. Помимо близости значений в отдельных точках вводится критерий близости функций:

1. Расстояние между функциями в смысле среднеквадратического уклонения:

   $R(f_1.f_2)=\sqrt{\int\left(f_1(x)-f_2(x)\right)^2 P(x)dx}$,

   где $P(x)$- неотрицательная функция , такая, что $\int P(x)dx=1$.

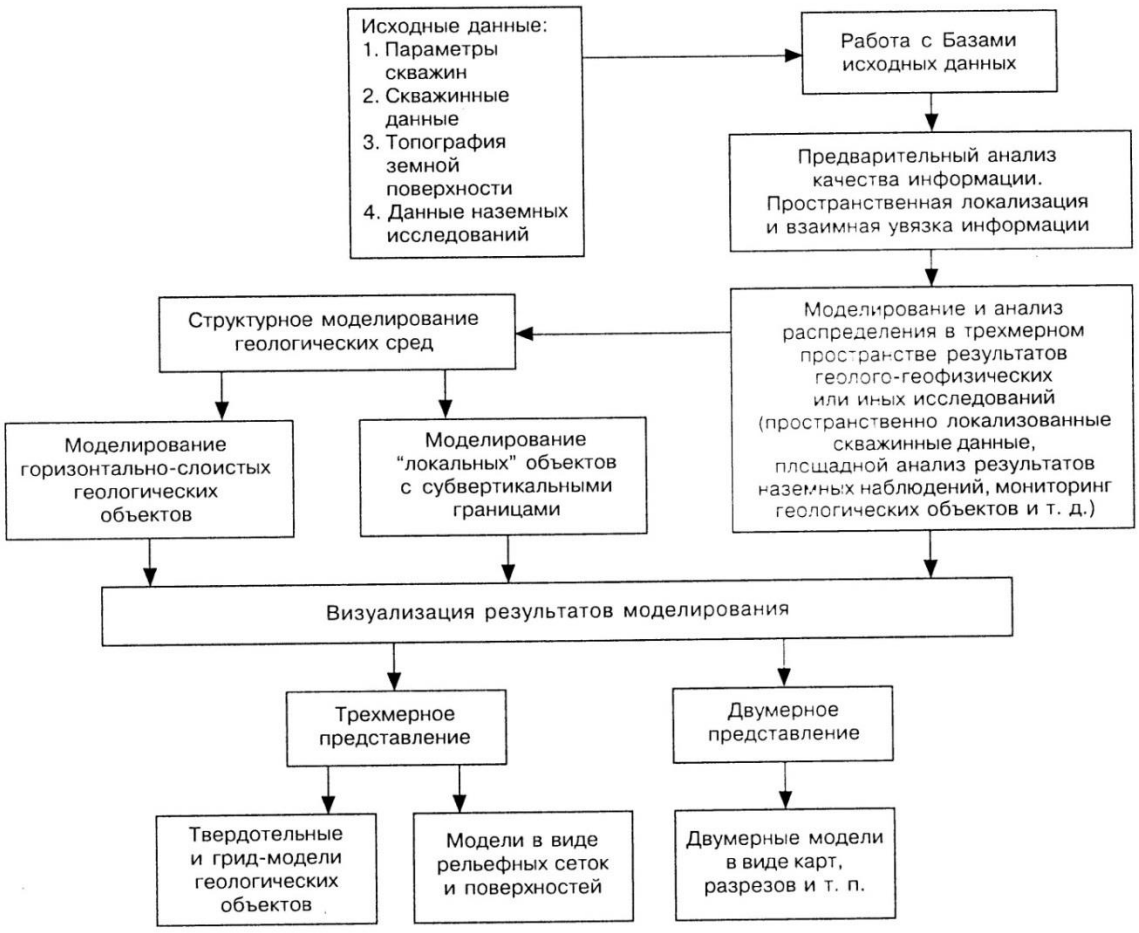
2. Расстояние в смысле равномерного уклонения :

   $R(f_1.f_2)=\sup_{\chi}\left|f_1(x)-f_2(x)\right|\le\chi$.

   Вторая метрика сильнее, чем первая, т.е. если справедливо (2) то (1) выполняется.

   Выбор меры близости определяется содержательной постановкой задачи.

   После проведения полевых работ наступает этап обработки, стоимость которой непрерывно возрастает. Ниже представлена схема обработки информации:



ЛЕКЦИЯ 2 ГЕОМЕТРИЯ СЕТЕЙ НАБЛЮДЕНИЙ

Геометрия сети измерений оказывает существенное влияние на результаты работ. Как правило, стремятся к наблюдениям в узлах квадратной сети или иной правильной геометрической сети. Исходя из экономических соображений, как правило, сеть измерений прямоугольная. В процессе полевых работ на местности по разным причинам приходится отступать от проекта. Фактически сеть наблюдений квазирегулярная.

Маршрутные наблюдения проводятся вдоль некоторой линии, как правило, по пути легкого передвижения, вдоль дорог, с невысокими превышениями и т.д. Линия маршрута в этом случае, особенно при использовании навигатора, существенно отклоняется от прямой. В этом случае значения поля переносят на прямую линию профиля. Оценить ошибки восстановления поля очень трудно. Ценность таких наблюдений невысокая. Маршрутные измерения выполняют для оценки характера поля.

Сети наземных полевых измерений. Сеть пространственных наблюдений в скважинах и шахтах.

Определение координат пунктов геофизических измерений в настоящее время проводится с очень высокой точностью и трудностей не вызывает. Однако неизбежные отклонения от проекта изменяют геометрию сети измерений. Неравномерность сети оказывает значительное влияние на надежность выявления аномалий. При существенной неоднородности сети пунктов и случайных ошибках измерений появляется неустойчивость результатов интерполяции. Из-за особенностей алгоритма восстановления функции (интерполяции) на карте могут появиться ложные аномалии или сильно искажаться реальные аномалии. И, наоборот, из-за сильного сглаживания, на карте могут не появиться реальные аномалии.

ЛЕКЦИЯ 3 Построение карт

Геометрия сети наблюдений. Как правило, стремятся к наблюдениям в узлах квадратной сети или иной правильной геометрической сети. Исходя из экономических соображений, как правило, сеть измерений прямоугольная. В процессе полевых работ на местности по разным причинам приходится отступать от проекта. Фактически сеть наблюдений квазирегулярная.

Маршрутные наблюдения проводятся вдоль некоторой линии, как правило, по пути легкого передвижения, вдоль дорог, с невысокими превышениями и т.д. Линия маршрута в этом случае, особенно при использовании навигатора, существенно отклоняется от прямой линии. В этом случае значения поля переносят на прямую линию профиля. Оценить ошибки восстановления поля

очень трудно. Ценность таких наблюдений невысокая. Маршрутные измерения выполняют для оценки характера поля.

Сети наземных полевых измерений. Сеть пространственных наблюдений в скважинах и шахтах.

Определение координат пунктов геофизических измерений в настоящее время проводится с очень высокой точностью и трудностей не вызывает. Однако неизбежные отклонения от проекта изменяют геометрию сети измерений. Неравномерность сети оказывает значительное влияние на надежность выявления аномалий. При существенной неоднородности сети пунктов и случайных ошибках измерений появляется неустойчивость результатов интерполяции. Из-за особенностей алгоритма восстановления функции (интерполяции) на карте могут появиться ложные аномалии или сильно искажаться реальные аномалии. И, наоборот, из-за сильного сглаживания, на карте могут не появиться реальные аномалии.

Построение карт проводится по результатам измерений (геофизические поля) и наблюдений (геологические объекты). Карты могут быть представлены в виде изолиний или проекций векторов на горизонтальную или вертикальную плоскость (рис. 1). Чтобы правильно оценить надежность карты рассматривают расстояния между пунктами, плотность распределения пунктов на площади, характер распределения пунктов (регулярное, равномерное, случайное, групповое).

Гипотезу о равномерности пунктов измерений на территории проверяют с помощью критерия хи-квадрат:

$$\chi^2 = \sum_{1}^{N} \frac{(o_i - E)^2}{E}.$$

Гипотезу о случайном распределении точек проверяют с помощью критерия Пирсона:

$$\Pr = \frac{e^{\gamma}\gamma^{r}}{r!}.$$

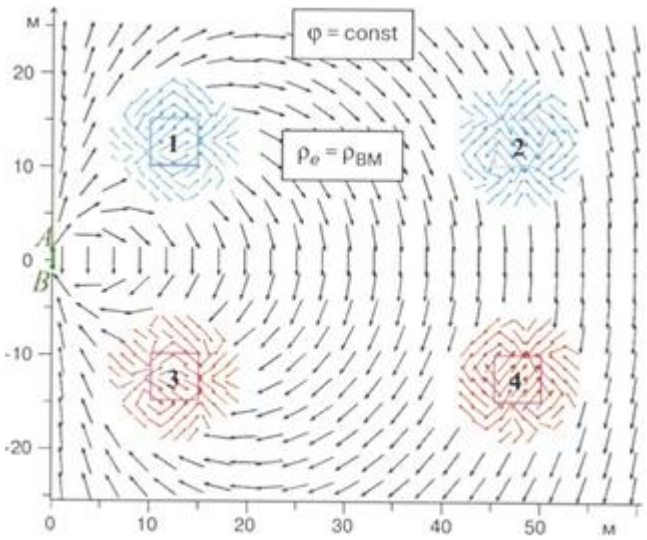


Рис. 1 Карта векторов

Метод ближайшего соседа предназначен для изучения характера распределения подобластей (точек), на которые разделена изучаемая территория. Математическое ожидание расстояния между N точками на территории площадью S равно:

$$D = \frac{\sqrt{S}}{2\sqrt{N}}.$$

Обозначим среднее расстояние между соседними точками на территории d. Величина:

$$R = \frac{d}{D},$$

Является статистикой метода ближайшего соседа. Ее значение меняется от 0 до 2,15. R=2,15 соответствует расположению точек в вершинах шестиугольников (регулярному размещению точек). Критерием проверки о случайном расположении точек служит величина:

$$Z = \frac{(d - D)\sqrt{nN}}{0.26136\sqrt{S}},$$

где n – число измерений расстояний между точками. Величина Z распределена по нормальному закону.

Геофизические карты отражают распределение функций, которые мы считаем непрерывными и гладкими (имеющими в каждой точке поверхности измерения производную). Нередко приходится анализировать структурные карты геологических поверхностей (баженовская свита), которые построены по редкой сети скважин. Геологическая карта, несет отпечаток представлений автора о геологической истории территории.

До появления ЭВМ карты изолиний поля строили вручную. Качество карты зависело от квалификации техника, который ее строил. Эту карту редактировал и утверждал старший геофизик партии. В то время не было необходимости

преобразования измеренных значений в узлы регулярной сети. Построение осуществляли по нерегулярной сети. Карта отражала субъективное мнение автора. Т.е. разные авторы строили разные карты по одним и тем же измерениям.

С появлением ЭВМ задача построения карты решается, как правило, с помощью ЭВМ. Экономический эффект применения ЭВМ для построения карт велик, время на создание карт уменьшилось в сотни раз. Построение карт с помощью математических пакетов считают объективным, однако легко убедиться, что карты, построенные с помощью разных программ и математических пакетов, различаются. Алгоритм построения карты включает предположение автора алгоритма о закономерностях поведения поля. Интерполяция между пунктами наблюдений проводится, как правило, на основе полиномиального представления изучаемой функции и непрерывности производных изучаемой функции.

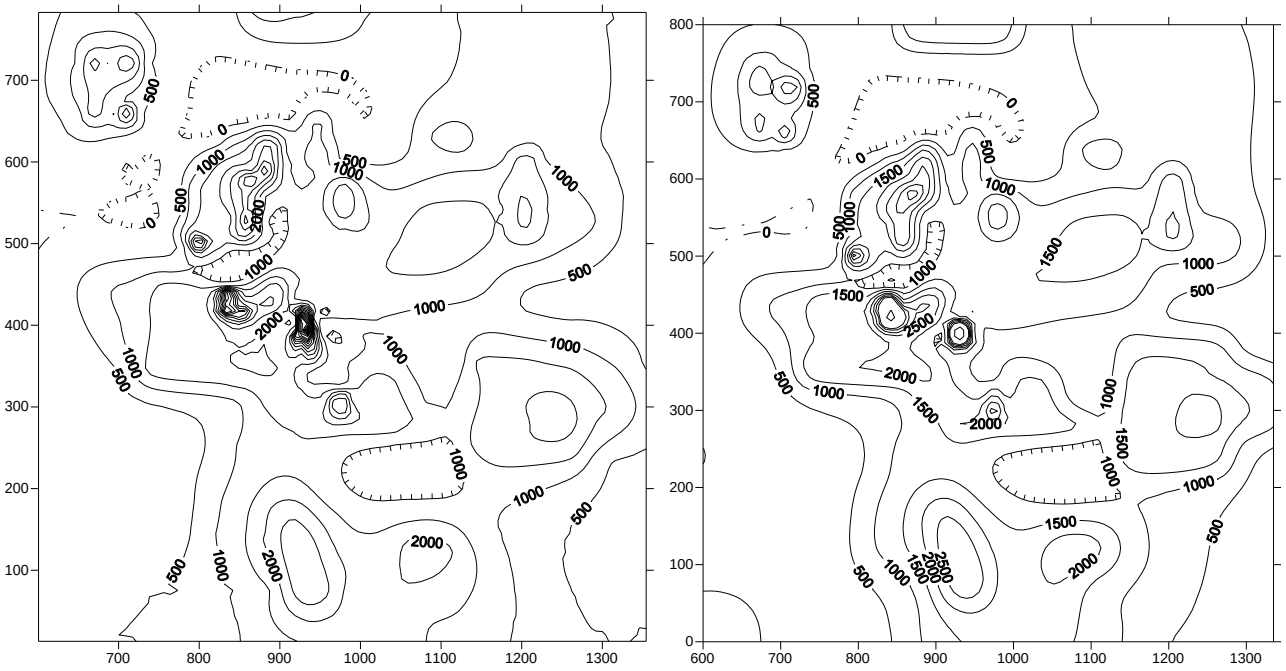
Как правило, ЭВМ сначала проводит интерполяцию измеренных значений поля в узлы квадратной сети (грид-файлы), а затем строит по этим значениям карту. В отличие от карт, построенных вручную, в математических пакетах предусмотрено вычисление погрешности построения изолиний. Специализированные пакеты основаны на алгоритмах, учитывающих свойства поля (гладкость, характер убывания с удалением от объекта и т. д.) и требования инструкции для соответствующего метода разведочной геофизики. В некоторых инструкциях указаны пакет и его версия, в которой необходимо строить карту поля. Их нельзя применять для построения других карт. Например, топографические карты изолиний содержат разрывы (отвесная скала), а производные геофизические поля непрерывны и бесконечное число их производных. Изображение аномалии на карте зависит от рельефа местности. Поэтому на картах нередко приводится упрощенное изображение топографической ситуации.

Инструкция предписывает, при построении графиков погрешность измерений на нем не может отображаться отрезком длиной более 1 мм. Это требование служит для того, чтобы при визуальном восприятии ошибки не казались аномалией. По той же причине на картах изолиний сечение не может быть меньше 2,5 погрешностей измерений. В этом случае на картах гарантировано не появятся аномалии (замкнутые изолинии), обусловленные ошибками измерений. Отчетная карта строится в масштабе съемки. На участках, где сеть измерений не обеспечивает надежной межпрофильной корреляции, изолинии поля не строят. При построении карт трансформаций также необходимо соблюдать требования инструкции. Оформление карт

магнитного поля масштабов 1:50000 и 1:25000 и карт силы тяжести масштабов 1:50000 и 1:20000 проводится по специальным инструкциям.

При построении карт от источников, подобранных в результате решения обратной задачи, расчет поля проводят в узлах регулярной сети. Если для тех же источников вычислить поле в пунктах измерений, вид карты будет иным. Сеть расчета для прямой задачи не может быть более густой, чем сеть наблюдений (рис. 1).

Для построения карты поля создают набор данных, содержащий плановые координаты и высоту пункта измерения, а также измеренное значение или его преобразование в этом пункте. Получаем матрицу $5\times N$.



а б

Рис. 1 Планы изодинам, построенные по результатам вычислений в точках измерения (а) и в узлах прямоугольной сети (б)

Пусть задана нерегулярная сеть измерений с координатами пунктов $\{x_i,y_i\}$ и измеренные значения в них. Определим набор из n точек соседних с точкой k. Расстояние от точки *k* до точки *1*равно:

$$d_{1k} = \sqrt{(x_{1k} - x_{1i})^2 + (y_{1k} - y_{1i})^2} .$$

Зная расстояния до набора соседних точек, найдем значение искомой функции в точке *k*:

$$T_k = \frac{\sum_1^n \frac{T_i}{d_{ik}}}{\sum_1^n \frac{1}{d_{ik}}} .$$

По этому правилу определим значения поля т в узлах регулярной сети.

Нет ничего практичнее хорошей теории. Было бы неплохо, если бы мы могли дать аналитическое описание измеренных полей, проще говоря, написать

формулу, описывающую измеренное поле. Это во многом бы облегчило дальнейшую обработку измеренных полей, например аналитическое продолжение поля.

На практике встречаются случаи, когда геофизические поля не меняются или меняются незначительно. Такие незначительные отклонения могут быть вызваны ошибками измерения или влиянием объектов небольших размеров, которые нас не интересуют. В этом случае поле с хорошим приближением можно описать выражением:

$$U(x, y) = const.$$

Нередко такую аппроксимацию принимают для региональных и фоновых полей.

Гораздо чаще для описания полей на отдельных площадях и участках применяют линейные функции. Для полей измеренных вдоль прямой линии:

$$U(x) = Ax + B.$$

Эту же функцию можно представить в виде тригонометрического ряда Фурье:

$$U(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{1}^{\infty}(a_n \cos\frac{\pi n x}{L} + b_n \sin\frac{\pi n x}{L},$$

где $a_n = \frac{1}{L}\int_{-L}^{L} U(\xi)\cos\frac{\pi n x}{L} d\xi$, $b_n = \frac{1}{L}\int_{-L}^{L} U(\xi)\sin\frac{\pi n x}{L} d\xi$.

Интерполяция. Через две точки можно провести только одну прямую. Через три точки можно провести параболу, а через четыре точки – кубическую параболу. Далее с увеличением числа пунктов измерения можно повышать степень интерполирующего полинома. График кривой пройдет через все точки. Однако полученная функция не будет отражать реальное поле. Аналитическое описание должно отражать физическое содержание задачи.

Поскольку измерения проведены в дискретных пунктах, на практике используют дискретное преобразование Фурье.

Для описания полей измеренных вдоль линии можно использовать рациональные дроби:

$$U(x) = \frac{Q}{Ax + B}, \quad U(x) = \frac{Q}{Ax^2 + Bx + C}, \quad U(x, y) = \frac{Q}{Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F}.$$

В задачах восстановления функции по значениям заданным на сетке используют экспоненциальные функции:

$$U(x) = a_1 e^{\alpha_1 x} + a_2 e^{\alpha_2 x} + ... + a_M e^{\alpha_M x},$$

где a_j, α_j искомые величины. Экспонента быстро увеличивается с ростом аргумента, поэтому ошибки измерения сильно влияют на результат.

При приближенном описании геофизических полей необходимо учитывать их специфичность. При удалении от источника электрический потенциал убывает обратно пропорционально расстоянию, сила тяжести убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, магнитная индукция обратно пропорционально кубу расстояния. Функции приближенного описания гравитационного поля не пригодны для описания магнитного поля. При большой горизонтальной мощности объекта гравитационное поле постоянно, а магнитное поле меняется.

Для полей, измеренных на площади, и меняющихся вдоль одного какого либо направления применяют формулы:

$$U(x,y) = Ax + B,\ \ U(x,y) = Ay + B,\ \ U(x,y) = Ax + By + C.$$

Также часто для изолированных аномалий применяют полиномы невысоких степеней, как правило, не выше 4 степени. Например, уравнение второй степени

$$U(x,y) = Ax^2 + Bxy + Cy^2 + D$$

описывает поверхности: эллипсоиды, двуполостные гиперболоиды, однополостные гиперболоиды, конусы второго порядка, эллиптические параболоиды, гиперболические параболоиды, эллиптические цилиндры (в том числе круговые), гиперболические цилиндры, параболические цилиндры. Других поверхностей быть не может. Форма изолиний соответствует линиям, получаемым в результате сечения этих поверхностей плоскостью.

Уравнение третьего порядка имеет вид:

$$U(x,y) = Ax^3 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Exy + Fy^2 + Hx + Wy + Q$$

или другие подобные выражения. Чаще всего они используются для описания региональных или фоновых полей. Первое уравнение описывает поверхности

На площади как правило присутствуют несколько аномалий разных размеров и интенсивности. Аномалии накладываются друг на друга, их значения известны только в дискретных пунктах наблюдения. Поле измерено на ограниченном участке. Для аналитического описания таких полей необходимо решить задачу:

- найти непрерывную на заданной площади вместе со своими производными функцию, значения которой в пунктах измерения совпадают с измеренными или отличаются от них на величину меньшую погрешности съемки.

Такую задачу называют аналитической аппроксимацией поля. Стандартное решение разложение в ряд по собственным функциям задачи.

Такое описание двумерной функции на прямоугольной площади с пунктами в узлах прямоугольной сети можно подобрать в виде двойных рядов Фурье. Статические гравитационные и магнитные поля удовлетворяют уравнению Лапласа. Решением уравнения Лапласа является потенциал $W(x,y,z) = e^{-iax-iby-cz}$,

где $c^2 = a^2 + b^2$. Линейная комбинация таких функций с произвольными коэффициентами также будет решением уравнения Лапласа. В том числе решением будет:

$$W(x, y.z) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{P_1} S(a,b) e^{-cz - iax - iby} dadb \qquad (1),$$

где $S(a,b)e^{-cz}$ - преобразование Фурье функции $W(x,y,z)$ относительно переменных x и y. Обратное преобразование Фурье

$$S(a,b) = \iint_{P_0} e^{iax+iby} W(x,y) dxdy \qquad (2).$$

Предположим, что после проведения процедуры интерполяции наблюденных данных получаем значения поля в узлах квадратной сети с шагом Δx. Тогда измеренная гармоническая функция $W(x,y)$ – функция с ограниченным спектром, так как она известна только в узлах квадратной сети со стороной Δx. Поэтому она может быть представлена в виде функции значения которой в узлах совпадают с данными измерений:

$$W(x,y) = \sum_k \sum_n W(k\Delta x, n\Delta x) \frac{\sin \pi(x/\Delta x - k)}{\pi(x/\Delta x - k)} \frac{\sin \pi(y/\Delta x - n)}{\pi(y/\Delta x - n)}.$$

Переход к прямоугольной сети тривиален. Обобщением может служить ряд:

$$U(I,J) = \sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} a_{nm} \cos\frac{2\pi n x_i}{L_x} \cos\frac{2\pi m y_j}{L_y} + \sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} b_{nm} \cos\frac{2\pi n x}{L_x} \sin\frac{2\pi m y}{L_y} +$$
$$+ \sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} c_{nm} \sin\frac{2\pi n x_i}{L_x} \cos\frac{2\pi m y_j}{L_y} + \sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} b_{nm} \sin\frac{2\pi n x}{L_x} \sin\frac{2\pi m y}{L_y}.$$

При практических вычислениях ряд не может быть бесконечным, поэтому верхним пределом суммирования будет конечное число. После записи уравнений для всех точек измерения получим СЛАУ для определения коэффициентов ряда.

Общим недостатком всех выше перечисленных способов приближения является то, что они никак не соотносят подобранную функцию с источником поля. В.И. Ароновым предложено использовать в качестве приближающих функций поле материальной точки, Цирульский А.В. – для магнитного поля элементарным источником выбрал поле диполя. Однако и в этом случае переход от аппроксимирующей конструкции к реальным источникам очень затруднен. Е.Г. Булах предложил использовать поля горизонтальных цилиндров и уступов.

Трудности приближения полей одной функцией на участке в целом состоят в том, что значение функции в одной точке определяет поведение функции во всей области приближения. Эти недостатки вынудили обработчиков обратиться к локальному описанию. При таком описании участок делится на подобласти, на которых поле приближают простой функцией. На разных подобластях поле описывают разными функциями.

ЛЕКЦИЯ 4 ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ И КАРТ

Нет ничего практичнее хорошей теории. Было бы неплохо, если бы мы могли дать аналитическое описание измеренных полей, проще говоря, написать формулу, описывающую измеренное поле. Это во многом бы облегчило дальнейшую обработку измеренных полей, например аналитическое продолжение поля.

На практике встречаются случаи, когда геофизические поля не меняются или меняются незначительно. Такие незначительные отклонения могут быть вызваны ошибками измерения или влиянием объектов небольших размеров, которые нас не интересуют. В этом случае поле с хорошим приближением можно описать выражением:

$$U(x, y) = const.$$

Нередко такую аппроксимацию принимают для региональных и фоновых полей.

Гораздо чаще для описания полей на отдельных площадях и участках применяют линейные функции. Для полей измеренных вдоль прямой линии:

$$U(x) = Ax + B.$$

Эту же функцию можно представить в виде тригонометрического ряда Фурье:

$$U(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{1}^{\infty}(a_n \cos\frac{\pi n x}{L} + b_n \sin\frac{\pi n x}{L},$$

где $a_n = \frac{1}{L}\int_{-L}^{L} U(\xi)\cos\frac{\pi n x}{L} d\xi$, $b_n = \frac{1}{L}\int_{-L}^{L} U(\xi)\sin\frac{\pi n x}{L} d\xi$.

Интерполяция. Через две точки можно провести только прямую. Через три точки можно провести параболу, а через четыре точки – кубическую параболу. Далее с увеличением числа пунктов измерения можно повышать степень интерполирующего полинома. График кривой пройдет через все точки. Однако полученная функция не будет отражать реальное поле. Аналитическое описание должно отражать физическое содержание задачи.

Поскольку измерения проведены в дискретных пунктах, на практике используют дискретное преобразование Фурье.

Для описания полей измеренных вдоль линии можно использовать рациональные дроби:

$$U(x) = \frac{Q}{Ax + B}, \quad U(x) = \frac{Q}{Ax^2 + Bx + C}, \quad U(x, y) = \frac{Q}{Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F}.$$

В задачах восстановления функции по значениям заданным на сетке используют экспоненциальные функции:

$$U(x) = a_1 e^{\alpha_1 x} + a_2 e^{\alpha_2 x} + ... + a_M e^{\alpha_M x},$$

где a_j, α_j искомые величины. Экспонента быстро увеличивается с ростом аргумента, поэтому ошибки измерения сильно влияют на результат.

При приближенном описании геофизических полей необходимо учитывать их специфичность. При удалении от источника электрический потенциал убывает обратно пропорционально расстоянию, сила тяжести убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, магнитная индукция обратно пропорционально кубу расстояния. Функции приближенного описания гравитационного поля не пригодны для описания магнитного поля. При большой горизонтальной мощности объекта гравитационное поле постоянно, а магнитное поле меняется.

Для полей, измеренных на площади, и меняющихся вдоль одного какого либо направления применяют формулы:

$$U(x,y) = Ax + B,\ U(x,y) = Ay + B,\ U(x,y) = Ax + By + C.$$

Также часто для изолированных аномалий применяют полиномы невысоких степеней, как правило, не выше 4 степени. Например, уравнение второй степени

$$U(x,y) = Ax^2 + Bxy + Cy^2 + D$$

описывает поверхности: эллипсоиды, двуполостные гиперболоиды, однополостные гиперболоиды, конусы второго порядка, эллиптические параболоиды, гиперболические параболоиды, эллиптические цилиндры (в том числе круговые), гиперболические цилиндры, параболические цилиндры. Других поверхностей быть не может. Форма изолиний соответствует линиям, получаемым в результате сечения этих поверхностей плоскостью.

Уравнение третьего порядка имеет вид:

$$U(x,y) = Ax^3 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Exy + Fy^2 + Hx + Wy + Q$$

или другие подобные выражения. Чаще всего они используются для описания региональных или фоновых полей. Первое уравнение описывает поверхности

На площади как правило присутствуют несколько аномалий разных размеров и интенсивности. Аномалии накладываются друг на друга, их значения известны только в дискретных пунктах наблюдения. Поле измерено на ограниченном участке. Для аналитического описания таких полей необходимо решить задачу: найти непрерывную вместе со своими производными на заданной площади функцию, значения которой в пунктах измерения совпадают с измеренными или отличаются от них на величину меньшую погрешности съемки. Такую задачу называют аналитической аппроксимацией поля. Стандартное решение разложение в ряд по собственным функциям задачи.

Такое описание двумерной функции на прямоугольной площади с пунктами в узлах прямоугольной сети можно подобрать в виде двойных рядов Фурье.

Статические гравитационные и магнитные поля удовлетворяют уравнению Лапласа. Решением уравнения Лапласа является потенциал $W(x,y,z)=e^{-iax-iby-cz}$, где $c^2=a^2+b^2$. Линейная комбинация таких функций с произвольными коэффициентами также будет решением уравнения Лапласа. В том числе решением будет:

$$W(x,y.z)=\frac{1}{4\pi^2}\iint_{P_1}S(a,b)e^{-cz-iax-iby}dadb \qquad (1),$$

где $S(a,b)e^{-cz}$ - преобразование Фурье функции $W(x,y,z)$ относительно переменных x и y. Обратное преобразование Фурье

$$S(a,b)=\iint_{P_0}e^{iax+iby}W(x,y)dxdy \qquad (2).$$

Предположим, что после проведения процедуры интерполяции наблюденных данных получаем значения поля в узлах квадратной сети с шагом Δx. Тогда измеренная гармоническая функция $W(x,y)-$ функция с ограниченным спектром, так как она известна только в узлах квадратной сети со стороной Δx. Поэтому она может быть представлена в виде функции значения которой в узлах совпадают с данными измерений:

$$W(x,y)=\sum_k\sum_n W(k\Delta x,n\Delta x)\frac{\sin\pi(x/\Delta x-k)}{\pi(x/\Delta x-k)}\frac{\sin\pi(y/\Delta x-n)}{\pi(y/\Delta x-n)}.$$

Переход к прямоугольной сети тривиален. Обобщением может служить ряд:

$$U(I,J)=\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}a_{nm}\cos\frac{2\pi nx_i}{L_x}\cos\frac{2\pi my_j}{L_y}+\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}b_{nm}\cos\frac{2\pi nx}{L_x}\sin\frac{2\pi my}{L_y}+$$
$$+\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}c_{nm}\sin\frac{2\pi nx_i}{L_x}\cos\frac{2\pi my_j}{L_y}+\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}b_{nm}\sin\frac{2\pi nx}{L_x}\sin\frac{2\pi my}{L_y}.$$

При практических вычислениях ряд не может быть бесконечным, поэтому верхним пределом суммирования будет конечное число. После записи уравнений для всех точек измерения получим СЛАУ для определения коэффициентов ряда.

Общим недостатком всех выше перечисленных способов приближения является то, что они никак не соотносят подобранную функцию с источником поля. В.И. Ароновым предложено использовать в качестве приближающих функций поле материальной точки, Цирульский А.В. - поле диполя. Однако и в этом случае переход от аппроксимирующей конструкции к реальным источникам очень затруднен. Е.Г. Булах предложил использовать поля горизонтальных цилиндров и уступов.

Трудности приближения полей одной функцией на участке в целом состоят в том, что значение функции в одной точке определяет поведение функции во всей области приближения. Эти недостатки вынудили обработчиков обратиться к локальному описанию. При таком описании участок делится на подобласти,

на которых поле приближают простой функцией. На разных подобластях поле описывают разными функциями.

Широкое применение в задачах восстановления функций нашли сплайны. Сплайны – это функции, склеенные из кусков некоторого заранее определенного набора функций. Самый распространенный пример сплайна – кусочно-линейный - ломанная. Параболический сплайн имеет на каждом звене описание в виде полинома второй степени $Ax^2 + Bxy + Cy^2 + D$. На 3 узлах строится парабола, далее проводится гладкое продолжение. Недостатки параболического сплайна: осцилляции, не приближает вторую производную, неоднозначность построения.

Наиболее широкое применение в задачах приближения нашли кубические сплайны, тригонометрические сплайны, параметрические сплайны.

Определение. Интерполяционным кубическим сплайном S(x) называют дважды непрерывно-дифференцируемые, которые удовлетворяют в узлах условиям интерполяции и на каждом отрезке совпадает с некоторым полиномом третьего порядка:

$S(x) = A_i x^3 + B_i x^2 + C_i x + D_i$.

Таким образом, кубический сплайн на n отрезках определена 4n параметрами. Для их определения используют 2n условия интерполяции, n-1-склейка первой производной, n-1 – склейка второй производной. Два необходимо добавить: либо $S'(x_0) = 0$, $S'(x_N) = 0$, либо $S''(x_0) = 0$, $S''(x_N) = 0$. Введем обозначение $M_i = S''(x)$, длину расстояния между узлами $h = x_i - x_{i-1}$.

Выражение второй производной примет вид:

$$M(x) = -M_{i-1}\frac{(x_i - x)}{h_i} + M_i\frac{(x_i - x)}{h_i}$$

Первая производная примет вид:

$$P_i'(x) = -M_{i-1}\frac{(x_i - x)^2}{2h_i} + M_i\frac{(x_i - x)^2}{2h_i} + C_i.$$

Отсюда интерполяционный полином примет вид:

$$P_i(x) = -M_{i-1}\frac{(x_i - x)^3}{6h_i} + M_i\frac{(x_i - x)^3}{6h_i} + C_i x + D_i.$$

Представим сумму двух последних слагаемых в виде:

$C_i x + D_i = A_i(x_i - x) + B_i(x - x_{i-1})$, что означает, что $C_i = A_i + B_i$ и $D_i = A_i x_i - B_i x_{i-1}$

Интерполяционный полином примет вид:

$$P_i(x) = -M_{i-1}\frac{(x_i - x)^3}{6h_i} + M_i\frac{(x_i - x)^3}{6h_i} + A_i(x_i - x) + D_i(x - x_{i-1}).$$

Тогда $P_i(x_{i-1}) = M_{i-1}\frac{h^2}{6} + A_i h = y_{i-1}. \Rightarrow A_i = \frac{y_{i-1}}{h} - M_{i-1}\frac{h_i}{6}$.

$$P_i(x_i) = M_i \frac{h^2}{6} + B_i h = y_i, \Rightarrow B_i = \frac{y_i}{h} - M_i \frac{h_i}{6}$$

$$P_i'(x) = -M_{i-1} \frac{(x_i - x)^2}{2h_i} + M_i \frac{(x_i - x)^2}{2h_i} + \frac{y_i - y_{i-1}}{h} - \frac{h}{6}\left(M_i - M_{i-1}\right)$$

$$P_i'(x_i) = M_i \frac{h_i}{2} + \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i} - \frac{h}{6} M_i + \frac{h_i}{6} M_{i-1}, \; P_i'(x_i) = M_i \frac{h_{i-1}}{2} + \frac{y_{i+1} - y_1}{h_{i+1}} - \frac{h_{i+1}}{6}(M_{i+1} M_i).$$

Получили СЛАУ вида

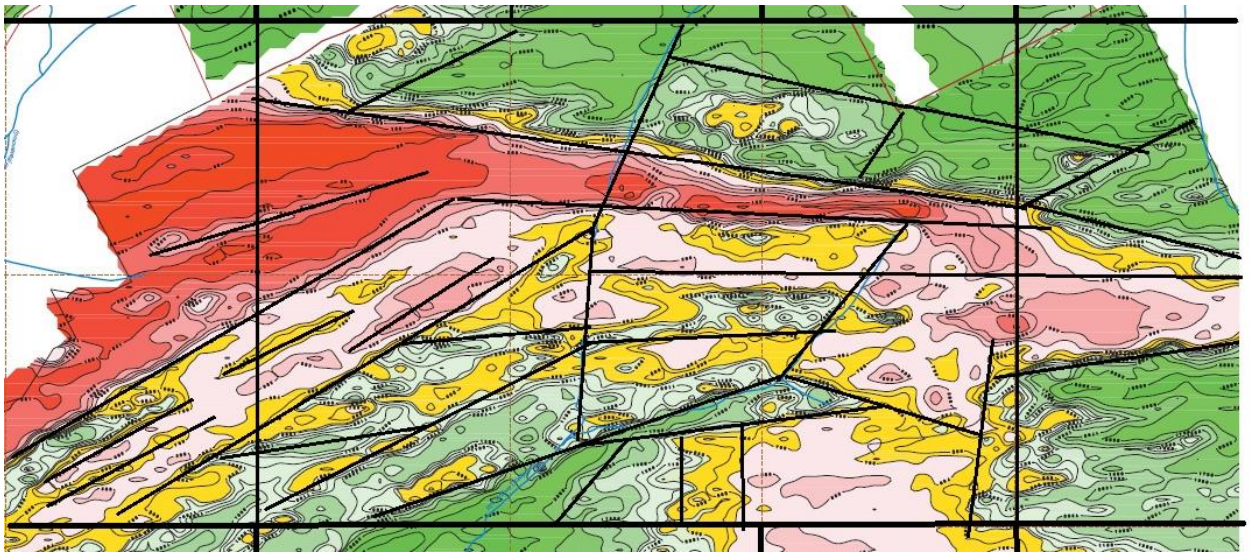
$$\frac{h_i}{6} M_{i-1} \frac{h_i + h_{i+1}}{3} M_i + \frac{h_{i+1}}{6} = -\frac{y_{i+1} - y_1}{h_{i+1}} - \frac{y_i + y_{i-}}{h_i}.$$

Добавляем условия $M_0 = 0$ и $M_n = 0$ получаем трехдиагональную матрицу:

$$\begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{h_1}{6} & \frac{h_1 + h_2}{3} & \frac{h_2}{6} & 0 \\ 0 & \frac{h_2}{6} & \frac{h_2 + h_3}{3} & \frac{h_3}{6} \\ 0 & 0 & \frac{h_3}{6} & \frac{h_3 + h_4}{3} \end{matrix}.$$

Это матрица с диагональным преобладанием. Решение таких СЛАУ устойчиво.

Полученное аналитическое описание результатов измерений позволяет восстановить значение поля или положение поверхности в любой точке, с высокой точностью и малыми вычислительными затратами проводить обработку данных. Например, операции дифференцирования и интегрирования проводятся по правилам для аналитических функций. Для поверхностей сеть разбиения может быть треугольной, прямоугольной, квадратной.



ЛЕКЦИЯ 5 Построение разрезов

При изучении осадочных разрезов мы замечаем, что появление выше по разрезу некоторых пород зависит от характера предшествующего разреза. Процессы, в которых наблюдают влияние предшествующих событий на последующие, в математике называют цепями Маркова. В цепях Маркова вероятность перехода из одного состояние в другое зависит от предшествующего состояния. В цепях Маркова вероятности перехода считают постоянными. Если наблюдается зависимость только от предшествующего состояния, цепь Маркова называют цепью первого порядка. Возможно построение цепей более высокого порядка.

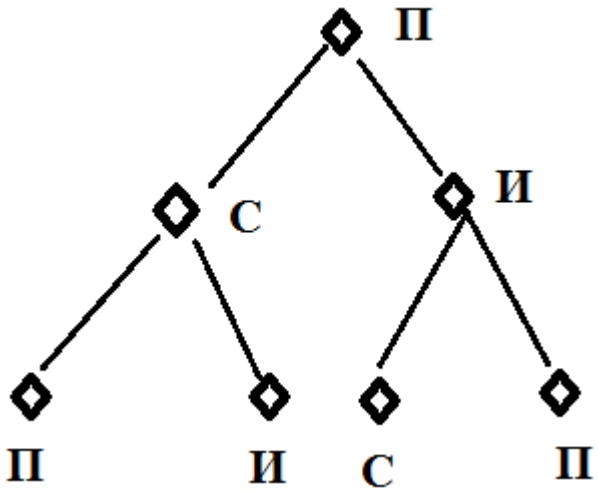
Вероятности перехода принято представлять в виде матриц:

Песчаник	0	0,5	0,5
Сланец	0	0,3	0,7
Известняк	0,5	0,5	0

При подсчете вероятностей берут несколько интервалов фиксированной длины.

В таблице указаны условные вероятности. Точнее в таблице статистические оценки этих вероятностей - частоты. Матрица переходных вероятностей полезный метод анализа и способ описания. Такие описания широко используются для моделирования литологической колонки.

Другой способ описания стратиграфической колонки – построение деревьев.



Вероятность появления литотипа через этап рассчитывается умножением вероятностей (частот) вдоль пути по дереву. Для учета мощности слоев в разрезе вводят скорости перехода.

При моделировании двухмерных разрезов с помощью цепей Маркова можно моделировать соответствующие геофизические поля.

При оценке запасов углеводородов необходимо описывать стратиграфические подразделения. Результаты исследования стратиграфических показывает, что изменчивость свойств горных пород в зависимости от глубины недостаточно точно для практических задач описывается случайными процессами. Необходимо эту изменчивость аппроксимировать суммой случайной и детерминированной составляющих. Характер этой изменчивости влечет такую же изменчивость геофизических параметров: физических свойств и полей.

Отображение структуры разреза вскрытого одной скважиной на разрез другой скважины сложнейшая задача. При этом, может вдоль скважины вскрыт весь разрез или часть разреза. Изначально эту задачу решали на основе корреляционного анализа кривых ГИС, в частности путем вычисления функций взаимной корреляции. Существенное влияние на решение задачи оказывает шаг измерений. Задача значительно усложняется тем, что отражение вещественного состава на свойства косвенное. Малое изменение вещественного состава часто вызывает значительное изменение свойств и наоборот. Сложное отражение в полях имеет мощность слоев и размер исследуемой площади..

Вайнберг предложил применять для анализа флиша марковские цепи. Другие специалисты применяют прослеживание реперов в разрезах скважин Определящую роль будет играть выбор опорного разреза (реперов). Для геофизических методов необходимо оценить информативность геофизических признаков. Волков А.М. рассмотрел информативность 14 методов исследования скважин. Он показал, что 2 признака практически полностью исчерпывают возможности каротажа.

Цепи Маркова.

ЛЕКЦИЯ 9 НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ

При вычислении прогнозных ресурсов оценивают перспективы крупного региона. При вычислении оценки учитывают сходство с районами с установленной нефтегазоносностью, площадь территории, вещественный состав осадков, их вертикальную мощность, дислоцированность осадков. Одна из предлагаемых оценок:

$$\lg Q = 1.613 \lg W + 2.813,$$

где Q – общие ресурсы, W – средняя объемная скорость осадконакопления (тыс. км^3/млн. лет).

Для подсчета запасов нефти в первом приближении необходимо вычислить:

$$Q = \iiint_V \alpha(x,y,z) m(x,y,z) \sigma(x,y,z) \eta(x,y,z) dV ,$$

где переменные в порядке следования: коэффициент нефтенасыщенности, коэффициент открытой пористости, плотность нефти, коэффициент нефтеотдачи. Известно, что плотность нефти увеличивается при приближении к границе залежи, в том же направлении плотность газа уменьшается.

Для оценки прогнозных ресурсов используют уравнения регрессии:

$$\ln Q = \ln S + 0.1\ln D + 0.61\ln M - 0.5\ln\tau + 2\ln T - 0.5\ln C + 2\ln\vartheta + 2\ln\theta,$$

где переменные в порядке следования в уравнении: прогнозные ресурсы, площадь нефтесбора, мощность резервуара, доля сапропелевой составляющей, температура пород, время погружения резервуара на глубину более 300 м, содержание органического вещества, коэффициент структурного экранирования, коэффициент литологического экранирования.

Другое уравнение:

$$\ln Q = \alpha_1 \ln KC + \alpha_2 \ln B + \alpha_3 \ln \Pi + \alpha_4 \ln S + \alpha_5 \ln \Gamma + \alpha_6 y + \alpha_7 \ln r + \alpha_8 \ln\frac{A+a}{A},$$

переменные в порядке следования в уравнении:КС катагенное преобразование РОВ, В - отношение растворенных в воде органических кислот к содержанию гидрокарбонат-иона, $\Pi = \frac{h-l}{h}$, где h – общая мощность пласта в пределах ловушки, l – суммарная мощность глинистых прослоев в пласте, S – сорбционные свойства пласта, Г – нефтесборная площадь, у – мощность гидродинамически связанной толщи, r – частота возникновения условий для выделения углеводородов, А – амплитуда наиболее резкого регионального поднятия, а – амплитуда ловушки.

Набор признаков в уравнении регрессии для каждого района специфичен. Коэффициенты при признаках в уравнении регрессии для разных регионов разные.

Результат прогноза зависит от исполнителя работ и стадии геологоразведочной стадии.

При решении задач прогноза необходимо учитывать дисперсию признаков.

Основной результат геологоразведочных работ – промышленные запасы. Объем резервуара насыщенного нефтью вычисляют как произведение площади залежи на среднюю эффективную нефтенасыщенную мощность. Если результат умножить на пористость получим объем порового пространства. Если его умножить на коэффициент нефтенасыщенности получим объем нефти. Умножая плотности нефти на объем получим вес. Эту величину необходимо умножить на коэффициенты нефтеотдачи и коэффициент усадки – получим балансовые запасы. Для получения промышленных запасов необходимо балансовые запасы умножить на коэффициент извлечения.

Последовательность оценки запасов:

1. Определяют проницаемые интервалы в пласте. Строят карту эффективной мощности

2. Строят структурные карты кровли и подошвы пласта.
3. Определяют положение водно-нефтяного контакта.
4. Строят карту эффективной нефтенасыщенной мощности.
5. Находят объем нефтенасыщенных пород
6. Определение извлекаемых запасов.

В формуле подсчета запасов:

$$Q = Shm\eta\chi K_{но} K_{ус} .$$

используются средние постоянные значения параметров. Нередко изменчивость свойств не позволяет использовать это выражение для подсчета запасов, поскольку ошибки могут достигать десятков процентов.

ЛЕКЦИЯ 10 ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рудное тело понятие не геологическое, а экономическое. Граница тела проводится, ограничивая объем, добыча в котором приносит прибыль или условно реентабельна (экономически выгодна для месторождения в целом или группы месторождений в целом). С развитием технологий добычи отвалы старых месторождений переходят в категорию месторождений. Полное представление о месторождении мы получаем по окончании разработки.

Обычно рудные тела разбивают на отдельные блоки – тела достаточно простой геометрической формы с некоторым постоянным содержанием полезного компонента – железа, окиси хрома и т. д. На рис. показано содержание серебра вдоль штольни на одном из месторождений. Видно, что содержание серебра меняется нелинейно, быстрее, чем линейная зависимость, дисперсия содержаний с увеличением содержаний увеличивается. При подсчете запасов такие зависимости сглаживают в скользящем окне. Формула расчета:

$$C(0) = \sum_{1}^{T} w_i C_i .$$

Выбор весов проводится на основе практического опыта, например, обратно пропорционально расстоянию от оцениваемой точки или линейной зависимостью.

Крайгинг – один из методов скользящего среднего. В нем обоснованно выбирают размер окна и весовые коэффициенты для узлов. Метод оценки пространственно распределенных величин и погрешности этой оценки. Успешно применялся для подсчета запасов серебра. Назовем переменную величину регионализированной, если она непрерывно меняется, но неизвестно ее аналитическое описание.

Пусть в нерегулярной сети измерений получены значения параметра. Значение в некоторой точке связано со значениями в соседних точках. Степень влияния зависит от направления и расстояния. Степень зависимости в каком либо направлении (по профилю) можно определить ковариацией $K(\Delta j)$. Для той же точки можно определить полудисперсию:

$$\chi = \frac{1}{2}\sum_{1}^{N}(y_{i+1} - y_i)^2 \cdot$$

Полудисперсия и ковариация связаны соотношением $\chi(\Delta j) = K(0) - K(\Delta j)$. С уменьшение расстояния до бесконечно малого определяются практически одними и теми же точками, т.е. при малых расстояниях они почти одинаковы, пс увеличением расстояния полудисперсия асимптотически стремиться к предельному значению – К(0). Расстояние на котором эта величина достигается (почти) называют рангом. Ранг – расстояние на котором значения параметра можно считать независимыми. Если между точками расстояние больше ранга, в центре интервала находятся точки, значения параметра в которых никак не связано со значениями на концах. Оценку запасов проводить нельзя.

График полудисперсии методом наименьших квадратов аппроксимируют функциями

$\chi(h) = 3\alpha ljg|h|$, $\chi(h) = \alpha|h|$.

Выбор правильной модели этой зависимости самый главный этап обработки. График этой зависимости называют вариограммой. Вариограммы расчитывают как минимум по трем направлениям, чтобы убедиться в том, что распределение переменной изотропное. На практике чаще всего данные считают изотропными и стационарными.

Для точечного крайгинга необходимо построить уравнение скользящего среднего, а следовательно необходимо определить весовые коэффициенты в этом уравнении. Составляют СЛАУ для определения весовых коэффициентов.

Крайгинг позволяет получить более надежные оценки содержаний, чем полиномиальный тренд-анализ. Кроме того крайгинг позволяет дать оценкц вероятной ошибки

При вычислении прогнозных ресурсов углеводородов оценивают перспективы крупного региона. При вычислении оценки учитывают сходство с районами с установленной нефтегазоносностью, площадь территории, вещественный состав осадков, их вертикальную мощность, дислоцированность осадков. Одна из предлагаемых оценок:

$\lg Q = 1.613\lg W + 2.813,$

где Q – общие ресурсы, W – средняя объемная скорость осадконакопления (тыс. км^3/млн. лет).

Для подсчета запасов нефти в первом приближении необходимо вычислить:

$$Q = \iiint_V \alpha(x,y,z)m(x,y,z)\sigma(x,y,z)\eta(x,y,z)dV,$$

где переменные в порядке следования: коэффициент нефтенасыщенности, коэффициент открытой пористости, плотность нефти, коэффициент нефтеотдачи. Известно, что плотность нефти увеличивается при приближении к границе залежи, в том же направлении плотность газа уменьшается.

Для оценки прогнозных ресурсов используют уравнения регрессии:

$$\ln Q = \ln S + 0.1\ln D + 0.61\ln M - 0.5\ln\tau + 2\ln T - 0.5\ln C + 2\ln\vartheta + 2\ln\theta,$$

где переменные в порядке следования в уравнении: прогнозные ресурсы, площадь нефтесбора, мощность резервуара, доля сапропелевой составляющей, температура пород, время погружения резервуара на глубину более 300 м, содержание органического вещества, коэффициент структурного экранирования, коэффициент литологического экранирования.

Другое уравнение:

$$\ln Q = \alpha_1 \ln KC + \alpha_2 \ln B + \alpha_3 \ln \Pi + \alpha_4 \ln S + \alpha_5 \ln \Gamma + \alpha_6 y + \alpha_7 \ln r + \alpha_8 \ln\frac{A+a}{A},$$

переменные в порядке следования в уравнении: КС катагенное преобразование РОВ, В - отношение растворенных в воде органических кислот к содержанию гидрокарбонат-иона, $\Pi = \frac{h-l}{h}$, где h – общая мощность пласта в пределах ловушки, l – суммарная мощность глинистых прослоев в пласте, S – сорбционные свойства пласта, Г – нефтесборная площадь, у – мощность гидродинамически связанной толщи, r – частота возникновения условий для выделения углеводородов, А – амплитуда наиболее резкого регионального поднятия, а – амплитуда ловушки.

Набор признаков в уравнении регрессии для каждого района специфичен. Коэффициенты при признаках в уравнении регрессии для разных регионов разные.

Результат прогноза зависит от исполнителя работ и стадии геологоразведочной стадии.

При решении задач прогноза необходимо учитывать дисперсию признаков.

Основной результат геологоразведочных работ – промышленные запасы. Объем резервуара насыщенного нефтью вычисляют как произведение площади залежи на среднюю эффективную нефтенасыщенную мощность. Если результат умножить на пористость получим объем порового пространства. Если его умножить на коэффициент нефтенасыщенности получим объем нефти. Умножая плотности нефти на объем получим вес. Эту величину необходимо умножить на коэффициенты нефтеотдачи и коэффициент усадки – получим балансовые запасы. Для получения промышленных запасов необходимо балансовые запасы умножить на коэффициент извлечения.

Последовательность оценки запасов:

1. Определяют проницаемые интервалы в пласте. Строят карту эффективной мощности
2. Строят структурные карты кровли и подошвы пласта.
3. Определяют положение водно-нефтяного контакта.
4. Строят карту эффективной нефтенасыщенной мощности.
5. Находят объем нефтенасыщенных пород
6. Определение извлекаемых запасов.

В формуле подсчета запасов:

$$Q = Shm\eta\chi K_{но} K_{ус} .$$

используются средние постоянные значения параметров. Нередко изменчивость свойств не позволяет использовать это выражение для подсчета запасов, поскольку ошибки могут достигать десятков процентов.

Подсчет запасов золота

Подсчет запасов угля.

ЛЕКЦИЯ 13 ПРИНЦИПЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР И ЭТАПЫ АНАЛИЗА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Практикой выработаны принципы изучения недр:

1 **Принцип последовательных приближений.** Изучение геологического строения осуществляется последовательно в разных масштабах от мелкого к крупному, т. е. от общего к частному. Этот принцип обеспечивает оптимальность финансовых затрат, временных затрат и информационной содержательности получаемых результатов. Принцип последовательных приближений означает, что изучение проводится в последовательности: провинции, зоны, районы, структуры, участки. Министерством природных ресурсов Российской Федерации установлены стадии геологоразведочных работ:

1 стадия. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых (масштаб работ 1:500000 и мельче).

2 стадия. Поисковые работы. Цель работ - выявление проявлений полезных ископаемых.

3 стадия. Оценочные работы. Цель работ – отбраковка проявлений полезных ископаемых, не представляющих промышленной ценности.

4. Разведка месторождения. Цель работ – изучение месторождения для составления ТЭО освоения месторождения.

5. Эксплуатационная разведка.

2 **Принцип аналогии** – один из самых главных и давно применяемых принципов. Он предполагает сравнение с эталонами, например со

стратотипами. Для оценки перспектив площади проводят сравнение с хорошо изученными территориями со сходным геологическим строением.

3 **Принцип выборочной детализации** – проведение работ на выделенных участках с большей детальностью. На таких участках в больших объемах проводится бурение, изучение образцов лабораторными методами.

4 **Принцип равной достоверности.** На всей площади степень изученности должна быть одинаковой.

5 **Принцип полноты исследования.** Территорию необходимо всесторонне изучать всеми доступными методами. Например, изучить изменчивость физических свойств, ее связь с изменчивостью вещественного состава пород.

6 **Принцип разумных затрат –** оптимизация времени и финансовых затрат.

В разных методах изучения недр эти принципы приобретают свои особенности. Например, В.Н. Страхов сформулировал принципы при изучении недр потенциальными геофизическими методами, которые, в основном, справедливы и для других геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

Предварительная схема анализа геофизических полей указана в проекте работ. Несмотря на то, что геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых все более приближаются к стандартным технологиям, выполняемым в соответствии с установленным стандартом и инструкциями, они в значительной степени имеют исследовательский характер. Поэтому после проведения съемки уточняют последовательность анализа физических полей и перечень процедур и алгоритмов обработки и истолкования.

Анализ геофизических полей проводится в следующей последовательности:

1. Изучение работ предшественников. Анализ региональной геологической обстановки и всех имеющихся региональных геофизических полей. Постановка задач геологического истолкования геофизических полей. Определение сотрудников, своих и привлеченных из других организаций, способов и средств (программных пакетов), необходимых для истолкования геофизических материалов. Решение прямых задач и имитационное моделирование.

2. Обработка и анализ результатов измерений физических свойств горных пород. Определение законов распределения и величин эффективных параметров. Выявление корреляционных связей и зависимостей между свойствами. Построение уравнений регрессии вида:

$$\chi = A\sigma + B, \rho = C\chi + D.$$

3. Выделение структурно-вещественных комплексов (СВК) – выделение групп горных пород, которые можно определить по выбранному комплексу геофизических методов.

4. Качественная интерпретация. Предварительное определение геометрических и физических параметров СВК, с небольшим объемом вычислений, без решения объемных обратных задач. Составление схем геофизических полей

5. Количественная интерпретация для каждого метода – решение обратных задач для каждого физического поля с применением методов регуляризации. Создание однометодных физико-геологических объемных моделей. Увязка результатов истолкования данных полевых и скважинных измерений.

6. Комплексная интерпретация – согласование решений обратных задач. Выявление корреляционных связей между разными полями, между полями и геологическими границами. Результативные материалы содержат все объекты, выделенные по разным полям.

7. Геологическое истолкование – наделение геологическим содержанием выделенных объектов, результаты геофизических работ формулируются в геологических терминах: гранит, дайка, песчаник, пласт, падение, простирание и т. д. Составление геолого-геофизических разрезов и трехмерных моделей.

8. Разработка рекомендаций для дальнейших исследований. Выделение перспективных участков для изучения в крупном масштабе, перечень рекомендуемых методов изучения, прогнозные ресурсы.

Существует несколько **методообразующих идей** на основе которых разрабатывают методы истолкования:

Идея аналитической аппроксимации – приближенное описание реальных объектов. При обработке интегрирование заменяют суммированием, производные конечно-разностными схемами, широко применяются итерационные вычислительные схемы. Геологическая среда сложная, поэтому ее описывают простыми математическими конструкциями. Метод подбора – аналитическая аппроксимация.

Идея алгебраизации – описание задачи численными параметрами, сведение поставленных задач к решению алгебраических задач. Описание геологических поверхностей уравнениями. Определение параметров свести к решению уравнений.

Идея критериальности – решение задач и достижение цели должно оцениваться критериями, сформулированными на этапе планирования геологоразведочных работ. ДОЛЖЕН БЫТЬ ЗАДАН КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ.

Длительное время основным критерием был критерий наименьших квадратов. В последнее время рассматриваются другие критерии принятия решений:

1. В условиях неопределенности

   а) критерий равнозначных состояний Лапласа основан на построенной функции потерь

   б) максмина Вальда – поиск минимальных наибольших потерь (природа ведет себя как враг)

   в) минимакса сожалений –потери в результате упущенных возможностей на основе построения функции сожаления

   г) критерий пессимизма-оптимизма Гурвица

   выбор либо все плохо либо все отлично
2. В условиях риска

   а) критерий максимума ожидаемой полезности

   б) Критерий Ходжи – Лемана строится функция полезности

   в)критерий наиболее вероятного состояния

   г) критерий минимума ожидаемых сожалений

Идея согласования множества решений – усереднение характеристик по множеству решений, не противоречащих известным данным. Комплексное геологическое истолкование данных нескольких методов Один из подходов – обезразмеривание полей разной природы, их нормирование и переход к анализу произведений и сумм относительных величин. Другой подход – вычисление производных и интегралов (псевдополей).

Идея распознавания образов – процедуры принятия решений, суть которых наделение полученного набора параметров геологическим содержанием.

Задачу распознавания образов по геофизическим данным можно сформулировать следующим образом:

1. С помощью имитационного моделирования создать физико-геологические модели возможных типов месторождений.
2. Разбить изучаемую площадь на участки, отличающиеся по геофизическим данным.
3. Выделение признаков, которые свидетельствуют о возможном рудном процессе
4. Отнесение участков к группе заслуживающих дальнейшего изучения и бесперспективных.
5. Геологическое истолкование с помощью процедур искусственного интеллекта, Окончательное решение принимается естественным интеллектом, основанным на квалификации, интеллекте, эрудиции и интуиции интерпретатора (информация мать интуиции).

Существует два подхода: с использованием эталона искомых объектов – образа геологического объекта в многомерном пространстве. Для создания надежного эталона необходимо иметь сведения о десятках месторождений, что крайне редко возможно. Безэталонная классификация – задача естественного расслоения многомерных данных. Выделенные классы могут не иметь геологического содержания.

Идея гарантированного подхода.

Опыт истолкования геолого-геофизических данных позволил выделить принципы анализа: выделение областей заведомо не содержащих источники и областей гарантировано содержащих искомые источники (геологические тела).

ЛЕКЦИЯ 11 ПРИНЦИПЫ АНАЛИЗА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

1.**Целенаправленности** – любые геологоразведочные работы проводятся для достижения цели поставленной в проекте работ, например, поиска мелких по запасам месторождений угля до глубины 500 м. Сеть измерений, алгоритмы обработки, граф истолкования геолого-геофизических данных – должны обеспечить достижение цели.

Цель работ определена геологическим заданием, она указана на обложке проекта работ: Проект на проведение геофизических работ масштаба 1:10000 в Коркинском районе Челябинской области в 2018 г. с целью поисков месторождений угля. Анализ геофизических данных направлен на достижение поставленной цели.

Для достижения цели необходимо поставить задачи каждому геофизическому методу комплекса геологоразведочных работ, решение которых приведет к успеху. Например, провести электроразведку, ВСП, РВП с целью выделения зон метасоматоза.

2. **Системности** – анализ проводится с учетом всех связей, всех геолого-геофизических данных, а не только того поля, которое изучают. Принцип системности основан на двух базовых положениях:

1 Всеобщей связи – система представляет собой набор элементов взаимодействующих друг с другом. Особенно ярко это проявляется на месторождениях высокомагнитных руд.

2 Иерархии – упорядоченности объектов, находящихся на территории, в некоторой последовательности, например, по перспективности для дальнейшего изучения и масштабу проводимых работ.

Построение системной модели геологической среды проводят по:

- противоречивым данным, поскольку геофизические поля обусловлены различными физическими свойствами,

- отрывочным данным, на различных участках в нашем распоряжении не все поля, на некоторых участках съемку провести невозможно (болото, обрыв, техногенные помехи),

- при отсутствии некоторых данных, (не было проведено измерение остаточной намагниченности)

- несогласованным данным, измерения чаще всего по разным сетям пунктов,

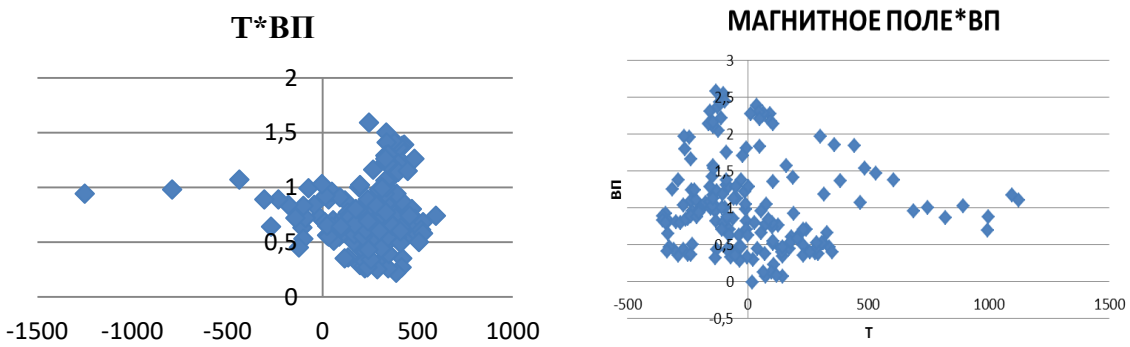
- неопределенности, свойства горных пород на площади меняются в некотором диапазоне,

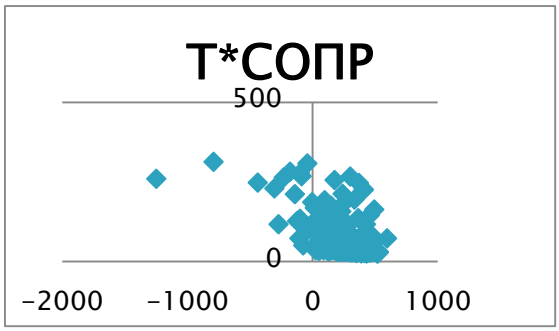
- при невозможности формализации некоторых данных (окраска породы, цвет черты, текстура, структура породы, открытая пористость, закрытая пористость, и т. д.).

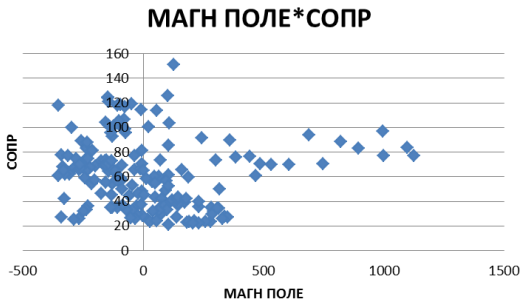
- геологическая среда представляет собой набор многокомпонентных сложно построенных объектов, связанных множеством взаимосвязей, причем некоторые взаимосвязи не всегда можно описать количественными соотношениями.

Выявление этих связей часть процесса истолкования. Геологическая среда не механический набор элементов, а единый объект, состоящий из взаимодействующих элементов, что приводит к новому качеству. Это свойство наиболее ярко проявляется в геофизических полях. Изменение одного элемента модели влечет изменение всей модели. При поисках золота при приближении к рудной зоне, часто устанавливают резкое увеличение дисперсии полей, противоположное изменение кажущегося сопротивления, поляризуемости, магнитного поля (рис. 11.1).

Использования корреляционных связей – при проведении комплексной интерпретации необходимо учитывать связи между физическими параметрами, которые отражают вещественный состав геологических объектов. На основе выявленной корреляционной связи плотности и скорости упругих волн в горных породах по данным сейсморазведки создают объемную плотностную модель, для которой решают обратную задачу гравиразведки.







РУДНЫЙ БЕЗРУДНЫЙ

Рис.11.1 Поле корреляции рудных и безрудных участков

Многостадийности – одну и ту же территорию изучают в соответствии со стадиями геологоразведочных работ. Работы проводят в последовательности соответствующей стадиям геологического изучения и масштабам: региональной - 1:100000, 1:50000, поисковой - 1:10000 и так далее. Сначала изучают региональное поле, потом локальное. Изучение площади завершают детальными работами и измерениями на интерпретационных профилях с меньшим шагом наблюдений и повышенной точностью на перспективных участках. Геологические работы на одной площади направлены на решение разных геологических задач: геологическое картирование, поиски и т.д. Сначала изучают структуры, затем СВК, затем поиск МПИ, затем изучение отдельных рудных тел и залежей.

3. **Определяющей роли интерпретационного процесса** – весь процесс изучения построен под имеющиеся технологии истолкования. Прежде чем проводить полевые работы необходимо определить, какие процедуры обработки и в какой последовательности будут применены к результатам измерений и полученным данным. Процесс истолкования полезно изображать в виде сетевого графика (графа) или диаграммы Грамма. Процесс анализа результатов и перечень процедур обработки предусматривается проектом, их корректируют в ходе выполнения работ.

Предварительная схема анализа геофизических полей указана в проекте работ. На основе схемы составляется смета, т. е. выделяют деньги, в том числе на заработную плату. Несмотря на то, что геологоразведочные работы все более приближаются к стандартным технологиям, выполняемым в соответствии с установленным стандартом, они в значительной степени имеют исследовательский характер. Поэтому после проведения съемки определяют последовательность анализа физических полей и корректируют граф обработки (принципы 7 и 8).

4.**Формализации** – поставленные задачи необходимо перевести на язык математики. Это идеализация, следует помнить, что геологическая задача не

тождественна математической задаче. Геологические границы аппроксимируют и описывают линейными функциями, что конечно является приближением и идеализацией реальной геологической обстановки.

Геологические термины и понятия нельзя выразить в строгой математической форме, как впрочем биологические, исторические и другие. В ином случае осталась бы одна наука – математика. Название горной породы изначально допускает широкий диапазон изменения минерального состава, что находит отражение в физических свойствах и полях и приводит к необходимости описания среды усредненными характеристиками. Возможно и обратное – существенное изменение физических свойств с геологической точки зрения ничего не меняет. Например, небольшое изменение содержания магнетита в горной породе существенно меняет интенсивность магнитного поля.

В методе подбора стремятся к близости измеренного поля и теоретического. До появления ЭВМ степень близости (качество подбора) оценивалась интерпретатором. При компьютерной обработке необходимы математические оценки. Формальное выражение идеи подбора:

$$\sum_{i=1}^{N}\left(g_{i_i}^{ИЗМЕР} - g_i^{TEOP}\right)^2 \to MIN$$

Выбор критерия минимизации не отражает геологическое содержание задачи. Его заимствуют из другой отрасли знаний – математики. Критериев близости функций, используемых в разведочной геофизике много: МНК, минимакса и другие.

Линеаризации – сведение нелинейных уравнений при небольшом изменении аргументов или параметров задачи к линейным уравнениям, использование самых простых линейных зависимостей, методика работы с которыми хорошо разработана:

для плотности $\sigma = Av + B$,

положение плотностной границы $H = C\Delta g + D$.

Часто используют разложение аналитических функций в ряд и выделение линейной части ряда:

ряд Тейлора $f(x+\Delta x) = f(x) + f'(x)\Delta x + ...$

Это разложение применяется при выводе формулы электрического потенциала диполя:

бином Ньютона $(1+x)^n = 1 + nx + ...$

Разложение применяется при выводе формулы расчета влияния небесных тел на величину силы тяжести и при выводе формулы влияния наклона оси чувствительности гравиметра. Пример: взаимосвязь плотности и магнитной

восприимчивости, глубины геологической границы свит с разной плотностью и интенсивности физического поля.

Регуляризации - применение методов преодоления некорректности (отсутствие решения в выбранном модельном классе, множественности решений, неустойчивости) обратных задач. Формальная запись регуляризующего алгоритма:

$$\sum_{i=1}(f_{ИЗМ} - f_{ТЕОР})^2 + \sum(P_{i0} - P_{iПОДБОРА})^2 \Rightarrow MIN\,,$$

В этом выражении второе слагаемое обеспечивает не слишком большое отклонение от начальной модели геологического строения.

Параметризации – сведение поставленной геологической задачи к отысканию относительно небольшого числа параметров (десятки в 60-е годы XX века, 30000 – 40000 в современное время). Чем меньше параметров, тем устойчивее решение, т.е. уменьшение влияния изменения начального приближения на решение. Чем меньше параметров, тем грубее аппроксимация среды. **Уменьшение числа определяемых параметров основной путь снижения степени некорректности обратной задачи**.

Шар и круговой горизонтальный цилиндр определяются 3 параметрами, прямоугольный параллелепипед – 7 параметрами, усеченная 4-хугольная пирамида – 9.

Редукции математической задачи к СЛАУ – методы решения СЛАУ разных типов хорошо разработаны, чего нельзя сказать о системах нелинейных. Описание поля с помощью кубических сплайнов сводят к решению СЛАУ размерности $4N$, где N – число звеньев. Также подбирают региональный фон в виде линейной функции – по характерным не искаженным локальными аномалиями значениям поля. Задача аналитической аппроксимации сводится к решению СЛАУ. К решению СЛАУ сводят решение интегральных уравнений.

Упрощение задачи путем использования эквивалентных источников для решения частных задач – аналитическая аппроксимация. Под аналитической аппроксимацией подразумевают замену значений поля набором сингулярных источников, т. е. источниками, не имеющими объема (стержни, полосы, точки и т.п.). Определение мощности источников приводит к решению СЛАУ. Окончательное решение формулируют в геологических терминах. Сингулярные источники применяют для формального описания поля, в тех случаях, когда не ставят задачу определения геологического строения.

5. **Модельности** – на основе априорной информации формируют геологическую модель, геометрическую модель среды, модель поля, модель связи физических параметров:

$$\chi = A\sigma + B, \quad \rho = C\chi + D,$$

модель интерпретации. В геологии, моделирование – процесс уточнение усовершенствования ранее существующей модели на основе полученных новых данных (рис. 11.2). Модель отражает только существенные свойства прототипа. Лучшая модель кота – это кот, желательно тот же самый. Модель всегда отражает часть свойств объекта, другая часть свойств не рассматривается. Особенность геологоразведки в том, чтоцель и результат работ – создание модели.

Широкое использование **имитационного моделирования** – необходимо провести решение прямых задачи для большого числа геологических ситуаций, как рудных, так и безрудных, для разных масштабов оруденения и уровня эрозионного среза. Имитационное моделирование позволяет рассмотреть большое количество возможных ситуаций, в том числе таких которые ранее на рассматриваемом объекте не зафиксированы. Имитационное моделирование позволяет оценить несколько конкурирующих гипотез о геологическом строении территории.

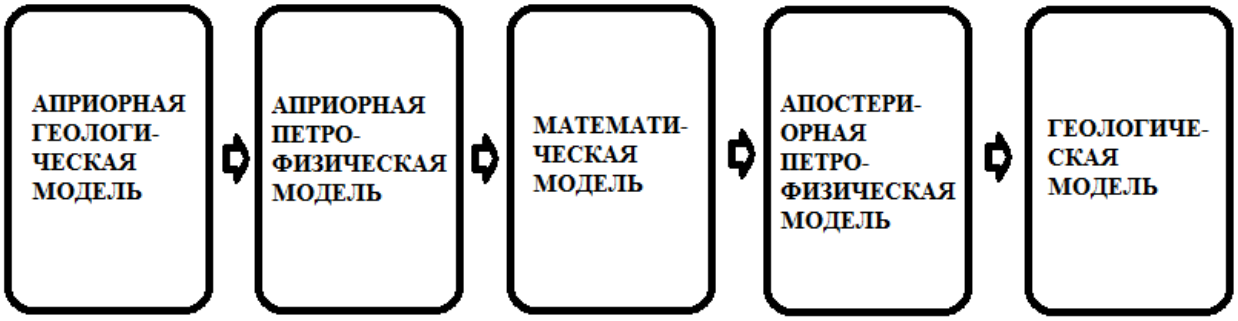


Рис.11.2 Схема создания геолого-геофизической модели

6. **Принцип обратной связи** – в процессе анализа по мере накопления новых знаний в результате проведенных работ или обнаружения новых данных необходимо корректировать исходные модельные представления или менять цель работ и задачи отдельных методов ГРР. На рис. 11.3 представлена модель месторождения, в которой направление падения рудного тела после проведения гравиразведки изменено на противоположное. Падение рудного тела не совпадает с падением границ вмещающих комплексов.

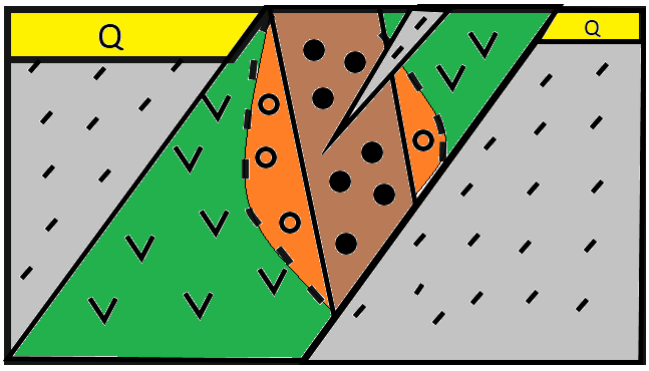


Рис. 11.3 Модель месторождения

7. **Адекватности** используемого инструментария – методы истолкования не должны противоречить реальной ситуации. Например, при изучении горных районов нельзя использовать идеализацию плоской поверхности наблюдений. Всегда необходимо учитывать конечность области, на которой измерено поле (при использовании интегральных методов учитывают только конечную область), поскольку наши континуальные теории решения обратных задач предполагают измерения на бесконечной площади. Измерения проводятся неточно с некоторой погрешностью. Поэтому проводить подбор поля проводят с погрешностью не меньшей чем утроенная погрешность съемки. При значительных размерах территории (L>200 км) необходимо учитывать сферичность нашей планеты. В континуальных теории принято, что поле известно в каждой точке. При полевых работах измерения проводятся в узлах дискретной сети пунктов.

8. **Простоты и общности используемых средств** – не следует использовать сложные процедуры там, где можно обойтись простыми средствами, особенно если это не приводит к приросту получаемой информации. Для описания связей физических параметров используют полиномы 1 или 2 степени, редко 3 степени. Для описания геологических поверхностей применяют полиномы невысоких степеней. Чаще всего в геофизике применяют для аппроксимации линейные функции, тригонометрические функции, логарифмические функции.

9. **Использование искусственного интеллекта.** Применение алгоритмов имитирующих разумные действия человека, направленные на распознавание образов. Искусственный интеллект это программы реализующие алгоритмы самообучения. Такие программы должны реагировать на изменение ситуации, отчасти моделирующие эволюцию. Например, алгоритм отжига (отсечение лишнего), алгоритм нейронных сетей, алгоритм муравья (задача комивояжера), генетические алгоритмы, алгоритмы нечеткой логики, алгоритм систем с правилами, марковские цепи, умные агенты. Признак интеллекта логические операции, процедуры выбора из нескольких возможных вариантов, описывающие правила принятия решения. Особенно популярны алгоритмы интерпретации нейронных сетей при геофизических исследованиях скважин.

В ближайшем будущем технологии искусственного интеллекта будут доминировать во всех геофизических методах и на полевых работах, и при проведении геологического истолкования, и особенно при истолковании комплексных данных.

10. **Изучения помех** – без правильной оценки погрешности в измеренных данных истолкование проводить нельзя. Например, требование к сечению изолиний исключают появление аномалий, обусловленных инструментальной

погрешностью и методикой измерений. Необходимо оценивать географические и геологические помехи. Геологические помехи создают объекты, поле которых при выбранной сети измерений значимо не более чем в двух пунктах измерений. Существуют помехи связанные с поверхностью наблюдения и сферической формой нашей планеты, их величина может существенно исказить поле объекта.

В настоящее время распределение помех описывают нормальным законом распределения. Практика указывает на то, что распределение помех на площади неравномерное по величине и в пространстве.

11. **Исключения известного** – эффекты, обусловленные известными объектами, необходимо исключить из рассмотрения. Такая процедура носит название геологическое редуцирование. Из измеренного поля вычитают поле известных объектов, полученные в результате решения прямых задач, что подчеркивает значимость большого набора процедур решения прямых задач в интерпретационных пакетах. Это неизбежно уменьшит область неоднозначности и неустойчивость решения обратной задачи. Этот процесс самый эффективный способ уменьшения степени некорректности обратной задачи. Исключение регионального фона с помощью геологического редуцирования – самый точный способ его учета.

12. **Геологической содержательности** – результат работ должен соответствовать поставленной геологической цели. Результат истолкования необходимо представлять в геологических терминах (рис. 11.3). Например, выделение участков для дальнейшего детального изучения, признание территории бесперспективной, аномалия обусловлена дайкой порфиритов, аномалия обусловлена железными рудами (магнетитовыми).

13. **Оптимизации** – разработка критериев оценки эффективности проведенного анализа. Оптимум это согласование противоречивых требований. Рациональный комплекс геофизических методов должен отвечать требованиям:

- наименьшие затраты,
- получение полной информации об объекте поисков,
- наименьшее время выполнения работ.

Можно построить целевую функцию, минимум или максимум которой необходимо найти:

$$F = \alpha I + \beta Z + \gamma T .$$

Часто математические критерии не отражают геологическую суть задачи. Например, при использовании гарантированного подхода не ищут минимум целевой функции.

Следует помнить, что оптимизация приводит к абсурду, если не учитывать содержание задачи.

14. **Адаптации** – любая методика!!! анализа в конкретных условиях видоизменяется, приспосабливается к геологической ситуации, сети измерений, рельефа, мощности рыхлых отложений. Например, для КМА используют пластовые элементарные тела, для кимберлитовых тел вертикальные эллиптические цилиндры, усеченные конусы и др.

Анализ геофизических полей проводится в следующей последовательности:

1. Изучение работ предшественников. Анализ региональной геологической обстановки и региональных геофизических полей. Постановка задач геологического истолкования геофизических полей. Определение сотрудников, своих и привлеченных из других организаций, способов и средств (программных пакетов), необходимых для истолкования геофизических материалов. Решение прямых задач и имитационное моделирование.

2. Обработка и анализ результатов измерений физических свойств. Определение законов распределения и величин эффективных параметров. Выявление корреляционных связей и зависимостей между свойствами.

$$\chi = A\sigma + B, \rho = C\chi + D.$$

Построение уравнений регрессии вида:

$$\chi = A\sigma + B,\ \delta f = \alpha H + \eta$$

3. Выделение структурно-вещественных комплексов (СВК) – выделение групп горных пород, которые можно определить по выбранному комплексу геофизических методов.

4. Качественная интерпретация. Предварительное определение геометрических и физических параметров СВК, с небольшим объемом вычислений, без решения объемных обратных задач. Составление схем геофизических полей.

5. Количественная интерпретация для каждого метода – решение обратных задач для каждого физического поля с применением методов регуляризации. Создание однометодных объемных моделей. Увязка результатов истолкования данных полевых и скважинных измерений. Создание комплексных объемных моделей.

6. Комплексная интерпретация – согласование решений обратных задач. Выявление корреляционных связей между разными полями, между полями и геологическими границами. Результативные материалы содержат все объекты, выделенные по разным полям.

7. Геологическое истолкование – наделение геологическим содержанием выделенных объектов. Составление геолого-геофизических разрезов и трехмерных моделей.

8. Разработка рекомендаций для дальнейших исследований. Выделение перспективных участков для изучения в крупном масштабе.

Распознавание образов.

Любой метод истолкования геолого-геофизических данных, по сути, комбинация идеи аналитической аппроксимации и идеи распознавания образов. Распознавание образов предполагает создание образов, образов месторождений, структурно-вещественных признаков, тектонических нарушений, зон метасоматоза. Образ определен значениями интенсивности полей, характеристиками полей и. т. п т. е. набором признаков. Таким образом, первый этап распознавания - формирование набора признаков искомого объекта. Второй этап отнесение выявленного объекта к конкретному классу.

Один из алгоритмов классификации – ART1- **алгоритм адаптивного резонанса** предназначен для:

определение числа классов, максимально возможное число.

набор признаков класса, побитовый набор

отнесение объекта к классу.

1 Формирование группы векторов признаков для каждого класса. Вектор прототип относится к центру класса.

2 Вводится параметр внимательности ρ со значениями из интервала (0, 1).

3 β-параметр – параметр разрушения связей – небольшое положительное число.

4 Значимость вектора – количество элементов вектора не равных 0

5 Е-вектор признаков

Пример:

Алгоритм нейронные сети. Основы конструирования искусственных нейронных сетей. Искусственные нейронные сети чрезвычайно разнообразны по своим конфигурациям, но основу каждой НС составляют относительно простые, в большинстве случаев - однотипные, элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов головного мозга. Далее под нейроном будет подразумеваться искусственный нейрон, т. е. ячейка НС. Каждый нейрон характеризуется своим текущим состоянием по аналогии с нервными клетками головного мозга, которые могут быть возбуждены или заторможены. Он обладает группой синапсов - однонаправленных входных связей, а также имеет аксон - выходную связь данного нейрона, с которой сигнал (возбуждения или торможения) поступает на синапсы следующих нейронов. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом *Wi*, который по физическому смыслу эквивалентен электрической проводимости.

Текущее состояние нейрона определяется как взвешенная сумма его входов:

$$S = \sum XiWi . \qquad (2.1)$$

Выход нейрона есть функция его состояния: $Y = f(S)$, где *f*- активационная функция.

Все НС работают по принципу параллельной обработки сигналов, который реализуется путем объединения большого числа нейронов в так называемые слои и соединения нейронов различных слоев, а также, в некоторых конфигурациях, и нейронов одного слоя между собой, причем обработка взаимодействия всех нейронов ведется послойно.

Теоретически число слоев и число нейронов в каждом слое может быть произвольным, однако фактически оно ограничено ресурсами компьютера или специализированной микросхемы, на которых обычно реализуется НС. На рис. 11.4 приведен пример трехслойной сети (трехслойного персептрона).

Вопрос о необходимых и достаточных свойствах сети для решения того или иного рода задач представляет собой целое направление нейрокомпьютерной науки. Так как проблема синтеза НС сильно зависит от решаемой задачи, дать общие рекомендации затруднительно. В большинстве случаев оптимальный вариант получается на основе интуитивного подбора.

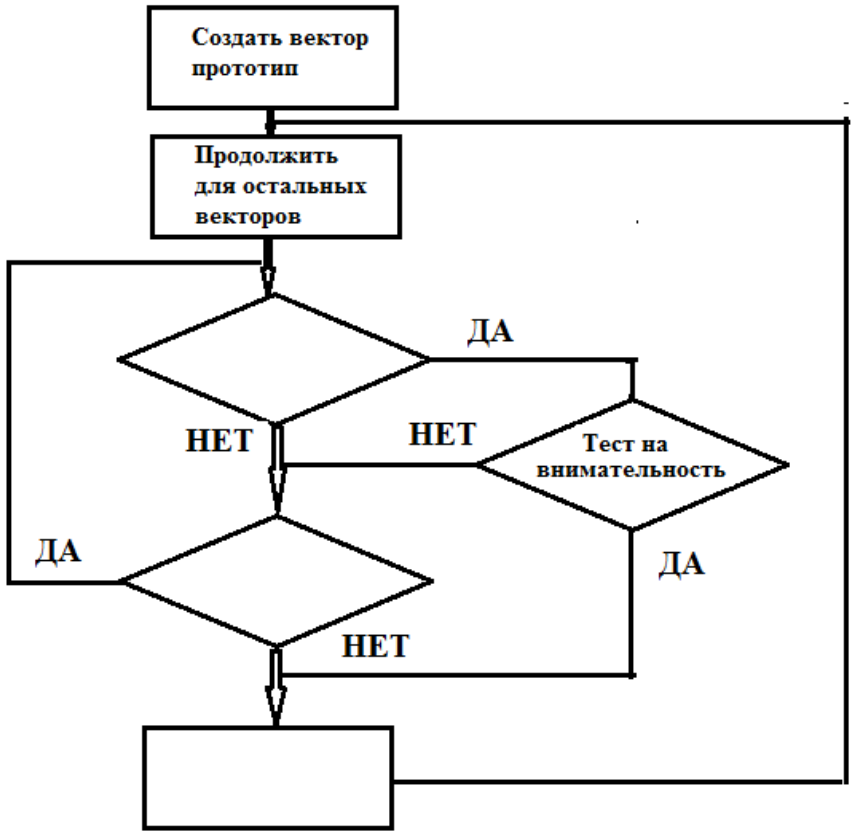


Рис. 11.4 Схема трехслойного персептрона.

ЛЕКЦИЯ 15 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Метод исследований: математическое моделирование. Составлена трехслойная модель, отражающая различные уровни эрозионного среза. Проведено исследование модели.

Модель среды состоит из 9 блоков с размером сечения 400×400 м. Полный геологический разрез, представлен в центральном блоке рисунок 1, состоит из нижней свиты преимущественно андезитового состава мощностью 160 м с магнитной восприимчивость 200010 ед. СИ, средней свиты сложенной кислыми вулканитами мощность 160 м с магнитной восприимчивостью 0 ед. СИ, и верхний слой сложенный осадочными породами мощностью до 40 м с магнитной восприимчивость -1000 ед. СИ. На территории распространены дайки и штоки андезитов и дацитов, достигающие в поперечнике первых сотен метров. На участке широко проявлены процессы пропилитизации, окварцевания, аргилизации, сульфидизации, карбанитизации и гемотитизации.

Все остальные блоки составлялись в соответствии с эрозионным процессом, с уменьшением мощности верхнего слоя в 2 раза, допустимая минимальная мощность 20 м. Исходя из этих условий, были рассчитаны параметры геологической модели (табл. 1) по данным которой был составлен рисунок 1.

Таблица 1 – Параметры геологической модели.

№ Блока	№ Слоя	Глубина до верхней кромки, м	Глубина до верхней кромки, м	Магнитная восприимчивость среды ед. СИ
1	1	0	40	-1000
	2	40	200	0
	3	200	360	2000
2	1	0	20	-1000
	2	20	180	0
	3	180	320	2000
3	1	0	160	0
	2	160	320	2000
4	1	0	80	0
	2	80	160	2000
5	1	0	40	0
	2	40	200	2000
6	1	0	20	0
	2	20	180	2000
7	1	0	160	2000
8	1	0	80	2000
9	1	0	40	2000

Анализ результатов. Диапазон измерений поля модели совпадает с диапазоном измеренного поля. Наименьшее значение поля соответствуют полному геологическому разрезу. На плане изодинам можно заметить, что в южной части поле плавно возрастает с запада на восток, это отражает изменение глубины залегания положительно намагниченного пласта, и в действительности в составленной мной геологической модели (рис. 1) происходит эрозионный срез в направление с востока на запад, то есть положительная магнитная толща опускается в этом направлении. Причем на западе эту толщу на поверхности перекрывает небольшой слой осадочных пород, имеющий отрицательную магнитную восприимчивость, это так же отмечается на плане изодинам. Рассмотрев северную часть плана можно увидеть обратную картину, поле уменьшается с запада на восток, но с более высоким градиентом, нежели на юге, что является следствием уменьшения мощности намагниченного пласта. Сравнивая западную и восточную части плана изодинам, которые имеют большие значении поля, можно сделать вывод, что западная часть залегает ближе к поверхности, нежели восточная, так как максимальное значение поля в западной части на 100 нТл больше чем в восточной. Это подтверждается и заданной геологической моделью (рисунок 1), на ней блок 6 расположенный на западе имеет менее мощный, на 20 м меньше, верхний немагнитный слой, чем блок 5 расположенный на востоке.

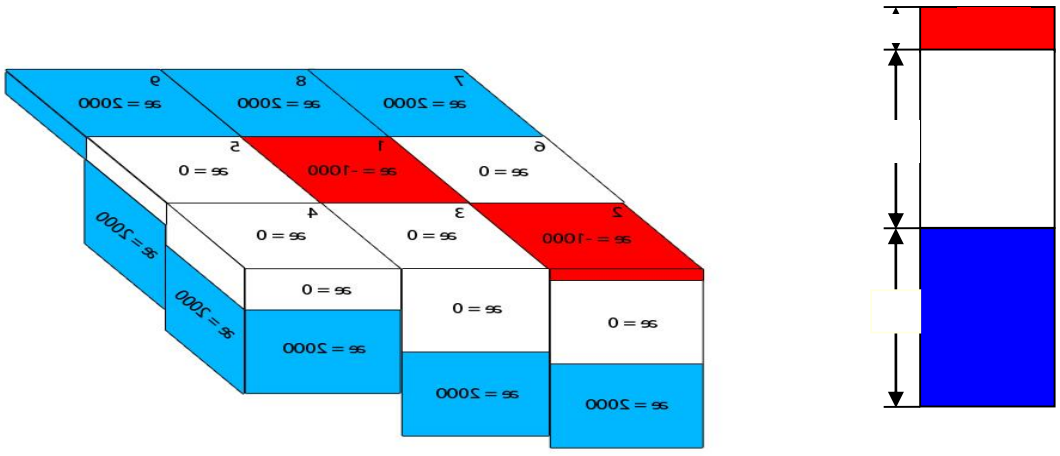
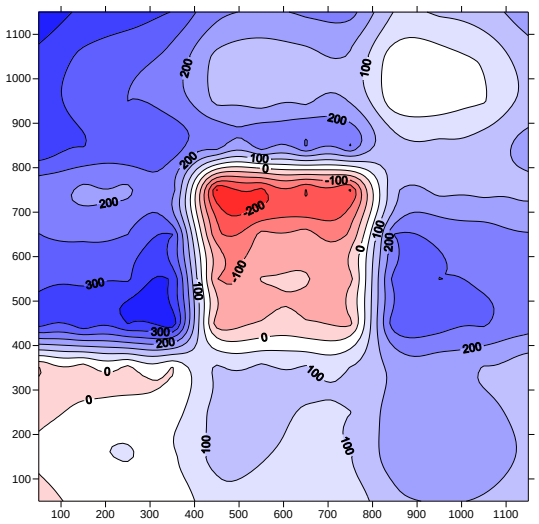
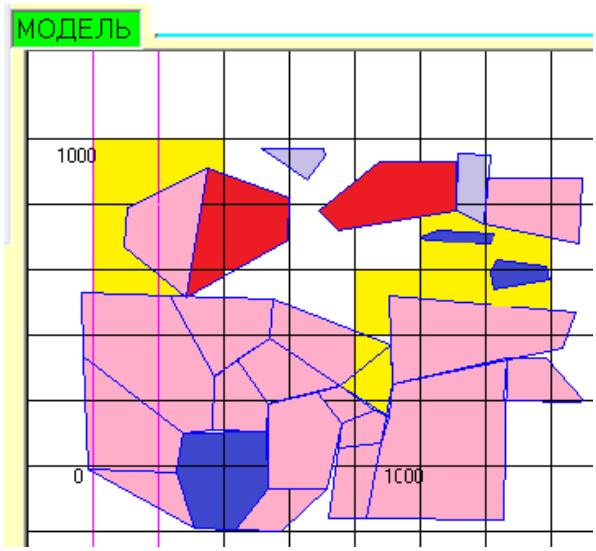


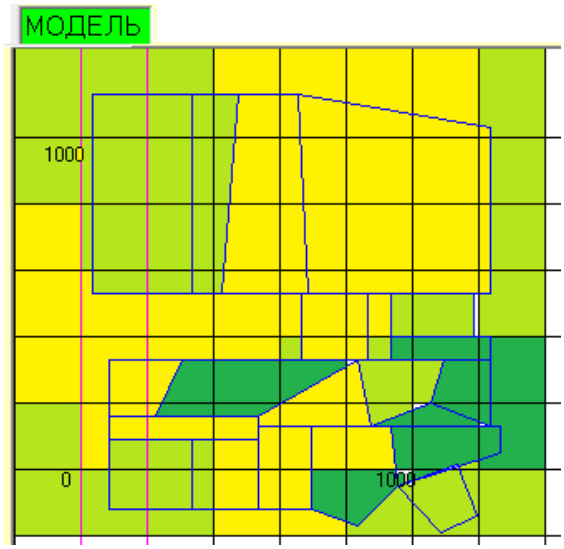
Рисунок 1 – Модель среды

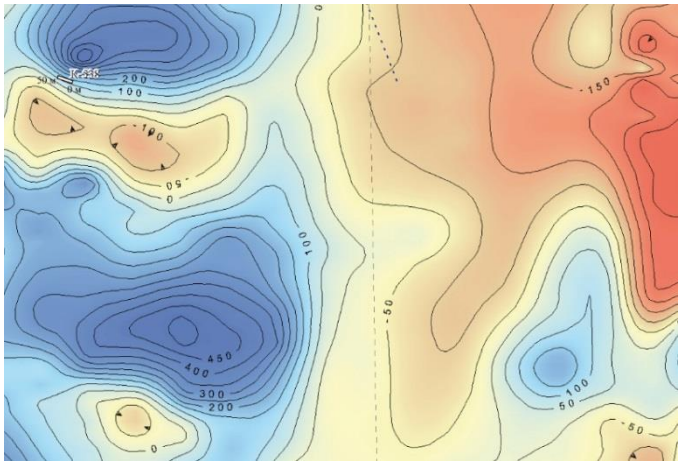


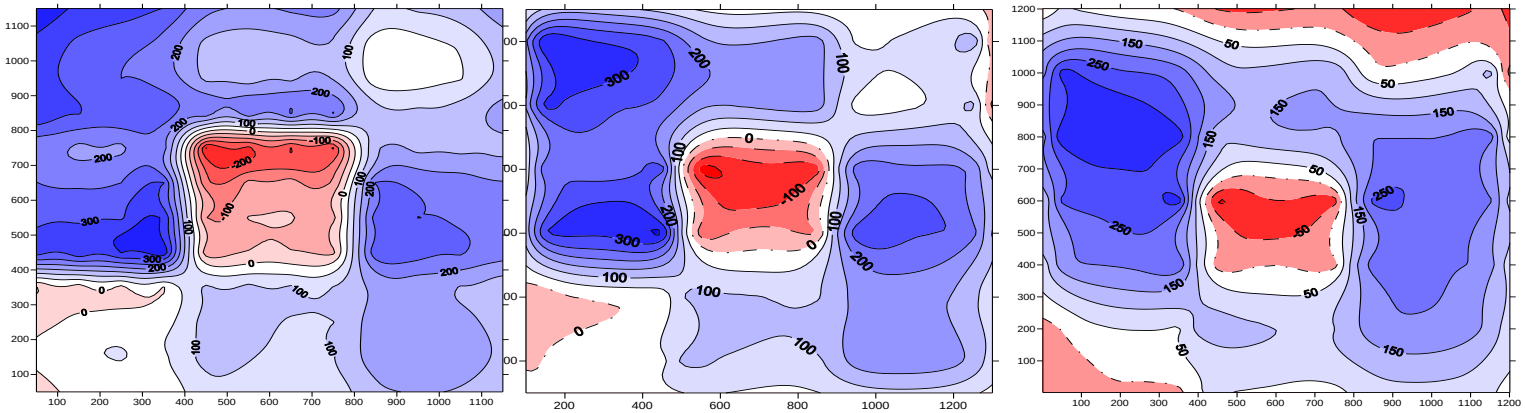
Штоки андезитов обусловливают положительные аномалии магнитного поля интенсивностью до 300 нТл. Штоки дацитов обусловливают аномалии до -200 нТл. Метосамотические изменения вблизи

интрузивных тел вызывают изменение интенсивности магнитных аномалий.
Выводы:

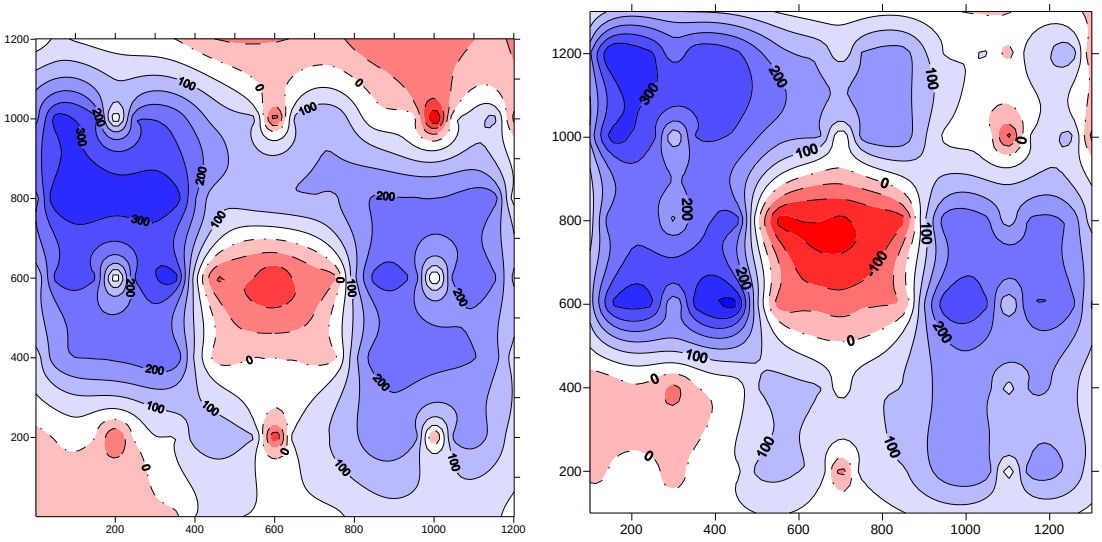


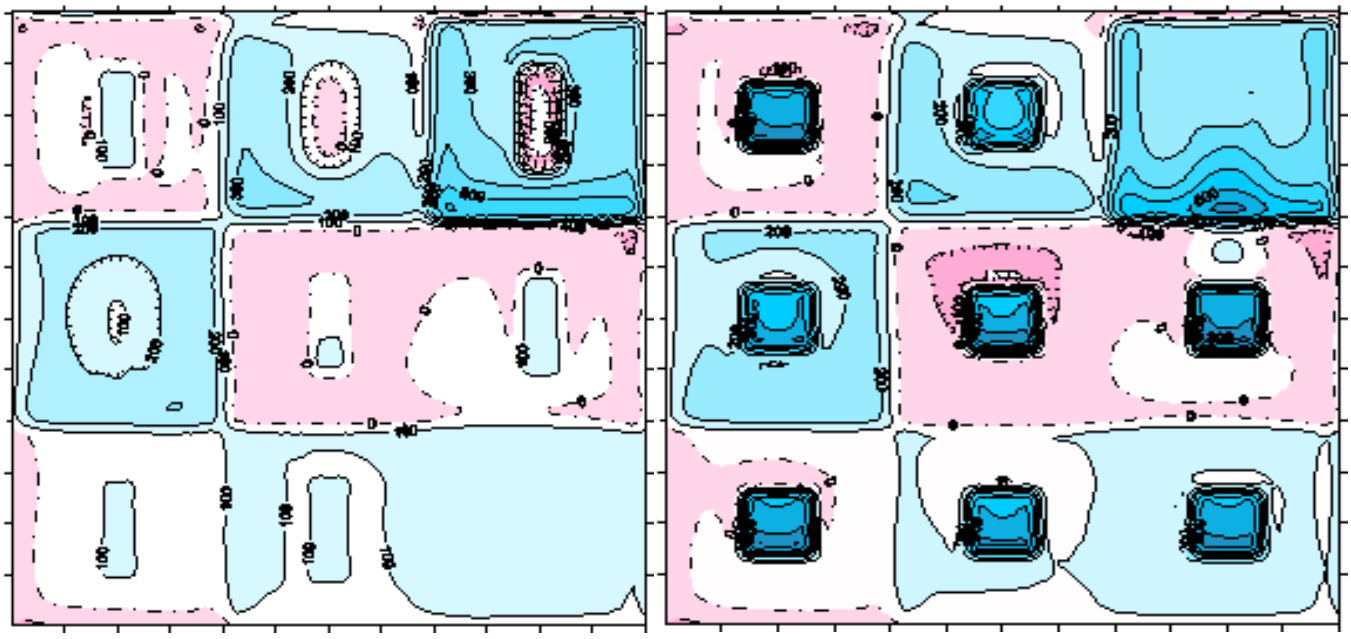






ВЛИЯНИЕ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ


1200
1000
800
600
400
200
200
400
600
800
1000
1200



25 МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Ряды Фурье.

$$T_{ij} = \sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} a_{ij} \cos\frac{2\pi i x_i}{\Delta x}\cos\frac{2\pi j y_j}{\Delta y} + \sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} b_{ij} \cos\frac{2\pi i x_i}{\Delta x}\sin\frac{2\pi j y_j}{\Delta y} +$$

$$+ \sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} c_{ij} \sin\frac{2\pi i x_i}{\Delta x}\cos\frac{2\pi j y_j}{\Delta y} + \sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} d_{ij} \sin\frac{2\pi i x_i}{\Delta x}\sin\frac{2\pi j y_j}{\Delta y} +$$

$$a_{ij} = \frac{1}{h}\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty} T_{ij} \cos\frac{2\pi i x_i}{\Delta x}\cos\frac{2\pi j y_j}{\Delta y}$$

Решением уравнения Лапласа является потенциал $W(x,y,z) = e^{-iax-iby-cz}$, где $c^2 = a^2 + b^2$. Это решение может быть получено методом разделения переменных. Линейная комбинация таких функций с произвольными коэффициентами также будет решением уравнения Лапласа. В том числе решением будет:

$$W(x,y.z) = \frac{1}{4\pi^2}\iint_{P_1} S(a,b)e^{-cz-iax-iby}\,dadb \qquad (1),$$

где $S(a,b)e^{-cz}$ - преобразование Фурье функции $W(x,y,z)$ относительно переменных x и y. Обратное преобразование Фурье

$$S(a,b) = \iint_{P_0} e^{iax+iby} W(x,y)\,dxdy \qquad (2).$$

Измерения поля проводят в пунктах равномерно расположенных на изучаемой площади. После проведения процедуры интерполяции наблюденных данных получаем значения поля в узлах квадратной сети. Тогда гармоническая функция $W(x,y)-$ функция с ограниченным спектром, так как она известна только в узлах квадратной сети со стороной Δx. Поэтому она может быть представлена в виде функции значения которой в узлах совпадают с данными измерений:

$$W(x,y) = \sum_k\sum_n W(k\Delta x, n\Delta x)\frac{\sin\pi(x/\Delta x - k)}{\pi(x/\Delta x - k)}\frac{\sin\pi(y/\Delta x - n)}{\pi(y/\Delta x - n)}.$$

Преобразование Фурье функции $S(a,b)$ в квадрате $-\pi/\Delta x < a < \pi/\Delta x$, $-\pi/\Delta x < b < \pi/\Delta x$ можно записать:

$$S(a,b) = \Delta x^2 \sum_k\sum_n W(k\Delta x, n\Delta x)e^{k\Delta x i a + n\Delta x i b},$$

а вне квадрата она равна нулю.

Без ограничения общности рассуждений можно считать сторону квадрата равной единице. Тогда после подстановки получим:

$$W(x,y,z) = \frac{1}{4\pi^2}\iint_{P_1}\sum_k\sum_n W(k,n)e^{kai+nbi-cz-iax-iby}\,dadb = \sum_k\sum_n W(k,n)\iint_{P_1} e^{-iz+(k-x)ai+(n-y)bi}\,dadb,$$

где P_1 квадрат $-\pi < a,b < \pi$.

Принимаем $x = y = 0$, тогда

$$W(0,0,z)=\sum_k\sum_n W(k,n)\frac{1}{4\pi^2}\iint_{P_1} e^{-cz+kai+nbi}dadb.$$

Обозначим:

$$C(k,n)=\frac{1}{4\pi^2}\int_{-\pi}^{\pi} e^{-cz+kai+nbi}dadb,$$

получим:

$$W(0,0,z)=\sum_k\sum_n W(k,n)C(k,n).$$

Учитывая симметрию задачи область интегрирования можно уменьшить вчетверо, достаточно взять область $(0-\pi,0-\pi)$.

$$C(k,n)=\frac{1}{4\pi^2}\int\int e^{-cz}\left(e^{ika+nbi}+e^{-kai+nbi}+e^{kai-nbi}+e^{-kai-nbi}\right)dadb=\frac{1}{\pi^2}\int\int e^{-cz}\cos ka\cos nbdadb$$

Область интегрирования, учитывая симметрию относительно биссектрисы, квадрата можно уменьшить вдвое:

$$C(k,n)=\frac{1}{\pi^2}\int_0^{\pi}\cos kada\int_0^{a} e^{-cz}\cos nbdb+\frac{1}{\pi^2}\int_0^{\pi}\cos nb\int_0^{b} e^{-cz}\cos kada=$$

$$=\frac{1}{\pi^2}\int^{\pi} da\int_0^{a} e^{-cz}(\cos ka\cos nb+\cos na\cos kb)db.$$

Введем новую переменную $b=au$, получим:

$$C(k,n)=\frac{1}{\pi^2}\int_0^{\pi} ada\int_0^{1} e^{-az\sqrt{1+u^2}}(\cos ka\cos nua+\cos na\cos rua)du=$$

$$=\frac{1}{\pi^2}\int_0^{1} du\int_0^{\pi} e^{-az\sqrt{1+u^2}}(\cos ka\cos nau+\cos na\cos kua)ada.$$

Коэффициенты преобразования для продолжения поля можно найти численным интегрированием с помощью математических пакетов MATLAB, MathCad, Mathematica. Придавая z разные значения кратные расстоянию Δx, получим коэффициенты для вычисления поля в верхнем пространстве или в нижнем пространстве. Вычисленные коэффициенты можно использовать для продолжения гравитационного и магнитного полей. Изменение коэффициентов с удалением от начала координат характеризует корректность задачи, для продолжения в нижнее полупространство они очень медленно убывают по абсолютной величине.

Вертикальная производная потенциального поля (1) равна:

$$W_z=\frac{1}{4\pi^2}\iint_{P_1} S(a,b)e^{-cz-iax-iby}cdadb.$$

Повторяя те же рассуждения, получим выражения коэффициентов для вычисления вертикальной производной поля по измеренным значениям поля на горизонтальной плоскости в узлах квадратной сети:

$$C_0(k,n)=\int_{-1}^{1}\sqrt{1+u^2}\,\pi\left(\begin{array}{l}\left(\frac{1}{\pi^2(k+nu)^2}\right)\cos\pi(k+nu)+\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{\pi^2(k+nu)^2}\right)\frac{\sin\pi(k+nu)}{\pi(k+nu)}+\\+\left(\frac{1}{\pi^2(n+ku)}\right)\cos\pi(n+ku)+\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{\pi^2(n+ku)^2}\right)\frac{\sin\pi(n+ku)}{\pi(n+ku)}\end{array}\right)du$$

Величины этих коэффициентов вновь можно вычислить численным интегрированием. Например, $C_0(0,0) = 2{,}40493$. Окончательные значения коэффициентов зависят от расстояния между узлами сети наблюдения. Поэтому для конкретной сети наблюдения коэффициенты необходимо разделить на Δx, $C(k,n) = C_0(k,n)/\Delta x$. С помощью свертки полученных коэффициентов с гравитационным полем можно по наблюденному полю силы тяжести вычислить псевдомагнитное поле.

Чтобы вычислить вторую вертикальную производную наблюденного поля для расчета коэффициентов $C_{zz}(k,n)$ дифференцируем решение уравнения Лапласа дважды по z:

$$V_{zz} = \frac{1}{4\pi^2}\iint_{P_1} S(a,b)e^{-cz-iax-iby}c^2 dadb,$$

$$C_{zz}(k,n) = \iint_{P_0} e^{-cz+ika+inb}c^2 dadb, \quad -\pi < a < \pi,\ -\pi < b < \pi.$$

Для поверхности наблюдений $z = 0$:

$$C_{zz}(k,n) = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} a^2 \cos ka da \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} \cos nb db + \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} \cos ka da \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} b^2 \cos nb db.$$

$$C_{zz}(0,0) = \frac{2\pi^2}{3}, \quad C_{zz}(k,0) = (-1)^k \frac{2}{k^2}, \quad k,n \neq 0 \quad C_{zz}(k,n) = 0.$$

2 АКФ

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) f(x-\tau) dx, \qquad B_H = B(\tau)/B(0), \quad R(m) = \frac{1}{n-|m|}\sum_{i=1}^{n-|m|}(Z_i - \bar{Z})(Z_{i+m} - \bar{Z}).$$

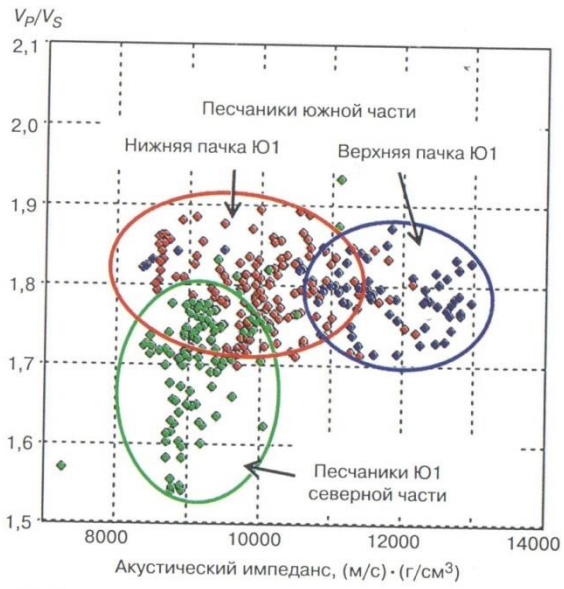


Рис. 1. Упругие свойства песчаных пород в северной и южной частях площади

3 Спектры

$$S(\omega)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}f(x)e^{-i\omega x}dx,\qquad f(x)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}S(\omega)e^{i\omega x}d\omega.$$

$$S(k)=\Delta x\sum_{0}^{N-1}f_j e^{-ij2\pi k/N},\qquad f_j=\frac{1}{N\Delta x}\sum_{0}^{k=N-1}S(k)e^{ij2\pi k/N}.$$

4 Вейвлет-анализ

Для обработки экспериментальных данных в последние 20 лет в гравиразведке, магниторазведке, электроразведке, сейсморазведке и других отраслях геофизики применяют вейвлет-анализ. Вейвлет-анализ применяют для изучения нестационарных процессов. В отличие от Фурье-анализа вейвлет-анализ обеспечивает привязку источника в пространстве. При проведении вейвлет-анализа использует три параметра: масштаб, положение и направление. Исходные данные сравниваются со стандартными сигналами – вейвлетами $\Psi(x)$. Вйвлетом (в дословном переводе "маленькая волна", в отечественной литературе используется также термин всплеск) называют осциллирующую функцию, отличную от 0 на небольшом промежутке, удовлетворяющую условию:

$$\int_{-\infty}^{\infty}\Psi(x)=0.$$

Выделяют семейства все подобные вейвлеты которого получают умножением на масштабный множитель. Для вейвлетов определяют непрерывное, дискретное и быстрое вейвлет преобразования (НВП, ДВП, БВП).

Вейвлет-преобразование определяется выражением:

$$(W_\psi f)(\sigma,\tau)=\int_{-\infty}^{+\infty}f(x)\frac{1}{\sqrt{|\sigma|}}\psi\left(\frac{x-\tau}{\sigma}\right)dx,$$

где σ – параметр масштаба, τ - параметр сдвига. Обратное вейвлет-преобразование:

$f(x)=\frac{1}{C_\psi}\int_{-\infty}^{+\infty}(W_\psi f)(\sigma,\tau)\psi_{\sigma,\tau}(x)\frac{1}{\sigma^2}d\sigma d\tau$, где $C_\psi=\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{|\psi(\omega)|}{\omega^2}d\omega$.

Основная идея вейвлет-анализа заключается в представлении дискретной функции *f(x)*, заданной на отрезке *R* оси абсцисс, в виде следующего ряда: $f(x)=\sum_{i=1}^{N}c_i\psi_i(x),$ где в качестве базисной системы функций $\{\psi_i(x):i=1,2,\ldots,N\}$ используются перемещаемые по оси координат *x* и масштабируемые (сжатые или растянутые по оси *x*) однотипные функции с компактным носителем. Вейвлет-коэффициенты определяются скалярным произведением сигнала на вейвлет-функцию заданного типа $c(s,n)=\int_R f(x)s^{-1/2}\psi\left(\frac{x-n}{s}\right)dx$, где *s* - масштаб, *n* - сдвиг. Метод нахождения вейвлет-коэффициентов на основе описанного интеграла свертки

называется непрерывным вейвлет-преобразованием (НВП). НВП позволяет решать задачу преобразования наблюденного гравитационного поля в масштабно-сдвиговую область с целью единого представления его частотных и пространственных характеристик. Можно выделить три основных элемента в этих исследованиях: анализ наблюденного гравитационного поля; представление данных об изучаемом объеме геологической среды; решение систем линейных алгебраических уравнений, возникающих при решении обратной задачи гравиметрии.

По существу эти стандартные сигналы отличны от нуля на небольшом интервале и имеют нулевое интегральное среднее. Вейвлетами , например, являются производные функции Гаусса:

$$g(x) = e^{(-t^2/2)}.$$

Для анализа гравитационных и магнитных поле применяется вейвлет:

$$mhat(x) = (1 - x^2)e^{-x^2/2}.$$

Система функций не является полной и ортогональной, поэтому восстановление сигнала по его спектру не всегда возможна. Алгоритм вейвлет-анализа основан на свертке поля силы тяжести с вейвлет-функцией в скользящем окне разного размера при различных сдвигах. Сдвиг по оси абсцисс берут кратным шагу наблюдений поля. Вейвлет масштабируют в соответствии с условиями задачи. Свертка производится перемножением спектров поля и вейвлета.

Вейвлет-анализ в отличие от Фурье-анализа предназначен для изучения нестационарных процессов. Другим отличием вейвлет-анализа является привязка в пространстве.

Построение вейвлет-спектров на основе НВП позволяет:

1. Локализовать в пространстве особенности поля, обусловленные геологическими объектами разного ранга (в т.ч. и визуально не выявляющимися).

2. Оценить энергетический вклад каждой частотной компоненты поля при сохранении привязки выделенных компонент к реальным пространственным координатам.

3. На основе взаимосвязи между масштабом вейвлета и глубиной залегания сингулярного источника определять эффективные параметры возмущающих объектов.

17. РАСПОНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Под распознаванием образов (анализом многомерных данных) подразумевают создание по совокупности геолого-геофизических признаков образа изучаемых объектов и выявление этих объектов на исследуемых территориях. Синонимы термина образ:

- кластер, группа элементов, характеризующихся общим свойством,
- таксон, систематизированная группа любой категории.

В качестве образа может быть рудный район, рудный узел, рудное поле, месторождение, рудное тело, нефтяная залежь, месторождение нефти.

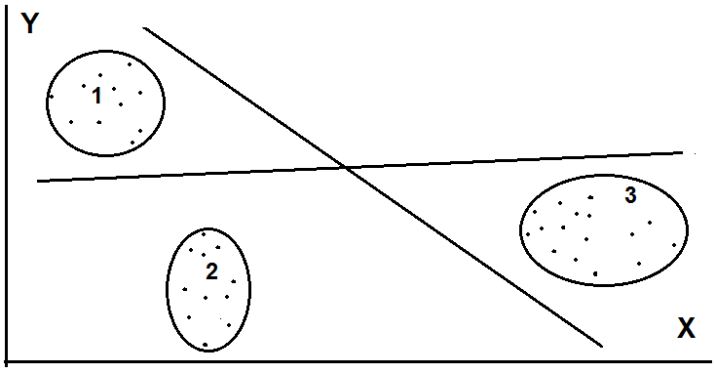


Рис. 1 Выделение областей в признаковом пространстве

Выделяют две задачи распознавания:

1. Совокупность элементов разбивают на небольшое число классов
2. Определение естественного расслоения исходных данных.

Во втором случае решения может не существовать

Для решения задачи распознавания используются:

Эвристический подход – разбиение на классы на основе интуиции исполнителя.

Оптимальный подход – разбиение на классы на основе заданного критерия разбиения.

Статистический подход - разбиение на классы на основе вероятностного подхода, использования понятия случайной величины.

При распознавании по эталонам с обучением, выбор эталонов определяет результат распознавания. Как правило, число эталонов по исследуемому району невелико, поэтому их дополняют эталонами по аналогичным объектам из других регионов.

Обычной формой представления данных при решения задач распознавания служит прямоугольная таблица, строки которой соответствуют объектам, а столбцы – признакам.

Наиболее простой подход использование интегрального показателя. Разбиение возможно по нескольким показателям.

Определение набора признаков может проводиться на основе группы эталонных объектов, либо без них исходя из теоретических представлений и опыта работ на других объектах.

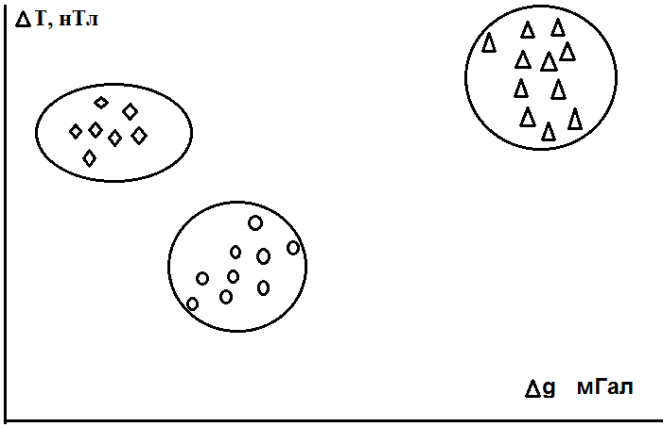


Рис. 2 Выделение классов

Наиболее простой пример – разделение горных пород на группы по величине физического параметра. Например, деление на коллекторы и неколлекторы по величине пористости. В этом случае строят полигоны частот, и разделение проводят так, чтобы возможность совершить ошибки первого рода и второго рода были одинаковы. При построении полигонов частот соблюдают следующие правила, сформулированные на основе многолетней практики:

1. Число интервалов группирования не меньше 6.
2. Число интервалов группирования не больше 12.
3. Частота в каждом интервале не может быть меньше 5.
4. Гистограммы построенные по практическим данным нередко имеют полимодальную форму.

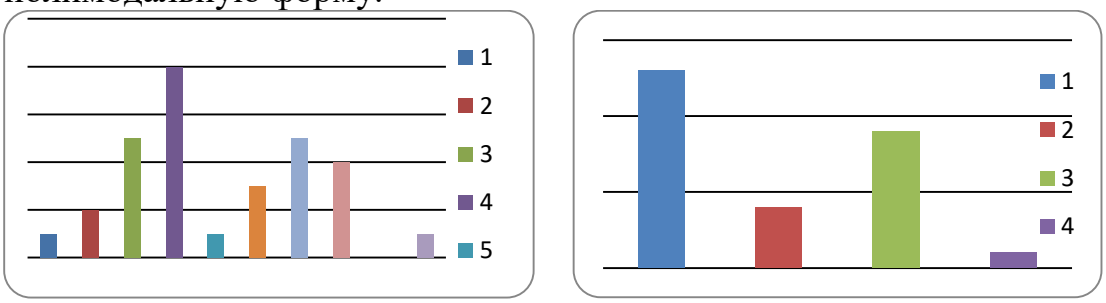


Рис. Гистограммы измеренных полей

Иногда, чтобы скрыть степень неопределенности используют интегральную кривую для одной группы пород и дополнение интегральной кривой для другой группы пород.

Важнейший элемент такого подхода – определение набора признаков. Выбор ограничивается имеющимися данными, в очень редких случаях проводятся дополнительные исследования. В качестве геологических признаков выбирают, например, наличие мантийного корня, наличие интрузивных пород кислого состава, вечной мерзлоты, зон метасоматоза, зон деструкции, геологических структур, тектонических нарушений и их пересечений, карбонатизация, различные рудоконтронтролирующие факторы и другие. В качестве геофизических признаков могут использоваться: интенсивность регионального поля, интенсивность локальной аномалии, вертикальный градиент поля силы тяжести, энтропия, горизонтальный градиент поля, форма аномалии, сочетание

аномалий разных полей, аномалия трубочного типа. Эффективная плотность, эффективная намагниченность.

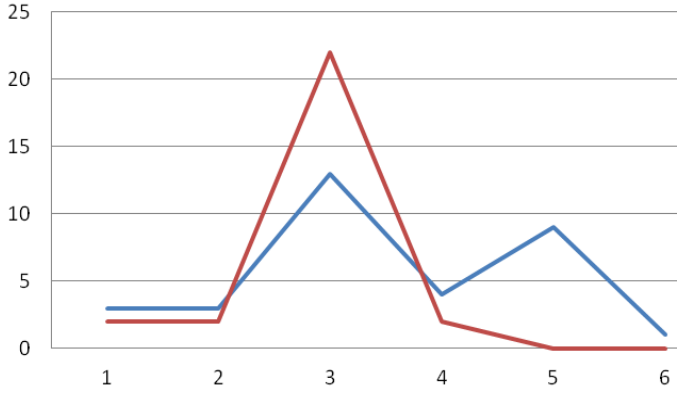


Рис. 3

Из выше приведенных примеров следует, что признаки существенно различаются между собой. Для некоторых из них можно указать численное значение (интенсивность аномалии – 5 мГал, величина градиента поля 2 мГал/км). Для других можно создать шкалу и расположить их в определенной последовательности, а затем указать место объекта в этой последовательности. Таким переменным можно поставить в соответствие число натурального ряда. Такие переменные называют категоризированными или порядковыми или ранговыми.

Для многих геологических данных нельзя сделать ни того ни другого, эти признаки качественные. Им нельзя поставить в соответствие число. Такие дихотомические переменные принимают только два значения: есть – нет, плюс – минус.

Признаки, используемые при поисках алмазов:

1. Наличие мантийного корня.
2. Пересечение боле трех разломов.
3. Пониженное региональное поле
4. Повышенное гравитационное поле
5. Положительная магнитная аномалия.
6. Отрицательная гравитационная аномалия.

Необходимо учитывать взаимосвязь между признаками, чтобы один и тот же фактор не учитывался дважды. Для анализа связи двух признаков составляют таблицу:

	ΔT +	ΔT -	Маргинальные частоты (сумма)
G -	77	6	107
G +	75	32	83
Маргинальные частоты (сумма)	152	38	190

$$\chi^2 = N\sum_i\sum_j \frac{f_{i,j}^2}{f_i f_j} - N$$

X^2= (77*32-75*6)^{2}190/(152*38*83*107)=0,08

Для анализа связанности признаков в многомерном случае составляют матрицы сопряженности (инциденций):

	a	b	c	d	e	Сумма
А	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}	M_1
Б	f_{21}	f_{22}	f_{23}	f_{24}	f_{25}	M_2
В						M_3
Г						M_4
Сумма	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	N

Критерии связанности

$$P = \sqrt{\frac{\chi^2}{N+\chi^2}},\quad T = \sqrt{\frac{\chi^2}{N(K_\Sigma - M_\Sigma)(M_\Sigma - 1)}},\quad C = \sqrt{\frac{\chi^2}{N(\min(K_\Sigma, M_\Sigma - 1)}}$$

Распознавание может осуществляться по расстоянию между классами в много мерном пространстве, поэтому необходимо определить характеристику определяющую меру близости между классами и объектами. Эту характеристику принято именовать расстоянием:

Расстояние Мехаланобиса

Евклидово расстояние

Взвешенноне евклидово расстояние

Расстояние по Хеммингу, отражает расстояние между объектами определяемыми дихотомическими признаками:

$$R = \sum_l (X_i - X_j)$$

$$x = \sqrt{(b\text{^}2 - 4ac)}$$

либо на основе построенного решающего правила

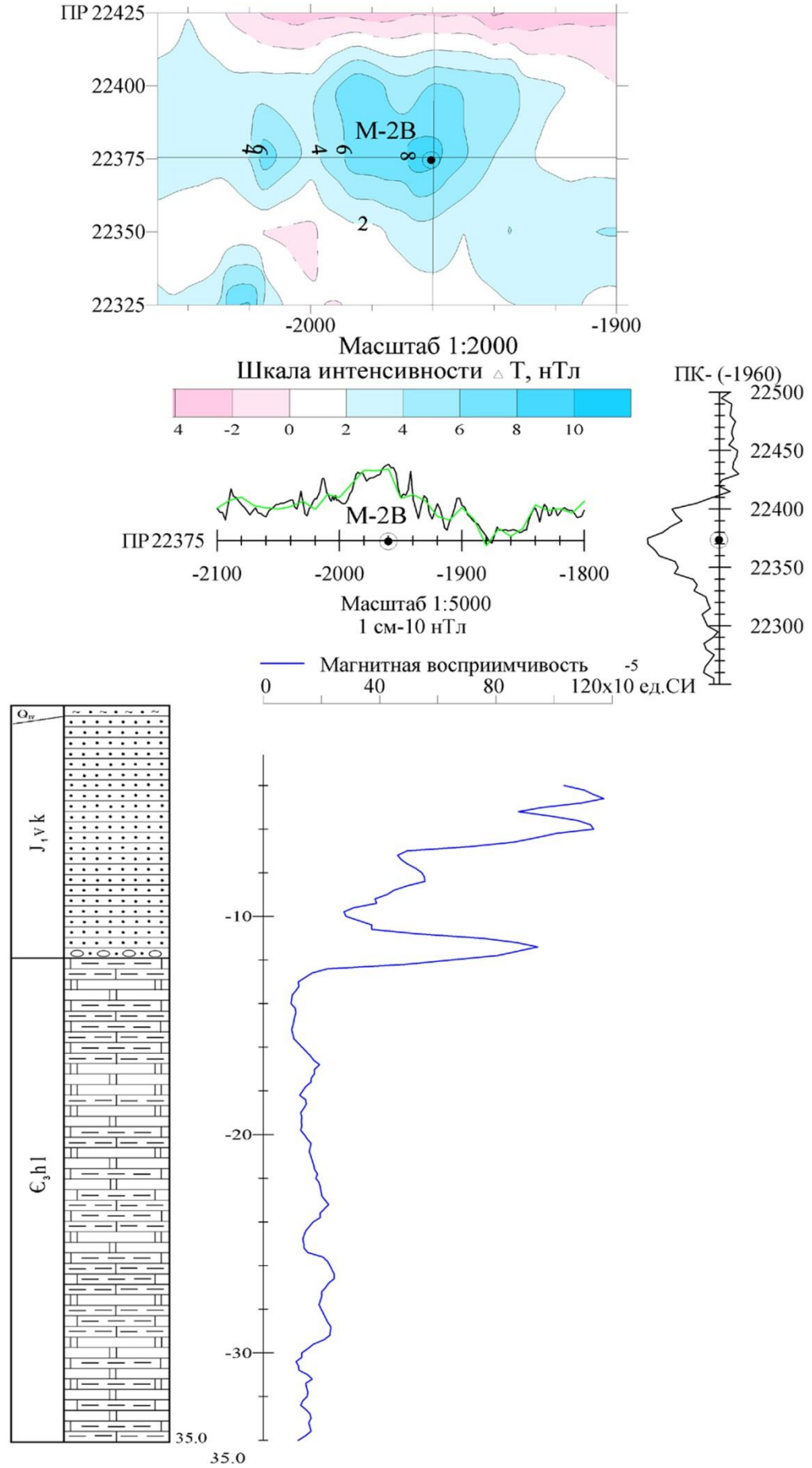


Рис. Выделение кимберлитовых трубок

Методообразующая идея: любой метод истолкования геоданных основывается на комбинации идеи аналитической аппроксимации и идеи использования распознавания образов.

Эффективное истолкование математическими методами невозможно в силу недоопределенности имеющейся информации, неустойчивости и неединственности решений обратных задач гравиразведки и магниторазведки. Аоэтому компьютерные технологии включают в себя процедуры, основанные на распознавании образов. Близкие задачи к распознаванию задачи классификации: районирование полей по морфологии (типам), создание типовых модельных полей.

Распознавание образов применяют при решении задач геологического картирования (число классов большое), нефтяной геофизики (число классов 2), рудной геофизики (число классов 2). При эвристическом подходе к задаче распознавания набор признаков проводит исследователь, интуитивно исходя из своего опыта. Далее создают уравнение вида

$$f = k_1x_1 + k_2x_2 + k_3x_3 + k_4x_4 .....$$

где k_i и x_i вес признака и значение признака (число, ранг, при дихотомии 0 или 1)

Коэффициенты k_i в таком уравнении подбираются экспериментальным путем последовательным включением в регрессионную модель новых признаков с одновременной проверкой целесообразности их включения.

1. Вычисляется матрица парных коэффициентов корреляции всех признаков.
2. Выбирается наиболее значимая переменная
3. Проводится дисперсионный анализ.
4. Вычисляется матрица коэффициентов корреляции для оставшихся признаков.
5. Выбирается следующий признак.

Включение признаков проводится проводится до исчерпания всех признаков, либо до превышения табличного значения критерия Фишера.

Полученное значение критерия определяет принадлежность объекта (точки, участка) к тому или иному классу. Эффективность решающего правила определяется на известных объектах.

Если признаки характеризуются числом, то процесс деления на классы можно организовать следующим образом. Меру сходства между признаками можно характеризовать матрицей парных коэффициентом корреляции.

	А	Б	В	Г	Д
А	1	0,33	0,25	0,55	0,10

Б	0,33	1	0,63	0,07	0,14
В	0,25	0,63	1	0,21	0,72
Г	0,55	0,07	0,21	1	0,22
Д	0,10	0,14	0,72	0,22	1

Далее объединяем элементы Д и В и для новых элементов вычисляем матрицу парных коэффициентов корреляции.

Иерархические (древообразные) кластер-процедуры широко используются в многомерном анализе. В таких процедурах либо начальное разбиение на классы в процессе деления приводит в конечном счете к множеству одноэлементных классов, либо одноэлементные классы объединяются до создания одного класса. Разбиение проводится на основе принятого правила определения расстояния между элементами. Вычислительные процедуры очень громоздкие.

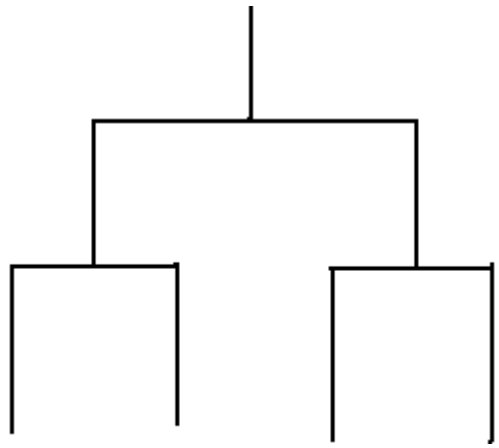
Пример. На первом этапе каждое измерение рассматривается как отдельный кластер. Далее определяются расстояния между всеми элементами. Затем два ближайших элемента объединяются в единый кластер.

	1	2	3	4
А	5	8	6	9
Б	6	9	5	7

Матрица расстояний

0	4,3	1,41	4,2
4,3	0	4,4	2,1
1,41	4,4	0	2,1
4,2	2,1	2,1	0

Объединяем 3 и 4 элементы



Дендограмма

В многомерный анализ включают процедуру анализа равенства средних векторов нескольких наборов данных. Метод главных компонент.

Факторный анализ.

Если признак принимает только два значения, то для его описания можно использовать биномиальное распределение. Оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения

Для 95% надежности t=1,96. Для оценки связи между признаками определяется точным критерием Фишера

Мерой степени сходства между признаками

Коэффициенты связанности Юла

Рассмотрим частоты двух дихотомических признаков FLT и NPM1

	FLT+	FLT-	Маргинальные частоты
NPM1+	4	5	9
NPM1-	4	41	45
	8	46	54

Точный критерий Фишера=7,51

Мера сходства Ф=0,37. Коэффициенты связанности Q=0,76 Y= 0,48

Признаки слабо связаны

Признаки

	NPM1+	NPM1-	
KIT+	1	7	8
KIT-	2	34	36
	3	41	44

Значение точного критерия Фишера=0.50 Мера сходства Ф=0.1

Коэффициенты связанности

Обобщенная схема иерархической оценки перспективных площадей, выделяемых на прогнозно-геофизических картах

- Анализ результирующих прогнозно-геофизических карт, построенных методом аналогий с использованием различных эталонов («натурных», «модельных», «ситуативных»;
- Пространственное сопряжение перспективных площадей с элементами структурно-тектонического строения, выявленными по комплексу данных;
- Непротиворечивость прогнозных построений общей геологической модели перспективной территории;
- Пространственная совмещенность прогнозируемых объектов разных иерархических уровней (рангов);

- Использование минерагенической информации в качестве «внешнего» критерия оценки результатов геофизического прогноза

- Детализация общей геологической модели перспективной территории в виде содержательных текстовых и картографических описаний (качественных признаков)

Многоуровневый прогноз на основе последовательной пространственной совмещенности аномальных геологических объектов соседних иерархических уровней (конгруэнтности)

ВНИМАНИЕ! Усреднение вероятностей правомерно лишь при сравнительно одинаковой информативности используемых геофизических критериев прогноза. В противном случае результаты интерпретации с использованием формальной оценки перспективности могут оказаться ошибочными (переоцененная перспективность одних площадей и недооцененная перспективность других).

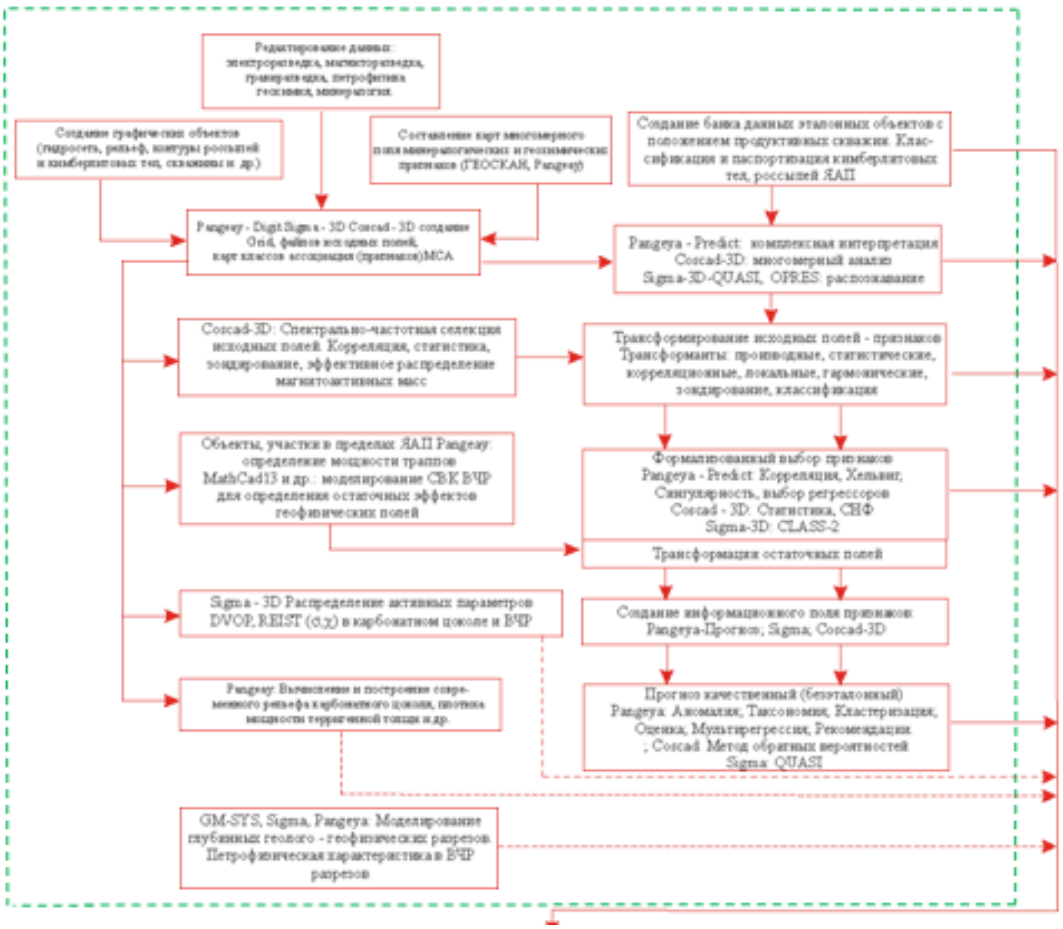
Результаты формализованной камеральной оценки перспективных площадей пространственно сопрягаются с имеющимися в наличии слоями минерагенической информации и позволяют обоснованно выбирать *интерпретационные* профили в качестве прообразов реальных заверочных профилей

При оценке перспективных площадей настоятельно рекомендуется использовать статистические алгоритмы с возможностью учета *различной* информационной содержательности геоданных. Использование вероятностных моделей соответствует нечетким представлениям об искомых объектах прогноза в реальных геологических условиях

Для сокращения многозначности при сопоставлении результатов прогнозного районирования перспективных территорий, обусловленной несоответствием применяемых моделей реальным геологическим объектам, предлагается *синтез* автоматизированных методов безэталонной и эталонной классификации

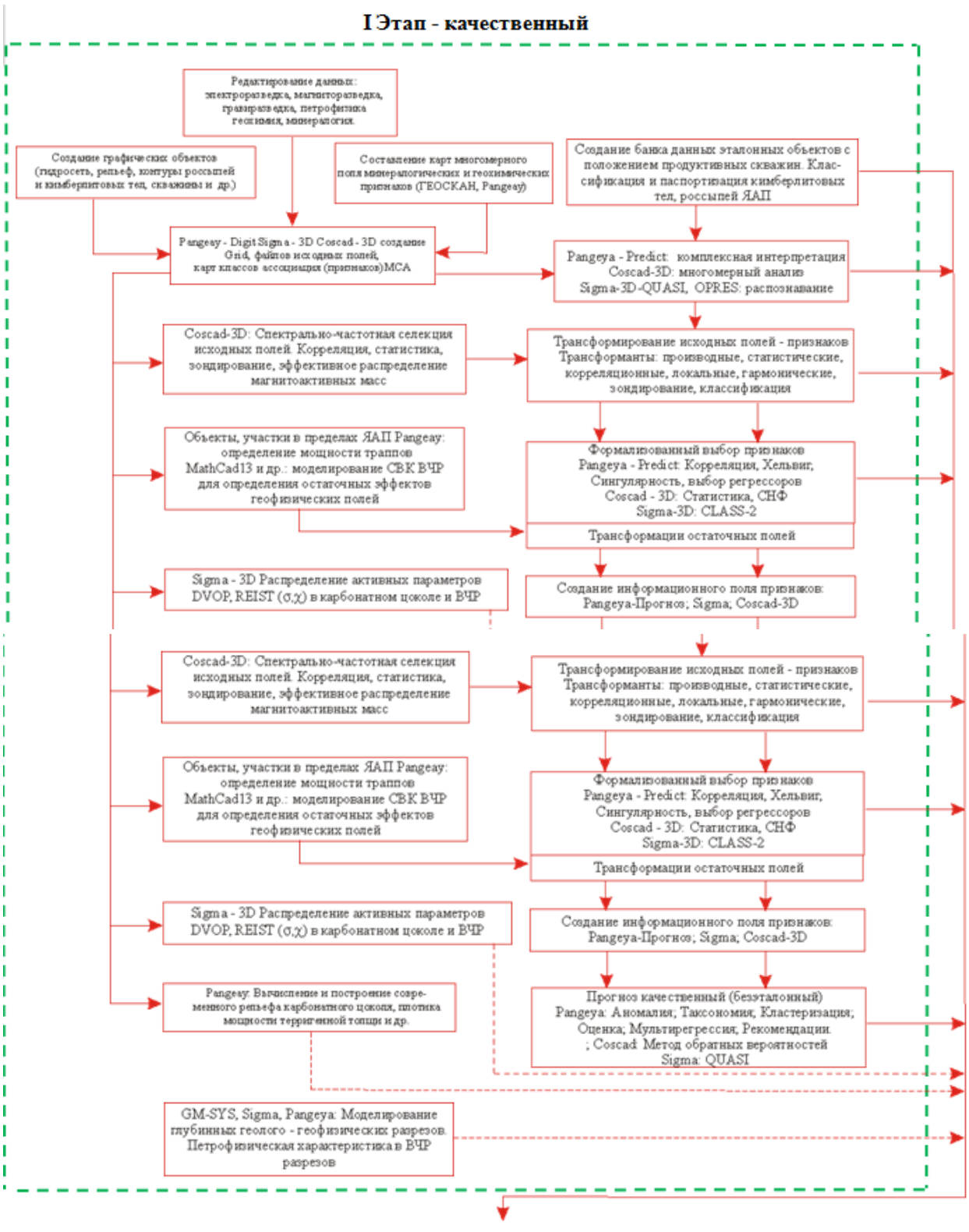
Блок-схема многомерной интерпретации геолого-геофизических данных для ЯАП

I Этап - качественный



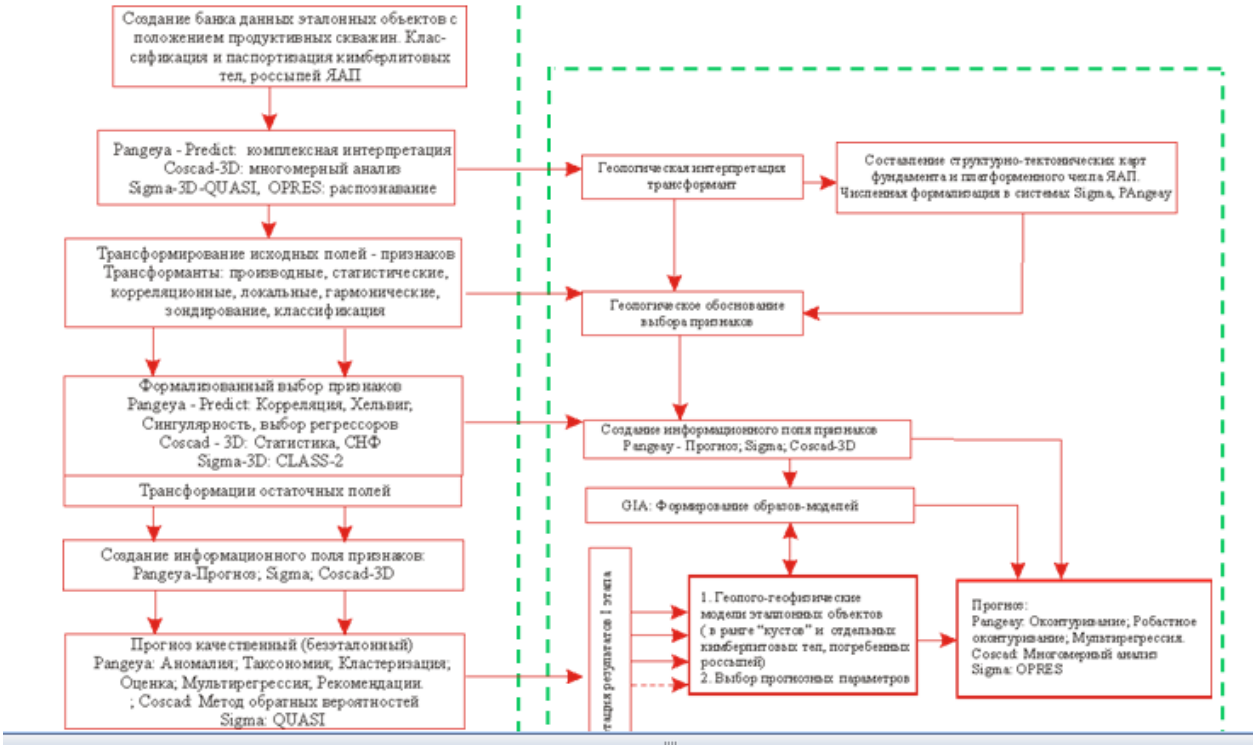
Результаты I этапа

1. Трансформации остаточных полей
2. Карта таксонов
3. Карта кластеров
4. Карта безэталонной классификации
5. Карта распределения статистических параметров
6. Карта перспективности участков


I Этап - качественный
Редактирование данных: электроразведка, магниторазведка, гравиразведка, петрофизика геохимия, минералогия.
Создание графических объектов (гидросеть, рельеф, контуры россыпей и кимберлитовых тел, скважины и др.)
Составление карт многомерного поля минералогических и геохимических признаков (ГЕОСКАН, Pangeay)
Создание банка данных эталонных объектов с положением продуктивных скважин. Классификация и паспортизация кимберлитовых тел, россыпей ЯАП
Pangeay - Digit Sigma - 3D Coscad - 3D создание Grid, файлов исходных полей, карт классов ассоциации (признаков) MCA
Pangeya - Predict: комплексная интерпретация Coscad-3D: многомерный анализ Sigma-3D-QUASI, OPRES: распознавание
Coscad-3D: Спектрально-частотная селекция исходных полей. Корреляция, статистика, зондирование, эффективное распределение магнитоактивных масс
Трансформирование исходных полей - признаков Трансформанты: производные, статистические, корреляционные, локальные, гармонические, зондирование, классификация
Объекты, участки в пределах ЯАП Pangeay: определение мощности траппов MathCad13 и др.: моделирование СВК ВЧР для определения остаточных эффектов геофизических полей
Формализованный выбор признаков Pangeya - Predict: Корреляция, Хельвиг, Сингулярность, выбор регрессоров Coscad - 3D: Статистика, СНФ Sigma-3D: CLASS-2
Трансформации остаточных полей
Sigma - 3D Распределение активных параметров DVOP, REIST (σ,χ) в карбонатном цоколе и ВЧР
Создание информационного поля признаков: Pangeya-Прогноз; Sigma; Coscad-3D
Coscad-3D: Спектрально-частотная селекция исходных полей. Корреляция, статистика, зондирование, эффективное распределение магнитоактивных масс
Трансформирование исходных полей - признаков Трансформанты: производные, статистические, корреляционные, локальные, гармонические, зондирование, классификация
Объекты, участки в пределах ЯАП Pangeay: определение мощности траппов MathCad13 и др.: моделирование СВК ВЧР для определения остаточных эффектов геофизических полей
Формализованный выбор признаков Pangeya - Predict: Корреляция, Хельвиг, Сингулярность, выбор регрессоров Coscad - 3D: Статистика, СНФ Sigma-3D: CLASS-2
Трансформации остаточных полей
Sigma - 3D Распределение активных параметров DVOP, REIST (σ,χ) в карбонатном цоколе и ВЧР
Создание информационного поля признаков: Pangeya-Прогноз; Sigma; Coscad-3D
Pangeay: Вычисление и построение современного рельефа карбонатного цоколя, плотика мощности терригенной толщи и др.
Прогноз качественный (безэталонный) Pangeya: Аномалия; Таксономия; Кластеризация; Оценка; Мультирегрессия; Рекомендации. ; Coscad: Метод обратных вероятностей Sigma: QUASI
GM-SYS, Sigma, Pangeya: Моделирование глубинных геолого - геофизических разрезов. Петрофизическая характеристика в ВЧР разрезов

Блок-схема многомерной интерпретации геолого-геофизических данных для ЯАП

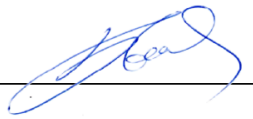
II Этап - интерпретация



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
факультета геологии и геофизики УГГУ
«20» марта 2020 г.
Председатель комиссии


_____ проф. В.И. Бондарев

Виноградов В.Б.

ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Специальность
21.05.03 Технология геологической разведки

Екатеринбург
2020

В пособии описаны практические работы по дисциплине «Геометризация и анализ физических полей. Учебным планом предусмотрено проведение занятий по 3 разделам курса:

- аналитическое описание геологических поверхностей и физических полей,
- подсчет ресурсов,
- анализ физических полей.

Половина из них проводится в компьютерном классе кафедры геофизики с применением математических пакетов для расчетов.

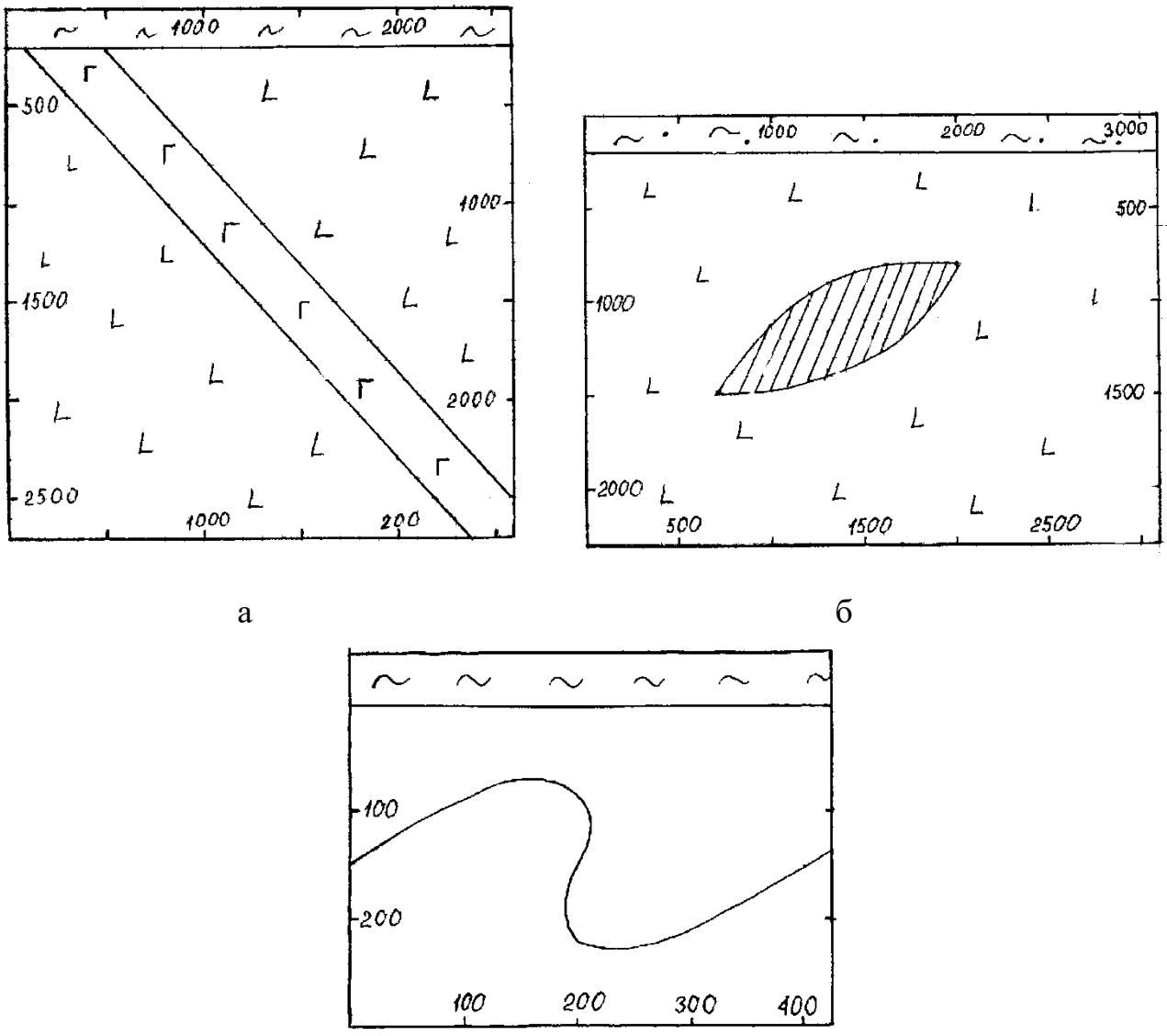
Практическое занятие №1 Описание поверхностей геологических объектов

Цель работы: Составить аналитическое описание геометрии геологического разреза.

1) Для представленного разреза (см. рис. 1а) составить линейные уравнения $z=ax+b$, описывающие поверхности дайки порфиритов.

2) Для локального геологического объекта (батолита, лакколита и т.д.) составить уравнения полиномов второго порядка $z=ax^2+bx+c$, описывающие его нижнюю и верхнюю поверхности.

3) Составить параметрические уравнения $x=t+asint$, $z=bsint$, описывающее поверхность складки (рис. 1в).



а б

в

Рис. 1 Примеры поверхностей, предлагаемых в качестве задания

Результаты работы представить в виде разреза, уравнений и неравенств для параметров уравнений.

Рис. 2 Образец оформления работы

Практическое занятие № 2 Описание геологической поверхности кубическими сплайнами (4 часа)

Для заданных результатов измерений построить кубические сплайн-функции 1, 2, и 3 порядка.

Таблица 1 Варианты работ

Вариант	X	Y	Вариант	X	Y	Вариант	X	Y	Вариант	X	Y
1	1	4,2	3	0	2,2	5	1	2,4	7	0	3,2
	2	4,2		1	2,3		2	2,7		1	4,3
	3	5,2		2	3,0		3	2,5		2	3,0
	4	4,0		3	3,0		4	0,4		3	1,0
	5	5,3		4	2,0		5	3,5		4	2,2
2	0	5,0	4	0	5,5	6	0	4,0	8	0	7,5
	1	4,5		1	1,0		1	4,9		1	3,0
	2	4,7		2	0,5		2	4,7		2	4,5
	3	1,7		3	1,0		3	5,7		3	2,0
	4	2,3		4	0,5		4	3,3		4	0,9
9	1	6,3	10	1	7,2	11	1	3,3	12	1	2,5
	2	6,8		2	5,5		2	5,6		2	3,3
	3	7,1		3	3,2		3	6,7		3	2,8
	4	7,1		4	3,0		4	6,8		4	3,1
	5	6,5		5	3,5		5	6,7		5	2,3

Для своего варианта составьте СЛАУ для определения коэффициентов кубического сплайна. СЛАУ представьте в виде двух матриц A(16,16) и B(16,1). Матричное уравнение решите с помощью пакета MathCad (процедура) lsolve(A,*B*), Оцените погрешность решения вычислив число обусловленности матрицы cond(A) с помощью того же пакета. Расчет интерполирующих функций провести с шагом 0,25. Построить графики. Составить отчет

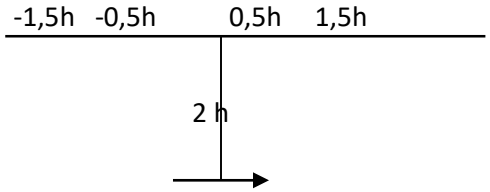
Практическое занятие № 3 АНАЛИТИЧЕСКАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ (4 часа)

	h	Dx	1 мВ	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.5	1	-20	0	20	45	80	115	160	200	219	175
2	1	2	35	60	72	100	125	170	210	210	210	160
3	2	4	-4	-2	0	5	10	15	25	25	30	37
4	1	1	15	30	41	40	27	15	5	0	-2	-3
5	1	2	-2	-6	-10	-13	-14	-4	6	18	20	18
6	1	4	-6	-10	-12	-14	-6	0	10	18	19	18
7	2	1	4.25	4.5	4.7	4.9	5.25	5.3	5.2	4.6	3.8	3
8	1	2	3	3	3	4.1	0	-3	-5	-12	-18	-20
9	0.5	4	10	20	42	39	25	-5	-40	-70	-80	-110
10	0.2	1	-170	-175	-170	-150	-125	-110	-95	-70	-30	-5
11	0.4	2	25	21	15	8	0	-8	-15	-17	-12	-8
12	2	4	0	2	13	5	7	10	0	0	1	1
13	2	1	10	20	30	42	55	70	90	105	107	103
14	1	2	0	2	4	6	10	20	20	12	-1	4
15	2	4	175	150	115	50	20	22	20	30	25	40
16	0.5	1	-2	-10	-20	-27	-40	-60	-80	-80	-30	5
17	0.4	2	-100	-180	-200	-350	-400	-600	-900	-600	-250	-100
18	0.5	4	30	130	120	60	0	-40	-120	-200	-130	-85
19	2	5	118	40	-45	-120	-170	-130	-80	40	120	110
20	0.5	2	100	102	101	0	-150	-400	-350	-100	-85	-40

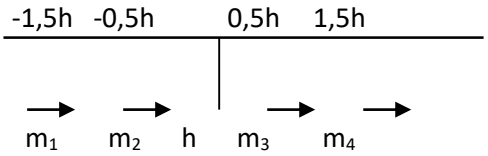
Пример выполнения работы.

«Аналитические модели поля»

Исходная модель:



Проверяемая модель:



Расчетные формулы:

$$Z_в = 100M\frac{2h^2 - x^2}{(h^2 + x^2)^{\frac{5}{2}}} \qquad Z_г = -300M\frac{hx}{(h^2 + x^2)^{\frac{5}{2}}}$$

Рассчитанная матрица:

$$A := \begin{pmatrix} 0 & 0.1768 & 0.0179 & 0.003 \\ -0.1768 & 0 & 0.1768 & 0.0179 \\ -0.0179 & -0.1768 & 0 & 0.1768 \\ -0.003 & -0.0179 & -0.1768 & 0 \end{pmatrix} \qquad B := \begin{pmatrix} 0.0307 \\ 0.0269 \\ -0.0269 \\ -0.0307 \end{pmatrix}$$

$$\mathrm{lsolve}(A,B) = \begin{pmatrix} 6.048\times 10^{-3} \\ 0.158 \\ 0.158 \\ 6.048\times 10^{-3} \end{pmatrix}$$

Решение:

$m_1/M = 6{,}048*10^{-3}$

$m_2/M = 0{,}158$

$m_3/M = 0{,}158$

$m_4/M = 6{,}048*10^{-3}$

Рассчитываем число обусловленности:

$\mathrm{cond1}(A) = 4.386$

$\mathrm{cond2}(A) = 2.619$

$\mathrm{conde}(A) = 6.001$

$\mathrm{condi}(A) = 4.386$

По значению conde (A) = 6.001 <10 можно сделать вывод, что решение устойчиво, качество аппроксимации высокое.

Практическое занятие № 4 ПОДСЧЕТ РЕСУРСОВ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Каждый студент получает план изоаномал силы тяжести (рис. 1). Необходимо оценить запасы месторождения.

1Разбить аномальную зону на прямоугольники, в пределах которых силу тяжести можно принять постоянной величине (среднему по площади).

2 Определить среднее значение силы тяжести в каждом прямоугольнике.

3Принять избыточную плотность 1,4 г/см^3 и вычислить ресурсы предполагаемого месторождения меди:

$$Z_в = 100M \frac{2h^2 - x^2}{(h^2 + x^2)^{\frac{5}{2}}}$$

$$M = 1400 * \frac{4{,}80}{1{,}4} 6{,}28 * (6{,}67 * 10^{-11})^{-1} * 10^{-5} \sum \Delta S * \Delta g \ \text{(кг)}$$

$M = M_1 * 10^{-9}$ млн. т руды

$M = M * C_{CU}$

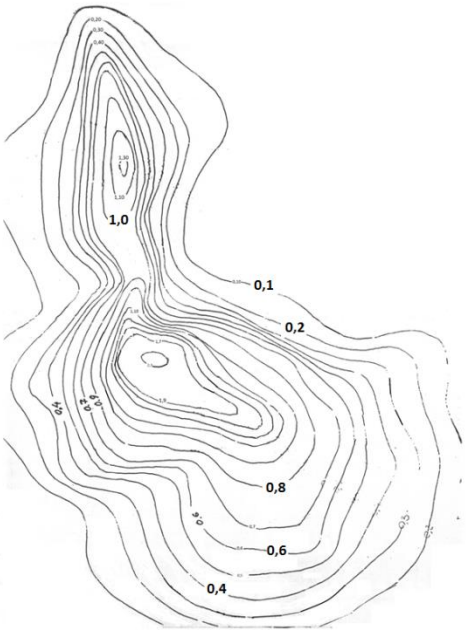


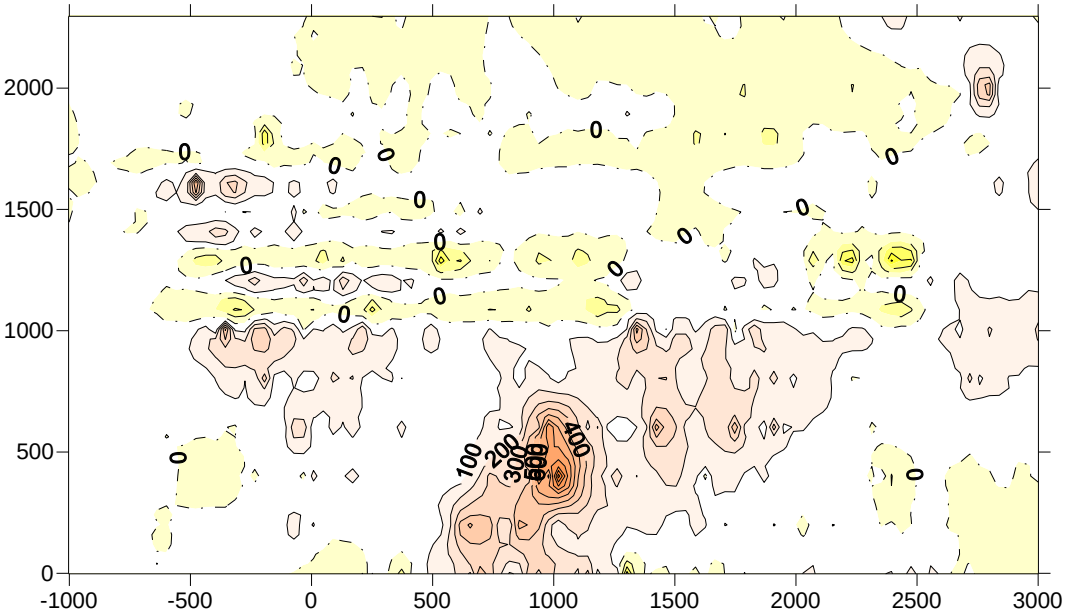
Рис. 1 План изоаномал медноколчеданного месторождения. Избыточная плотность 1,4 г/см^3

Практическое занятие № 5 ВЫДЕЛЕНИЕ РАЗЛОМОВ ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

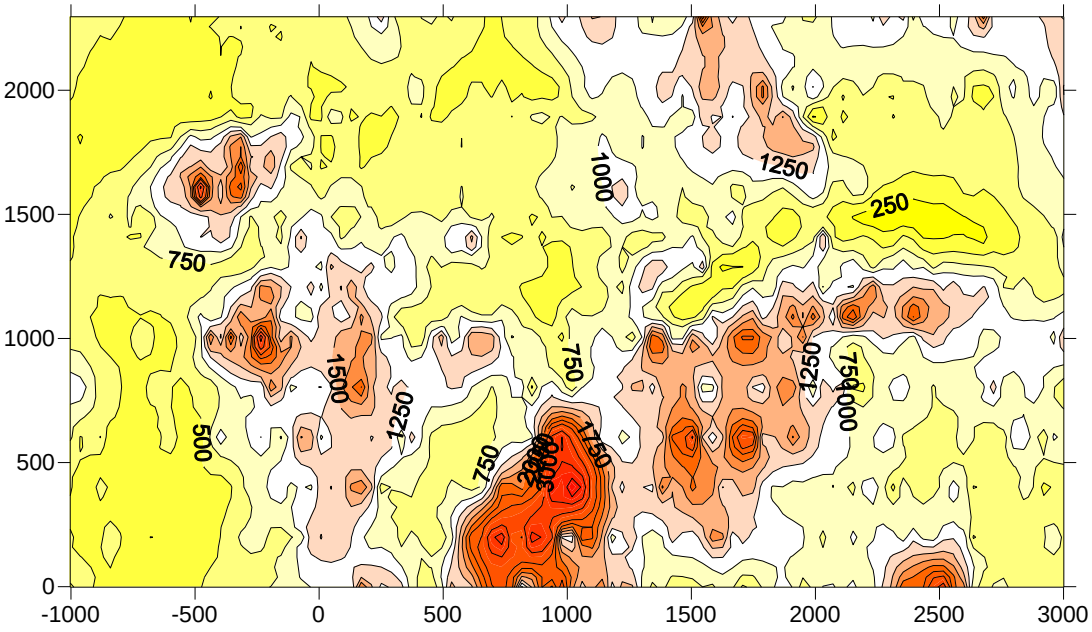
Разломы линейные геологические тела, размеры которых по простиранию во много раз больше чем в крест простиранию. Их выделение на картах полей качественно проводят выделением линеаментов . Для надежного выделения разломов используют несколько геофизических полей.

Разломы выделяют по признакам:

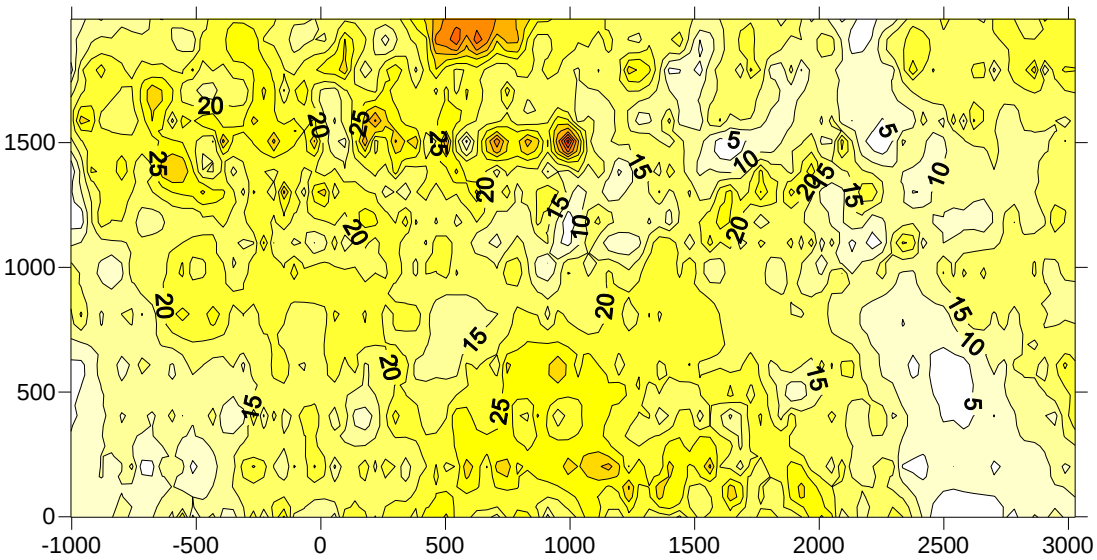
1. Линейные цепочки аномалий.
2. Аномалии типа ступени.
3. Смещение изолиний вдоль некоторой линии.
4. Изменение морфологии аномалий вдоль некоторой прямой.



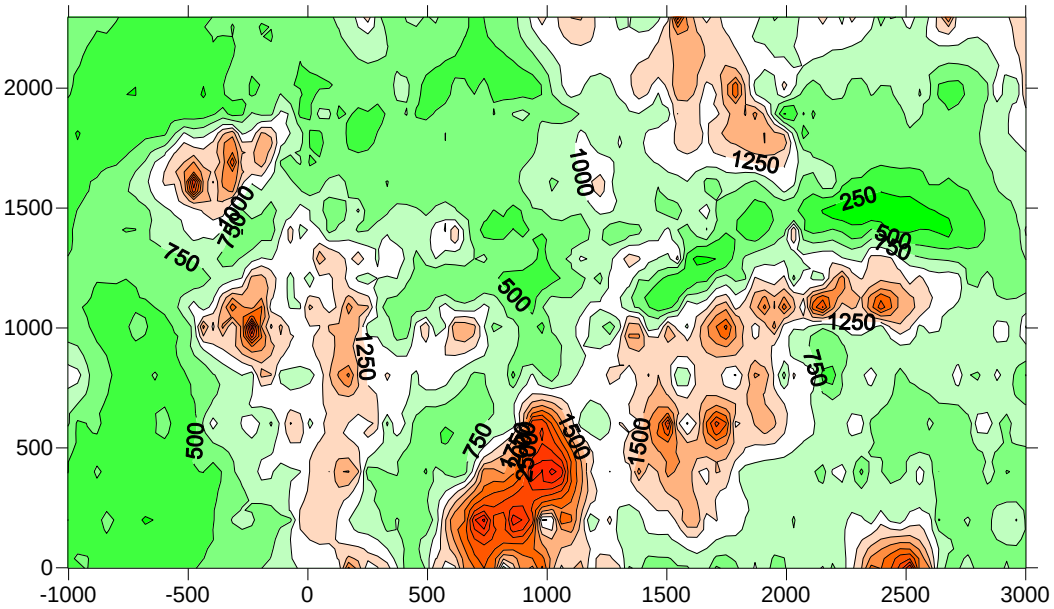
RO2-RO1



Кажущееся сопротивление



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



RO2

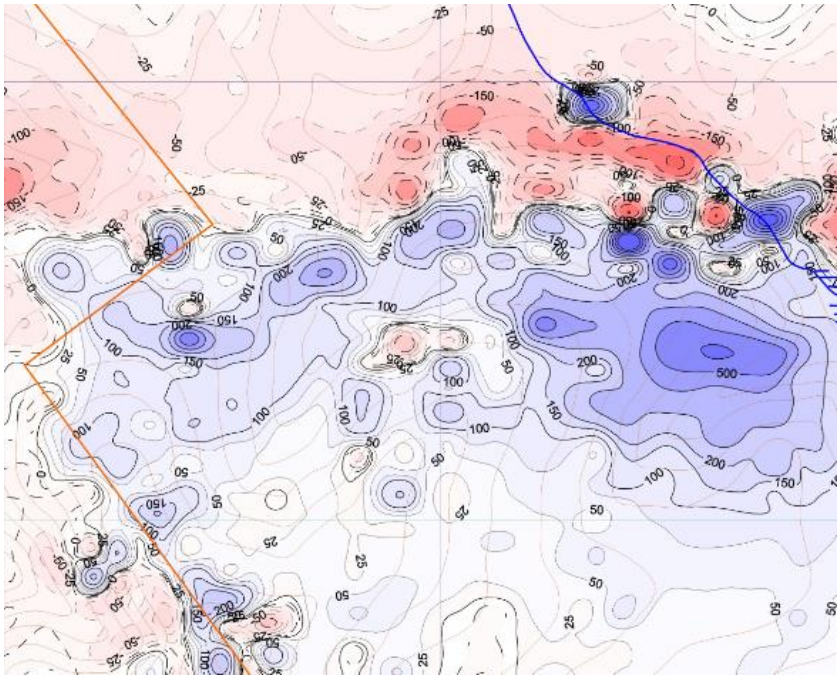
Рис. 1 Пример задания

Практическое занятие № 6 Качеств интерпретация

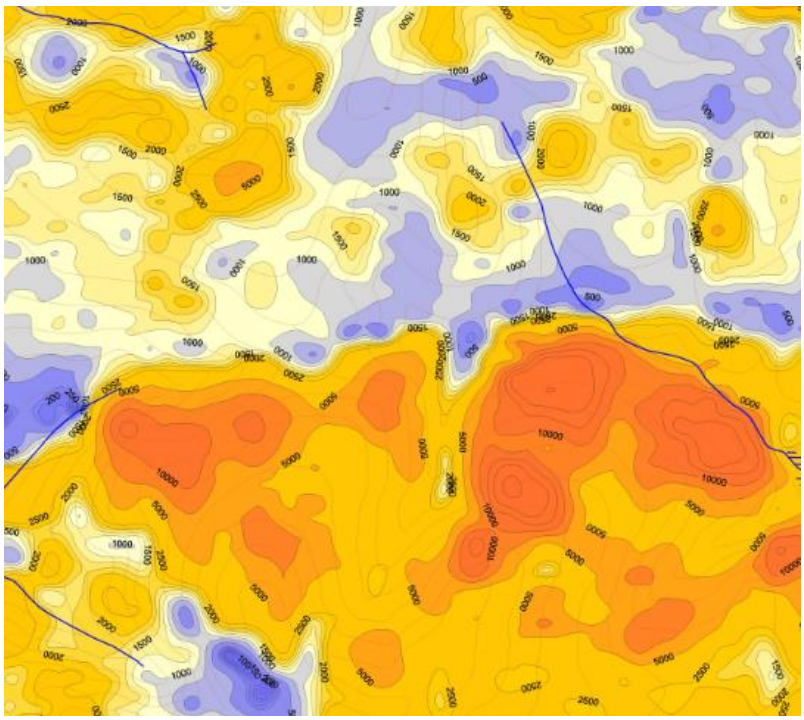
Принципы качественной интерпретации:

Форма аномалии в плане отражает форму тела. Простирание аномалии совпадает с простиранием объекта.

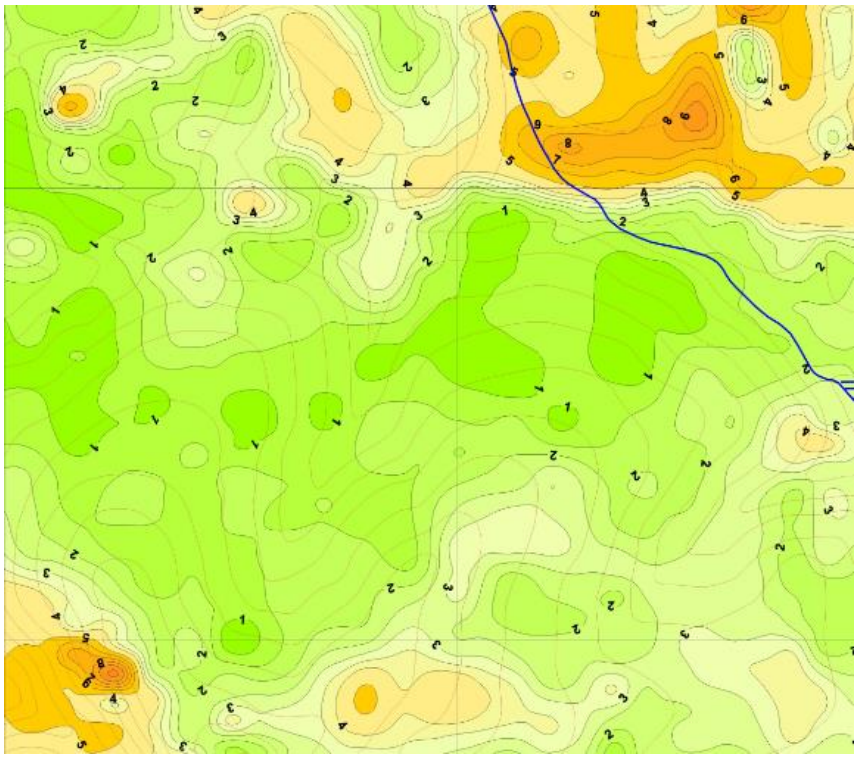
ВАРИАНТ 1



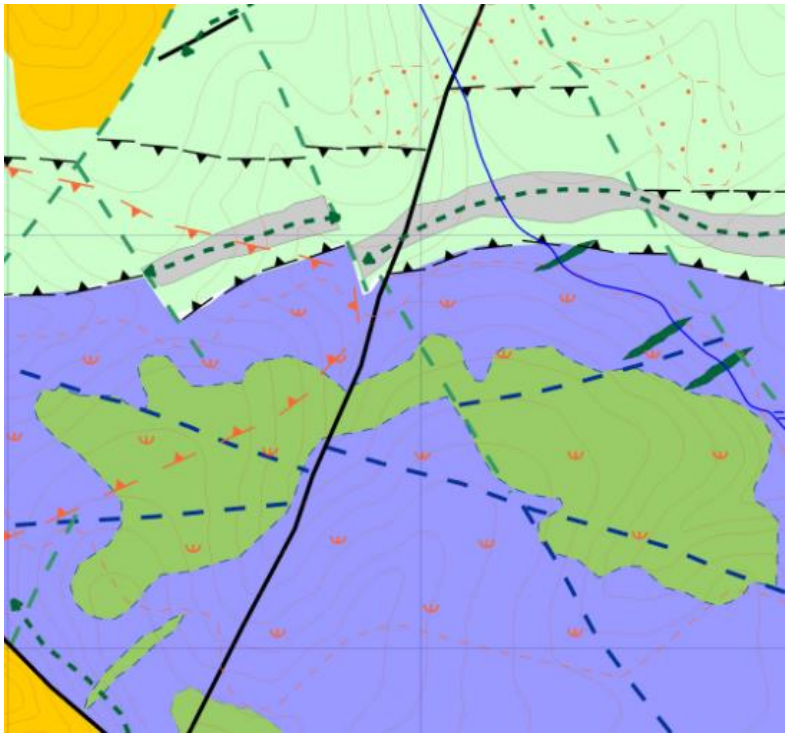
T



КАЖ. СОПР.



ФАЗОВЫЙ УГОЛ (ВП)

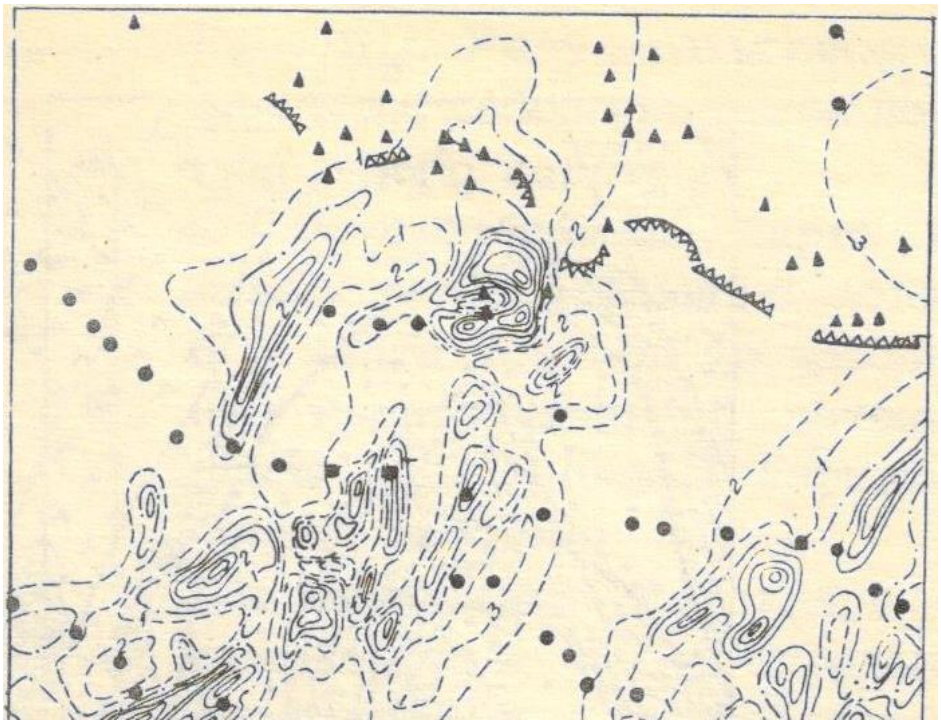


ВАРИАНТ 2

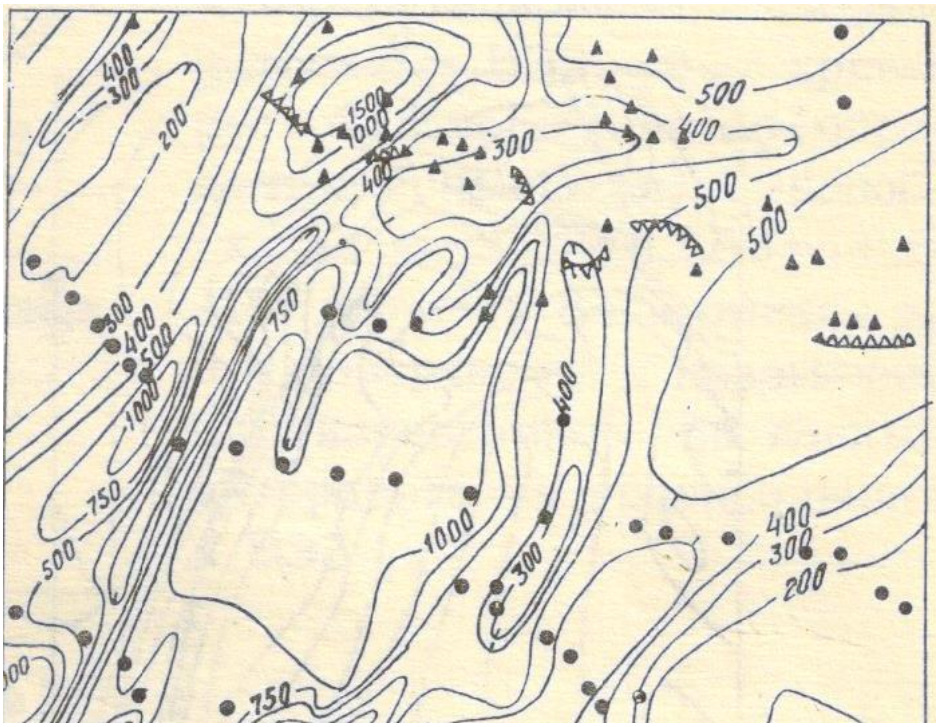
ВЫДЕЛИТЕ ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОРФИРИТОВ АНДЕЗИТОВ СОСТАВА,

ИЗВЕСТНЯКОВ, ПЕСЧАНИКОВ, ТЕКТОНИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ.

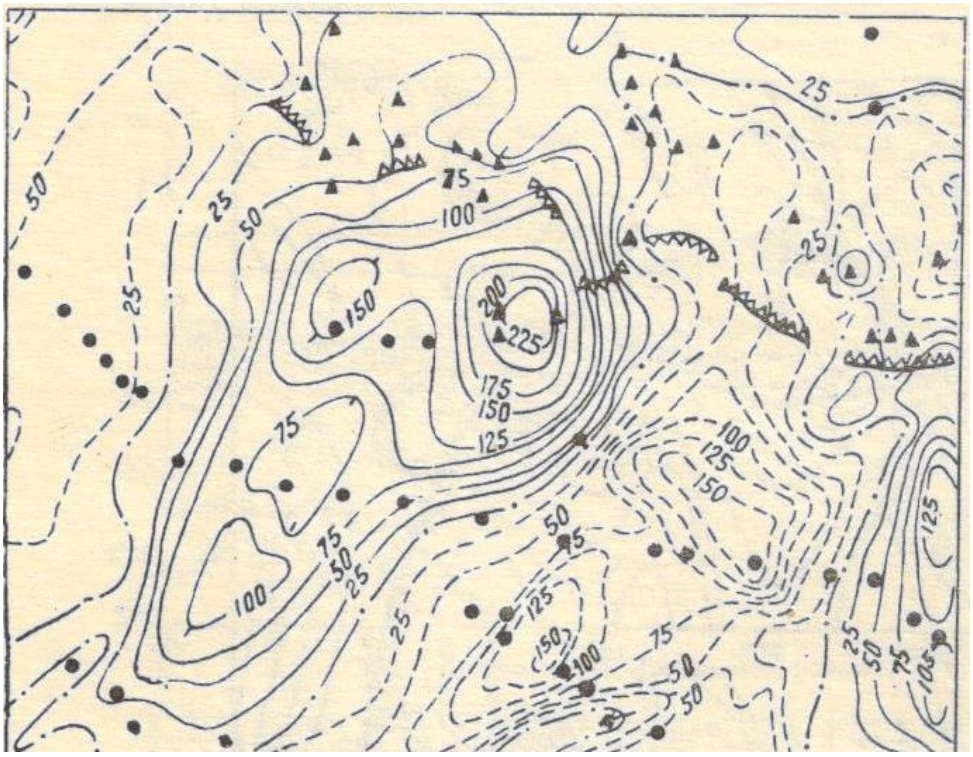
НА КАРТАХ ПОКАЗАНЫ СКВАЖИНЫ И ВЫХОДЫ КОРЕННЫХ ПОРОДАХ



ПЛАН ИЗОДИНАМ



ПЛАН ИЗООМ



ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ

Практическое занятие № 6 КОРРЕЛЯЦИЯ СОДЕРЖАНИЙ ЖЕЛЕЗА И МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТЬЮ

Оцените тесноту линейной взаимосвязи содержания железа в железных рудах Гусевогорского месторождения и их магнитной восприимчивостью.

Коэффициент корреляции, определяемый по выборочным данным, называется **выборочным коэффициентом корреляции.** Он вычисляется по формуле:

$$r = r_{x;y} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Таблица 1

При оценке тесноты связи можно использовать следующую условную таблицу:

Теснота связи	Величина коэффициента корреляции при наличии	
	прямой связи (+)	обратной связи (−)
Связь отсутствует	$r = 0$	$r = 0$
Связь слабая	$0 < r \le 0{,}3$	$-0{,}3 \le r < 0$
Связь умеренная	$0{,}3 < r \le 0{,}7$	$-0{,}7 \le r < -0{,}3$
Связь сильная	$0{,}7 < r < 1$	$-1 < r < -0{,}7$
Полная функциональная	$r = 1$	$r = -1$

Постройте 3 поля корреляции содержаний железа и магнитной восприимчивости. Определите, с какой величиной теснее связана магнитная восприимчивость. Для последней вычислите коэффициент корреляции и в соответствии с таблицей, приведенной выше, сделайте вывод. В отчете приведите графики и результат расчета. Сформулируйте вывод по выполненной работе.

Таблица 2. Содержание железа в руде по скважинам и их магнитная восприимчивость

№ скв	Значения КАРЬЕР-2	Хим. анализ Fe общ.	Хим. анализ Fe маг.	Fe sil	Магнитная восприимчивость
ВАРИАНТ 1					
258	5254	18,2	12,03	6,17	0,007361
245	5249	18,26	12,09	6,17	0,007438
223	5358	15,53	8,96	6,57	0,005791
198	5274	15,58	10,12	5,46	0,007054
165	5261	16,81	10,55	6,26	0,007253
118	5389	12,75	6,53	6,22	0,005334

102	5387	14,9	8,11	6,79	0,005364
44	5495	12,16	5,2	6,96	0,003813
30	5515	11,84	4,76	7,08	0,003533
13	5653	9,23	3,06	6,17	0,001651
108	5426	12,82	6,31	6,51	0,004797
133	5386	14,45	7,77	6,68	0,005378
251	5197	17,32	11,39	5,93	0,008248
241	5174	17,22	12,27	4,95	0,008612
221	5189	16,89	12,12	4,77	0,008374
211	5225	15,88	8,93	6,95	0,007810
117	5167	19,22	14,05	5,17	0,008723
106	5210	17,35	12,4	4,95	0,008044
96	5210	16,8	10,34	6,46	0,008044
86	5243	15,77	9,86	5,91	0,007531
298	5181	15,91	11,23	4,68	0,008501
271	5159	17,46	11,96	5,5	0,008850
206	5277	17,02	10,88	6,14	0,007008
176	5771	5,06	1,92	3,14	0,000114
151	5240	16,46	9,84	6,62	0,007577
ВАРИАНТ 2					
142	5247	15,99	9,83	6,16	0,007469
175	5285	17,48	10,15	7,33	0,006886
222	5424	13,62	7,06	6,56	0,004826
235	5201	16,38	10,13	6,25	0,008185
68	5211	17,49	12,38	5,11	0,008028
78	5214	17,86	12,33	5,53	0,007981
93	5297	14,21	8,76	5,45	0,006704
128	5618	9,28	4,44	4,84	0,002120
154	5248	15,24	8,41	6,83	0,007453
124	5785	5,21	1,42	3,79	-6,3551E-05
87	5336	14,13	7,7	6,43	0,006118
74	5302	16,83	10,24	6,59	0,006629
47	5305	17,95	10,96	6,99	0,006583
34	5417	14,67	8,8	5,87	0,004927
117	5402	14,71	8,39	6,32	0,005145
138	5261	14,84	8,49	6,35	0,007253
147	5264	15,85	9,82	6,03	0,007207
157	5281	16,45	10,27	6,18	0,006947
149	5253	16,56	10,86	5,7	0,007376
136	5278	16,12	10,58	5,54	0,006993

100	5341	15,28	9,54	5,74	0,006043
84	5291	15,92	10,78	5,14	0,006795
94	5456	13,19	7,23	5,96	0,004366
105	5341	14,96	8,38	6,58	0,006043
ВАРИАНТ 3					
85	5237	17,8	12,61	5,19	0,007623
269	5277	15,16	8,26	6,9	0,007008
262	5321	15,5	8,71	6,79	0,006342
212	5303	17	9,76	7,24	0,006613
189	5308	18,46	11,97	6,49	0,006538
162	5248	17,6	11,78	5,82	0,007453
152	5269	17,86	12,44	5,42	0,007131
139	5301	16,22	9,82	6,4	0,006644
168	5190	19,48	14,17	5,31	0,008358
198	5222	17,83	10,83	7	0,00785703
208	5321	16,61	9,79	6,82	0,006342793
223	5265	18,18	11,44	6,74	0,007192336
258	5272	18,23	12,38	5,85	0,007085156
263	5357	14,65	8,03	6,62	0,005806037
278	5248	17,23	11,49	5,74	0,00745382
100	5316	17,98	9,73	8,25	0,006417917
120	5299	17,55	9,65	7,9	0,0066744
132	5361	17,04	9,16	7,88	0,005746843
142	5448	15,31	8,34	6,97	0,004480867
147	5256	17,56	10,83	6,73	0,007330558
161	5335	16,88	9,9	6,98	0,006133194
174	5291	16,99	10,09	6,9	0,006795669
181	5529	14,02	7,09	6,93	0,003338015
165	5233	17,63	10,89	6,74	0,007685952
153	5276	17,22	9,64	7,58	0,007024038
ВАРИАНТ 4					
143	5273	18,16	11,92	6,24	0,007069868
104	5267	17,07	10,26	6,81	0,007161684
116	5307	18,34	11,57	6,77	0,006553498
126	5471	14,55	6,51	8,04	0,004152913
141	5358	16,68	9,51	7,17	0,00579123
281	5549	10,18	4,27	5,91	0,003060965
267	5527	9,78	3,78	6	0,00336583
253	5381	11,95	6,33	5,62	0,00545219
206	5265	17,95	10,98	6,97	0,007192336
170	5331	14,77	9,27	5,5	0,006192967

167	5316	14,51	8,61	5,9	0,006417917
154	5293	14,74	9,13	5,61	0,006765317
155	5311	14,81	9,88	4,93	0,006493183
163	5338	13,57	8,36	5,21	0,006088423
174	5307	14,94	9,24	5,7	0,006553498
197	5293	16,7	10,34	6,36	0,006765317
207	5292	17,66	12,03	5,63	0,00678049
238	5379	14,74	8,92	5,82	0,005481557
243	5462	12,54	7,16	5,38	0,004280914
252	5316	14,08	8,63	5,45	0,006417917
271	5529	10,81	5,04	5,77	0,003338015
323	5413	13,85	7,85	6	0,004985275
293	5514	13,81	7,92	5,89	0,003547121
272	5569	7,22	3,25	3,97	0,002785905
251	5432	13,08	7,62	5,46	0,004710647
ВАРИАНТ 5					
188	5289	16,75	10,61	6,14	0,006826043
172	5313	14,25	8,82	5,43	0,00646306
164	5279	14,98	8,57	6,41	0,00697826
259	5616	5,9	2,27	3,63	0,002147226
264	5282	13,95	8,01	5,94	0,006932534
301	5497	11,25	5,32	5,93	0,003785487
318	5415	12,66	6,880	5,78	0,004956276
24	5497	11,51	5,18	6,33	0,003785487
36	5495	11,41	5,58	5,83	0,003813627
48	5520	12,22	5,42	6,8	0,003463342
61	5561	10,74	4,29	6,45	0,002895692
84	5559	10,13	4,12	6,01	0,002923188
85	5609	12,02	4,86	7,16	0,00224167
132	5487	12,73	5,87	6,86	0,003926393
181	5557	12,94	6,67	6,27	0,002950703
71	5556	11,43	5,77	5,66	0,002964469
62	5567	11,91	5,78	6,13	0,002813322
59	5553	10,65	5,16	5,49	0,003005794
47	5528	11,13	5,6	5,53	0,00335192
26	5522	10,35	4,89	5,46	0,003435456
35	5536	11,24	5,62	5,62	0,003240819
7	5646	8,52	2,97	5,55	0,001745119
123	5262	14,69	10,15	4,54	0,007238357
113	5229	15,86	11,72	4,14	0,007748079
ВАРИАНТ 6					

99	5216	14,25	8,69	5,56	0,00795065
66	5226	16,7	12	4,7	0,007794737
49	5327	14,95	10,21	4,74	0,00625283
104	5230	16,13	11,26	4,87	0,007732539
115	5228	14,13	9,65	4,48	0,007763626
96	5222	15,53	11,18	4,35	0,00785703
45	5293	15,57	10,95	4,62	0,006765317
260	5207	14,33	8,07	6,26	0,008091483
245	5684	8,23	2,28	5,95	0,001241876
239	5441	15,6	9,88	5,72	0,00458123
226	5504	10,75	4,94	5,81	0,003687158
206	5550	11,87	5,81	6,06	0,003047165
205	5695	9,17	3,63	5,54	0,001097454
195	5730	7,61	1,66	5,95	0,000641618
187	5724	7,42	1,71	5,71	0,000719365
179	5604	12,68	6,03	6,65	0,002309275
171	5650	13,21	8,48	4,73	0,001691827
163	5499	10,97	5,02	5,95	0,003757368
142	5718	6,54	1,16	5,38	0,000797276
139	5757	5,68	0,82	4,86	0,00029376
59	5617	12,75	4,37	8,38	0,002133754
69	5680	11,97	3,98	7,99	0,001294532
79	5519	14,17	6,32	7,85	0,003477292
120	5238	16,43	12,04	4,39	0,007608427
202	5246	17,27	11,2	6,07	0,007484694
229	5295	16,75	11,22	5,53	0,006734989
ВАРИАНТ 7					
302	5210	17,19	11,82	5,37	0,008044485
341	5242	17,67	12,3	5,37	0,007546513
393	5281	16,18	11,11	5,07	0,006947771
423	5177	18,41	11,81	6,6	0,008564465
405	5252	17,25	11,03	6,22	0,007392142
380a	5183	18,07	12,44	5,63	0,008469431
360	5258	16,35	11,07	5,28	0,007299801
350a	5322	16,55	9,57	6,98	0,006327785
320a	5261	17,59	11,72	5,87	0,007253709
231a	5349	16,8	9,66	7,14	0,005924692
151	5445	14,7	6,84	7,86	0,004523848
31	5378	15,08	7,11	7,97	0,005496248
379	5179	16,92	12,53	4,39	0,008532762
354	5256	17,1	11,02	6,08	0,007330558
344	5370	15,72	9,86	5,86	0,005613977

329	5275	16,35	10,6	5,75	0,007039309
279	5258	16,28	11,54	4,74	0,007299801
248	5229	17,75	12,29	5,46	0,007748079
222	5285	15,51	10,61	4,9	0,006886861
127	5185	16,84	12,53	4,31	0,008437801
97	5329	13,88	8,4	5,48	0,006222887
67	5615	12,65	4,18	8,47	0,002160704
37	5318	15,44	9,26	6,18	0,00638785
7	5575	12,23	3,97	8,26	0,002703772
410	5185	18,23	12,92	5,31	0,008437801
ВАРИАНТ 8					
400	5145	18,66	13,12	5,54	0,009075059
358	5268	15,98	10,22	5,76	0,007146367
348	5327	17,4	11,59	5,81	0,00625283
328	5274	16,59	10,65	5,94	0,007054585
254	5278	16,24	10,68	5,56	0,006993514
206	5237	16,13	9,7	6,43	0,00762392
166	5427	14,96	8,46	6,5	0,004782731
163	5478	16,16	9,64	6,52	0,004053648
146	5510	12,41	5,41	7	0,003603075
433	5173	17,44	12,26	5,18	0,008627944
444	5211	17,1	11,96	5,14	0,00802883
454	5198	18,02	12,18	5,84	0,008232804
475	5178	15,43	9,77	5,66	0,008548611
506	5317	16,49	9,93	6,56	0,006402881
497	5235	16,18	10,48	5,7	0,007654924
443	5216	16,6	11,09	5,51	0,00795065
485	5135	16,69	12,38	4,31	0,009235924
436	5232	16,57	11,07	5,5	0,007701475
448	5263	17,98	12,22	5,76	0,007223011
529	5280	15,69	10,39	5,3	0,006963012
528	5241	15,58	10,47	5,11	0,007561983
522	5341	15,29	10,28	5,01	0,006043702
514	5223	18,04	12,59	5,45	0,007841448
250	5230	15,15	11,38	3,77	0,007732539
ВАРИАНТ 9					
219	5367	12,61	8	4,61	0,005658216
214	5325	13,98	9,54	4,44	0,006282795
159	5343	13,13	8,61	4,52	0,006013916
144	5399	14,21	9,67	4,54	0,005188869
338	5286	15,1	10,25	4,85	0,006871648

348	5244	14,66	8,68	5,98	0,007515592
277	5219	18,6	12,45	6,15	0,007903813
297	5378	14,64	6,96	7,68	0,005496248
339	5255	13,74	8,93	4,81	0,007345945
218	5466	11,81	7,31	4,5	0,004223973
205	5741	7,32	4,16	3,16	0,000499503
195	5401	14,14	9,62	4,52	0,00515972
175	5387	12,86	8,44	4,42	0,005364221
148	5379	18,05	13,81	4,24	0,005481557
138	5391	11,81	7,37	4,44	0,005305684
12	5123	15,99	11,9	4,09	0,009429792
32	5120	20,62	16,66	3,96	0,009478401
25	5115	17,03	13,75	3,28	0,009559542
19	5139	18,43	15,19	3,24	0,009171503
18	5162	19,64	15,57	4,07	0,008803018
24	5127	19,85	16,28	3,57	0,009365068
243	5444	11,89	7,7	4,19	0,004538186
226	5370	12,11	8,93	3,18	0,005613977
155	5179	14,65	11	3,65	0,008532762
85	5379	15,24	10,21	5,03	0,005481557
ВАРИАНТ 10					
74	5313	14,26	9,62	4,64	0,00646
18	5267	14,60	10,68	3,92	0,00716
65	5266	14,60	10,57	4,03	0,00717
82	5307	13,75	9,30	4,45	0,00655
87	5359	13,16	8,97	4,19	0,00577
89	5400	13,21	9,05	4,16	0,005174292
95	5323	15,28	10,98	4,3	0,006312782
99	5310	15,52	11,12	4,4	0,006508253
101	5269	14,78	10,93	3,85	0,007131055
110	5266	14,7	10,78	3,92	0,007177007
130	5217	15,26	11,71	3,55	0,007935031
132	5229	15,58	11,77	3,81	0,007748079
281	5337	14,15	9,48	4,67	0,006103341
284	5294	13,93	9,55	4,38	0,00675015
285	5438	11,10	6,82	4,28	0,004624321
289	5282	14,90	10,59	4,31	0,006932534
303	5361	13,52	9,44	4,08	0,005746843
304	5347	13,05	8,83	4,22	0,005954411
307	5301	13,14	9,39	3,75	0,00664414
309	5368	12,22	8,31	3,91	0,005643465
310	5348	12,89	9,08	3,81	0,005939549

319	5338	14,66	10,82	3,84	0,006088423
322	5327	14,07	10,35	3,72	0,00625283
325	5332	13,11	8,98	4,13	0,006178015
328	5409	11,15	7,26	3,89	0,005043337
ВАРИАНТ 11					
329	5365	13,15	9,07	4,08	0,005687736
340	5431	12,35	8,41	3,94	0,004725053
344	5400	14,16	10,14	4,02	0,005174292
347	5463	10,98	7,22	3,76	0,004266671
348	5476	12,32	8,42	3,9	0,004081983
353	5411	10,94	7,26	3,68	0,005014295
364	5365	13,20	9,11	4,09	0,005687736
369	5360	12,86	9,80	3,06	0,005761633
381	5430	10,13	6,67	3,46	0,004739465
383	5269	16,69	12,52	4,17	0,007131055
391	5256	15,20	11,12	4,08	0,007330558
27	5311	14,77	10,73	4,04	0,006493183
51	5476	10,53	6,38	4,15	0,004081983
75	5341	13,72	10,23	3,49	0,006043702
140	5500	8,32	3,91	4,41	0,003743316
170	5321	14,00	10,23	3,77	0,006342793
190	5526	8,82	5,35	3,47	0,003379745
203	5412	11,49	7,73	3,76	0,004999783
240	5332	14,21	10,16	4,05	0,006178015
253	5245	14,89	11,31	3,58	0,00750014
234	5397	15,29	8,93	6,36	0,005218041
243	5385	14,49	7,97	6,52	0,005393522
265	5415	14,95	9,51	5,44	0,004956276
266	5355	14,31	9,36	4,95	0,005835668
276	5257	17,46	11,87	5,59	0,007315176
286	5357	16,01	10	6,01	0,005806037
ВАРИАНТ 12					
287	5358	15,38	9,55	5,83	0,00579123
306	5224	20,34	14,08	6,26	0,007825872
285	5287	16,52	11,68	4,84	0,00685644
268	5458	14,91	8,71	6,2	0,004337939
264	5326	15,79	11,16	4,63	0,006267809
255	5427	14,67	8,38	6,29	0,004782731
232	5333	16,01	9,95	6,06	0,006163069
212	5360	16,24	9,72	6,52	0,005761633
73	5338	14,21	9,68	4,53	0,006088423

76	5304	14,58	10,15	4,43	0,006598793
83	5314	14,42	9,62	4,8	0,006448006
123	5419	13,05	8,69	4,36	0,004898342
153	5743	7,41	3,32	4,09	0,000473722
166	5322	15,05	9,8	5,25	0,006327785
239	5584	9,91	5,51	4,4	0,002580903
229	5537	11,6	6,58	5,02	0,003226954
207	5539	11,3	6,29	5,01	0,00319924
199	5482	11,38	6,47	4,91	0,003997038
190	5554	11,18	5,92	5,26	0,002992014
137	5689	9,35	4,52	4,83	0,00117616
107	5505	9,64	4,53	5,11	0,003673131
106	5586	11,17	6,68	4,49	0,002553653
121	5684	7,39	2,78	4,61	0,001241876
151	5663	10,31	5,57	4,74	0,001519149
272	5206	18,94	14,99	3,95	0,008107161
252	5262	15,91	11,59	4,32	0,007238357
212	5239	15,5	11,79	3,71	0,00759294
192	5205	16,72	13,12	3,6	0,008122846
182	5167	16,11	12,31	3,8	0,008723346
211	5228	15,77	11,8	3,97	0,007763626
220	5244	16,08	11,76	4,32	0,007515592
190	5200	15,62	11,75	3,87	0,008201357
245	5233	17	12,55	4,45	0,007685952
235	5276	15,85	11,62	4,23	0,007024038
Вариант 13					
224	5254	16,56	12,9	3,66	0,007361338
205	5166	17,4	14,2	3,2	0,008739268
185	5202	16,35	12,37	3,98	0,008169935
203	5222	16,45	11,44	5,01	0,00785703
233	5196	16,22	12,5	3,72	0,008264276
156	5176	15,86	12,15	3,71	0,008580325
172	5203	16,49	12,44	4,05	0,008154232
154	5213	16,61	13,15	3,46	0,00799754
37	5255	14,51	10,34	4,17	0,007345945
36	5225	15,94	12,16	3,78	0,007810301
16	5268	15,1	10,43	4,67	0,007146367
300	5360	14,9	9,97	4,93	0,005761633
125	5656	9,06	4,48	4,58	0,001612031
73	5274	14,64	10,65	3,99	0,007054585
55	5487	10,74	6,59	4,15	0,003926393
79	5337	14,67	10,82	3,85	0,006103341

91	5277	16,21	12,2	4,01	0,007008773
164	5430	12,34	7,88	4,46	0,004739465
18	5267	14,60	10,68	3,92	0,007161684
89	5400	13,21	9,05	4,16	0,005174292
99	5310	15,52	11,12	4,4	0,006508253
130	5217	15,26	11,71	3,55	0,007935031
110	5266	14,7	10,78	3,92	0,007177007
87	5359	13,16	8,97	4,19	0,005776429
101	5269	14,78	10,93	3,85	0,007131055
132	5229	15,58	11,77	3,81	0,007748079
95	5323	15,28	10,98	4,3	0,006312782
ВАРИАНТ 14					
289	5282	14,90	10,59	4,31	0,006932
303	5361	13,52	9,44	4,08	0,005746
307	5301	13,14	9,39	3,75	0,00664
348	5476	12,32	8,42	3,9	0,00408
386	5254	13,45	9,70	3,75	0,007361
369	5360	12,86	9,80	3,06	0,005761
347	5463	10,98	7,22	3,76	0,004266
391	5256	15,20	11,12	4,08	0,007330
344	5400	14,16	10,14	4,02	0,005174
329	5365	13,15	9,07	4,08	0,005687
322	5327	14,07	10,35	3,72	0,00625
265	5356	12,33	8,21	4,12	0,00582
228	5364	14,95	10,53	4,42	0,005702
208	5293	13,43	9,47	3,96	0,006765
188	5451	12,39	7,63	4,76	0,004437
178	5386	13,51	9,19	4,32	0,005378
179	5330	14,57	10,49	4,08	0,006207
204	5342	12,57	8,58	3,99	0,006028
239	5258	13,55	9,46	4,09	0,007299
254	5223	15,13	11,05	4,08	0,007841
279	5563	7,86	4,79	3,07	0,002868
100	5272	16,58	12,59	3,99	0,007085
64	5404	13,72	9,46	4,26	0,005116
41	5481	12,44	7,89	4,55	0,004011
28	5494	10,67	6,43	4,24	0,003827
12	5405	11,97	7,67	4,3	0,005101
7	5402	12,68	8,27	4,41	0,005145

Практическое занятие № 7 ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН МЕТАСОМАТОЗА

ПРЕДСТАВЛЕНЫ КАРТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ, КАЖУЩЕЙСЯ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ И МАСШТАБА 1:10000

1 РАССМОТРИТЕ ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

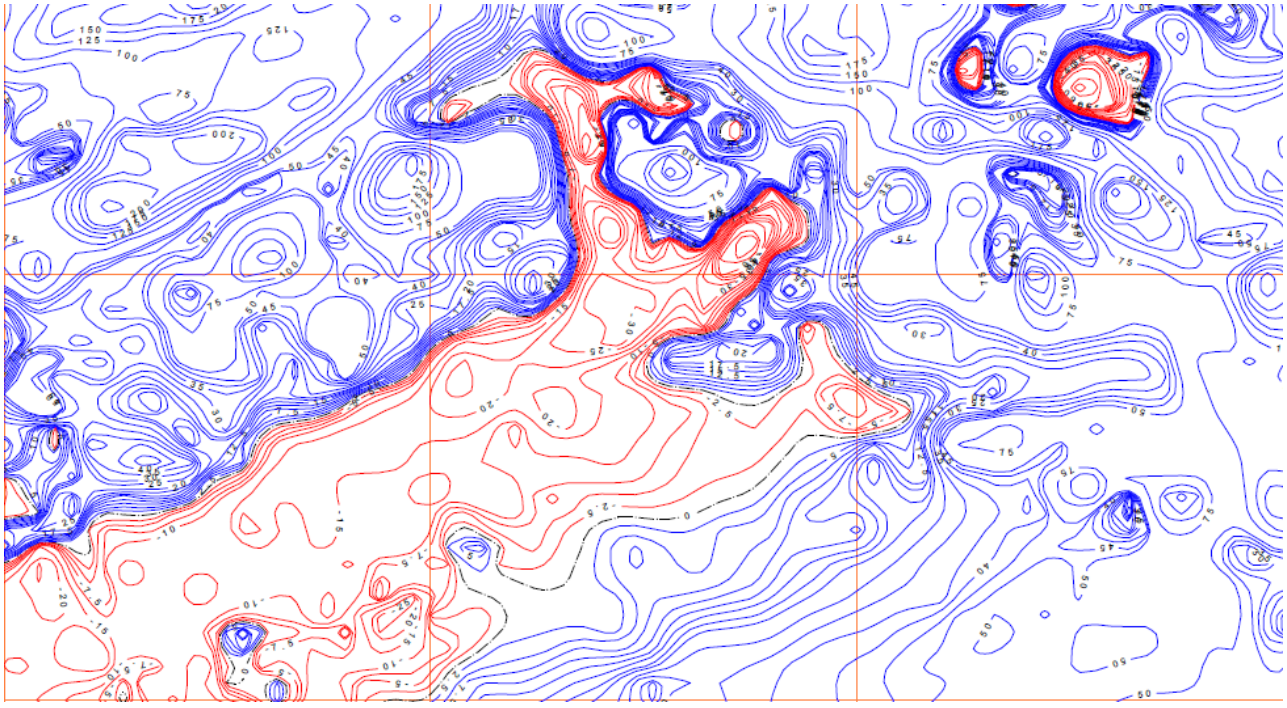
2 СФОРМУЛИРУЙТЕ ПРИЗНАКИ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ И СОЗДАЙТЕ ПРИЗНАКОВОЕ ПРОСТРАНСТВО (ДИАПАЗОН ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ)

3 ВЫПОЛНИТЕ ПРОЦЕДУРУ ЕСТЕСТВЕННОГО РАССЛОЕНИЯ ДАННЫХ (РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ)

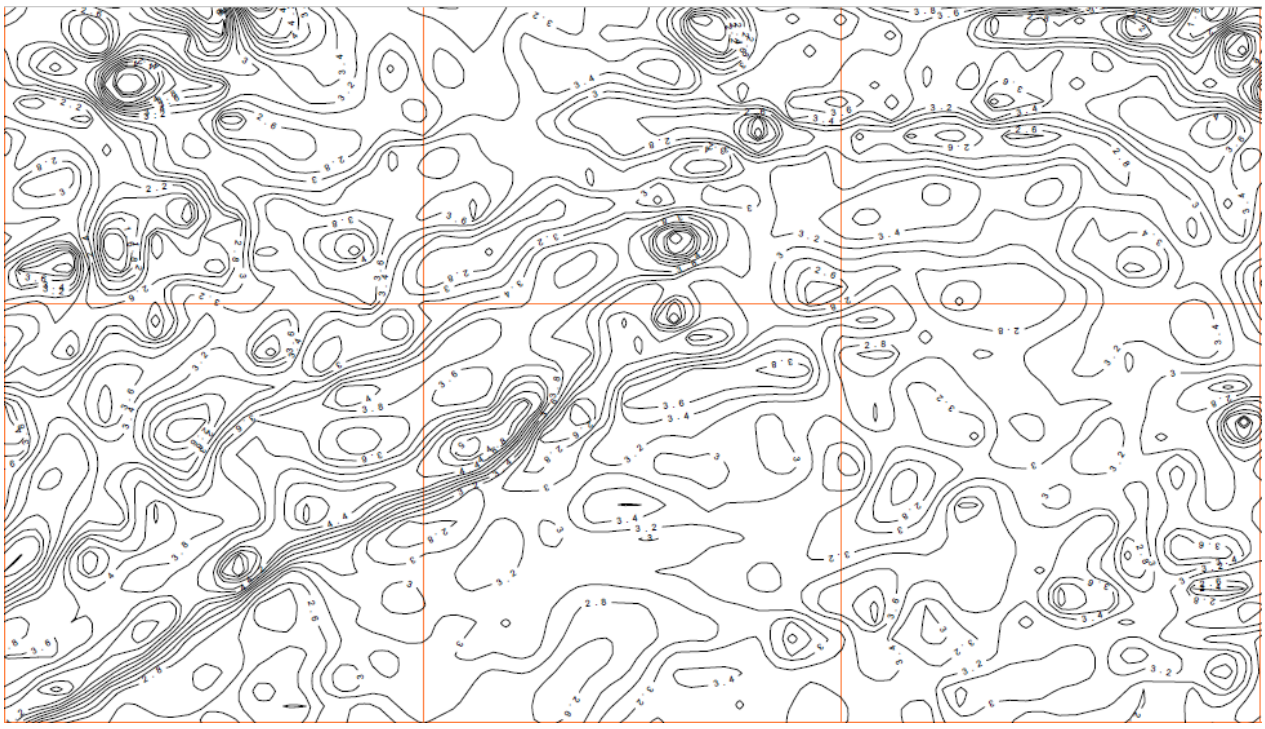
4 ВЫДЕЛИТЕ ЗОНУ МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ. УКАЖИТЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ТРЕХ СКВАЖИН ГЛУБИНОЙ 100 М

4 НАПИШИТЕ ОТЧЕТ

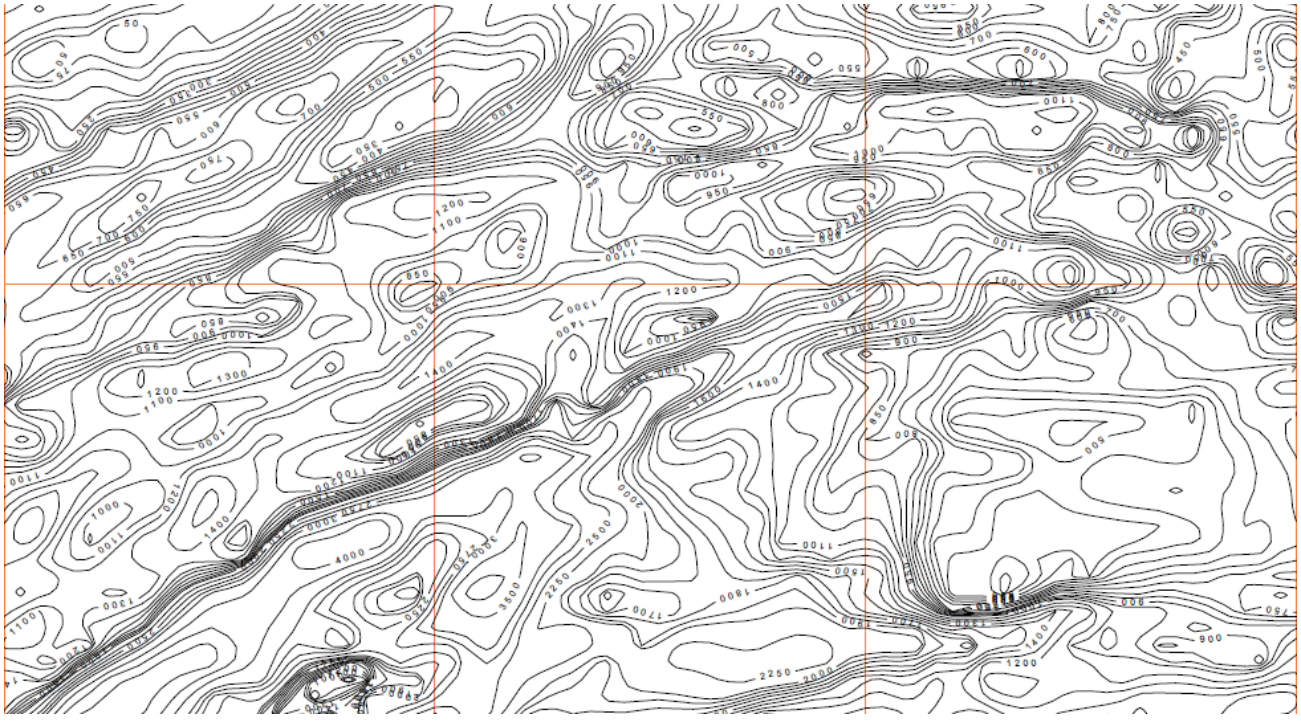
1 вариант



МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



ВП FI



КАЖУЩЕЕСЯ СОПРОТИВЛЕНИЕ

2 вариант

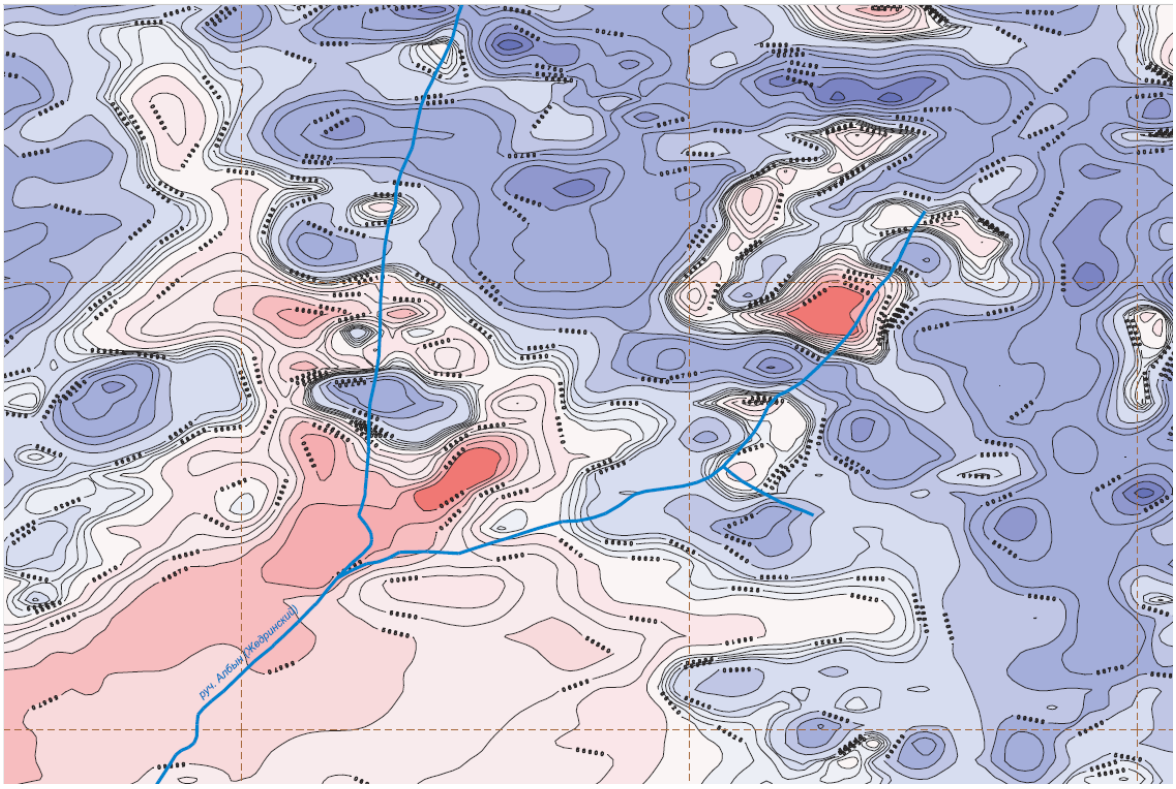
ПРЕДСТАВЛЕНЫ КАРТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, КАЖУЩЕГОСЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ, КАЖУЩЕЙСЯ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА МАСШТАБА :10000

1 РАССМОТРИТЕ ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

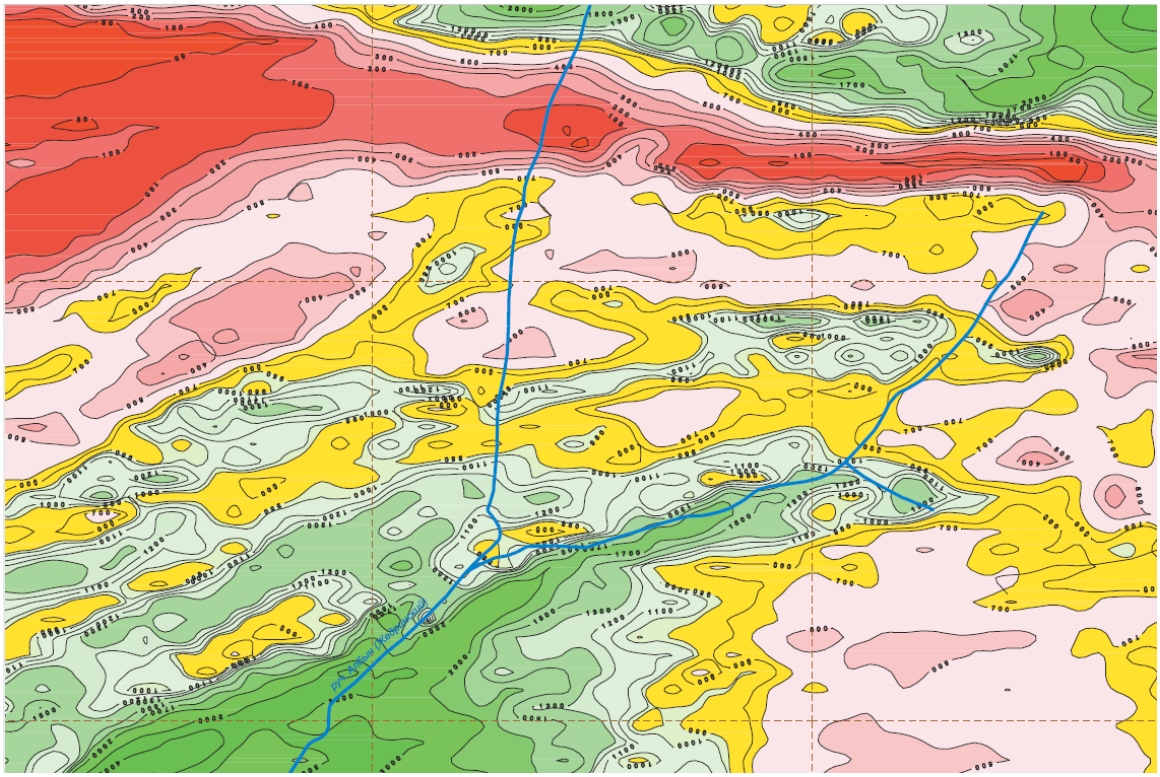
2 ОПРЕДЕЛИТЕ КАК ИСПОЛЬЗОВАНЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

3 ДОПОЛНИТЕ ВЫПОЛНЕННОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ ПОЛЕЙ ЭЛЕМЕНТАМИ, НЕ НАШЕДШИМИ ОТРАЖЕНИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЕ

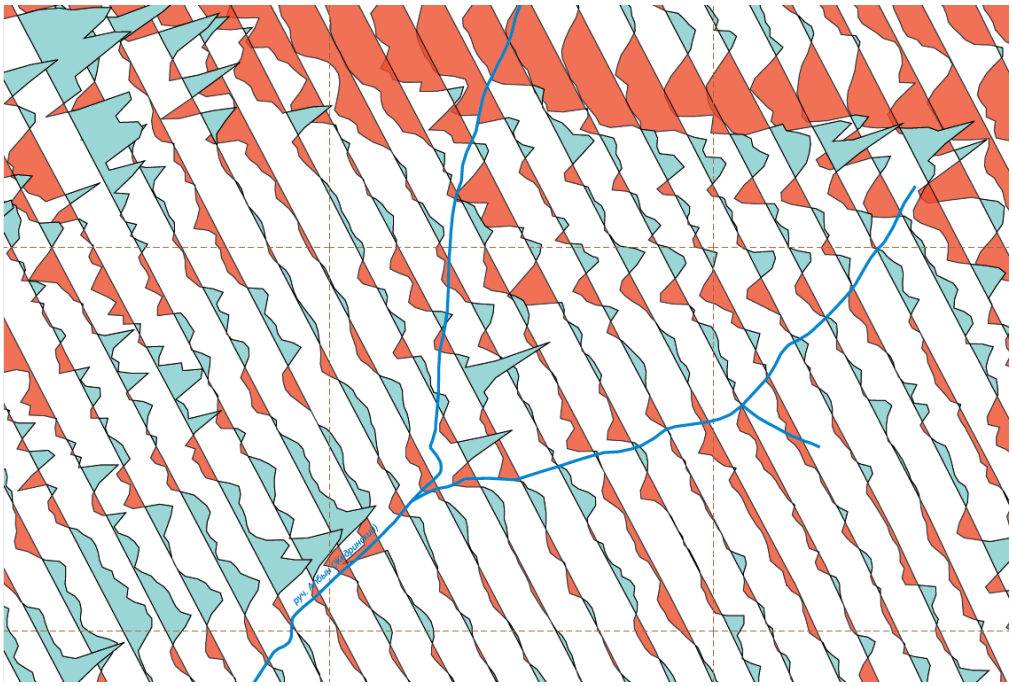
4 НАПИШИТЕ ОТЧЕТ



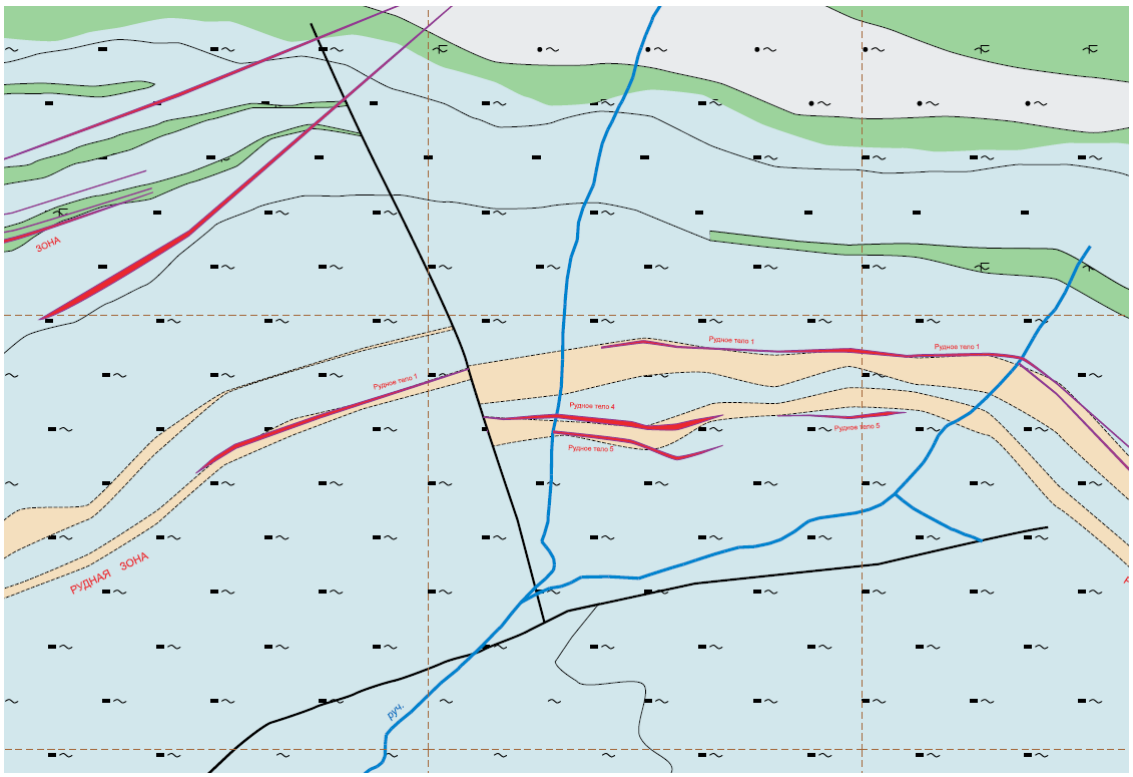
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



КАЖУЩЕЕСЯ СОПРОТИВЛЕНИЕ



ГРАФИКИ КАЖУЩЕЙСЯ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ



Условные обозначения

- низкие слабодифференцированные поля кажущегося сопротивления (500 - 1000 Ом*м), низкие спокойные поля магнитногот поля (50нТл - 100 нТл), отмечающиеся поляризуемостью (1% - 3%) соответствующие метапесчаникам, метаалевролитам с прослоями филлитизированных сланцев

- низкие, линейные поля кажущегося сопротивления (40 - 400 Ом*м), низкие дифференцированные поля магнитногот поля (50нТл - 200 нТл), отмечающиеся дифференцированной поляризуемостью (1% – 4%) соответствующие графитистым (углеродсодержащим) сланцам с прослоями серых филлитизированных алевритовых и карбонат-кремнистых сланцев, филлитовых сланцев верхней подсвиты

- дифференцированные поля кажущегося сопротивления (400 - 1000 Ом*м), низкие знакопеременные дифференцированные поля магнитногот поля (-20нТл - 300 нТл), отмечающиеся слабодифференцированной поляризуемостью (2,5% - 3,5%) соответствующие участкам переслаивания графитистых (углеродсодержащих) сланцев и серых алевритовых филлитизированных сланцев с карбонат-глинистыми (карбонат-слюдяно-кварцевыми) углеродистыми и карбонат-кремнистыми сланцами средней подсвиты

- высокие слабодифференцированные поля кажущегося сопротивления (1500 - 5000 Ом*м), низкие знакопеременные поля магнитногот поля (-70нТл - 30 нТл), отмечающиеся высокой слабодифференцированной поляризуемостью (3% - 4%) соответствующие графитистым сланцам с прослоями двуслюдяных сланцев (альбит-слюдяно-кварцевых) нижней подсвиты

- высокие поля кажущегося сопротивления (2000 - 10000 Ом*м), линейные интенсивные аномалии магнитногот поля (500 нТл - 600 нТл), низкие линейные поля кажущейся поляризуемости (0,5% - 1,0%) соответствующие альбит-актинолит-эпидотовым, альбит-хлорит-актинолит-эпидотовым сланцам

- золоторудные тела по данным поисково-оценочных работ 2007-2008 г.г.

1. Золоторудные кварц-альбитовые метасоматиты
2. Золотоносные жилы

месторождения и их названия

- тектонические нарушения.

ЛИТЕРАТУРА

1 В.И. Аронов Методы математической обработки геологических данных на ЭВМ.

2 В.Н. Страхов – геофизик и математик.

3 Справочник по математическим методам в геологии.

4 Никитин А.А. Теоретические основы обработки геологической информации.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1 Описание поверхностей геологических объектов

Лабораторная работа № 2 Описание геологической поверхности кубическими сплайнами

Лабораторная работа № 3 Аналитическая аппроксимация естественного электрического поля

Лабораторная работа № 4 Подсчет ресурсов по геофизическим данным

Лабораторная работа № 5 Выделение разломов по комплексу геофизических методов

Лабораторная работа № 6 Корреляция содержания железа и магнитной восприимчивости

Лабораторная работа № 7 Анализ геофизических полей

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО

«Уральский государственный горный университет»

В. М. Сапожников

ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Учебное пособие
по дисциплине «Физико-геологическое моделирование»
для студентов специальности
21.05.03 Технология геологической разведки
специализации «Геофизические методы исследования скважин»

ОДОБРЕНО
Методической комиссией
факультета геологии и геофизики УГГУ
«20» марта 2020 г.
Председатель комиссии

_____ проф. В.И. Бондарев

Екатеринбург – 2020

Введение

Представленный курс лекций в основном ориентирован на изложение методик выявления и изучения месторождений твердых полезных ископаемых. Именно эти объекты являются главными для специальности 21.05.03 Технология геологической разведки.

1. НОРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ. НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

При проведении геофизических работ приходиться оперировать понятиями нормального поля и геофизической аномалии. И хотя способы их определения в различных методах могут существенно различаться, основные принципы в этих способах являются общими. Это связано с тем, что задачей геофизических исследований является выявление и классификация неоднородностей в геологической среде.

Нормальное поле

Это такое физическое поле условно однородной геологической среды, которое существовало бы в случае отсутствия объектов, нарушающих однородность этой среды. Например, за нормальное в гравиразведке принимают поле силы тяжести условно однородного сфероида Земли, поверхность которого совпадает с уровнем океанов. Это поле определяют исходя из координат точки наблюдения по широте и долготе с учетом значения поля на экваторе. Для уточнения в это поле вносят поправку Буге, учитывающую влияние толщины и плотности промежуточного (между точкой наблюдения и уровнем океана) слоя.

В магниторазведке также рассчитаны карты нормального поля Земли, которое на ограниченной площади принимают за постоянное значение. Его определяют в соответствии с географическим положением этой площади на материке или в море. В методе радиоволнового просвечивания (РВП) нормальное электромагнитное поле вычисляют с учетом паспортной для передатчика начальной напряженности, геометрии (взаимного расположения элементов) установки и коэффициента поглощения поля ($\alpha_к$) условно однородной среды (рис. 2).

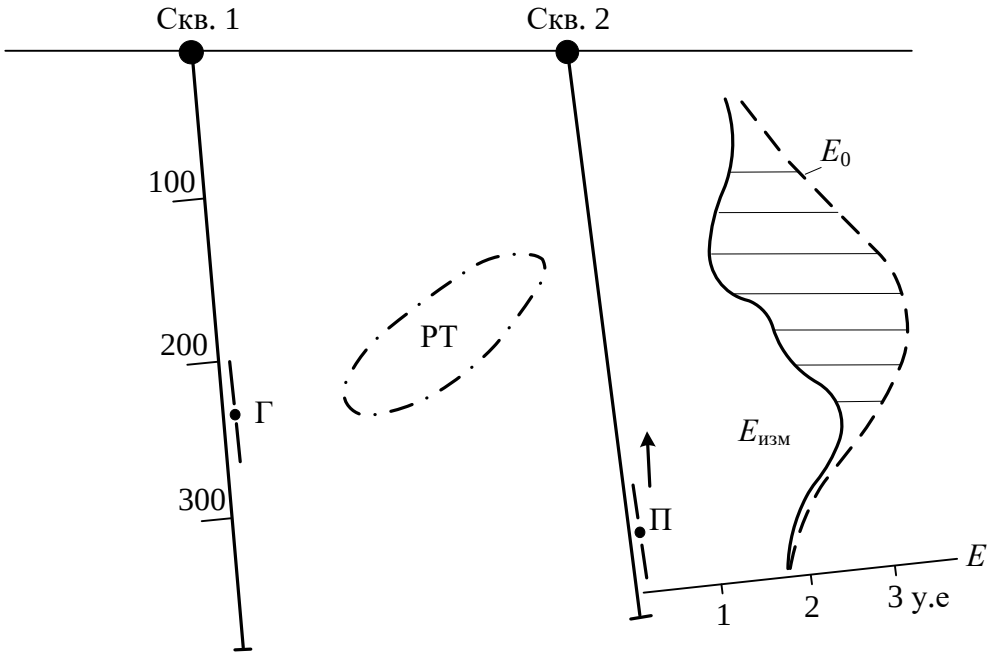


Рис. 2. Пример сопоставления напряженности измеренного ($E_{изм}$) и вычисленного нормального (E_0) поля в методе радиоволнового просвечивания

Г – генераторная антенна; П – приемная антенна; РТ – рудное тело

Похожий подход к определению нормального поля применяют в методе заряда, выражая это поле в виде функции от расстояния точки наблюдения до эпицентра погруженного источника тока. Эту функцию рассчитывают аналитически или определяют стохастическим способом по измеренному полю [13].

В методах, изучающих искусственно возбуждаемые поля, в качестве нормального иногда принимают некоторые обоснованные постоянные значения поля или в виде некоторого диапазона значений с верхним и нижним пределами.

В общем случае нормальным считается поле, обусловленное однородной по конкретному физическому параметру геологической средой. В некоторых случаях условно однородная среда может представлять какую-то структуру, например, горизонтально-слоистое полупространство, измеряемая характеристика поля над которым остается постоянной или изменяется по установленному закону. Принимаемая однородность среды зависит от масштаба исследований. При средне- и крупномасштабных съемках используют понятие о местном нормальном поле, отражающем стохастический подход к его определению.

Стохастический способ определения нормального поля

В методах, изучающих на ограниченной площади естественные физические поля или искусственно возбуждаемые поля при постоянном размере установки (магниторазведка, радиометрия, электропрофилирование и др.), в качестве фона (местного нормального поля) принимают некоторые постоянные значения, характерные для условно однородной геологической среды, которая рассматривается в качестве фонового объекта. Это может быть массив горных пород, горизонтально-слоистая толща или другая структура, характеристики поля для которой по показаниям применяемой установки в идеале должны сохраняться постоянными.

В реальной геологической обстановке в случае наличия такой структуры на результаты геофизических наблюдений влияет масса случайных факторов: мелкая неоднородность физических свойств фонового объекта, изменения геометрии его элементов, рельеф местности и т.п. В этих условиях перспективно использовать стохастический (вероятностно-статистический) подход к определению фона.

Простейшим примером служит статистическое определение коэффициента поглощения в методе РВП, который определяется по нескольким значениям, вычисленным на участках трассы измерений, не имеющих признаков экранирования поля генератора проводниками в межскважинном пространстве. Этот коэффициент для изучаемого разреза принимается как постоянная величина и используется при вычислении нормального поля.

Профильная съемка. В более общем случае, как это показано на рис. 3, *а* на примере профилирования методом вызванной поляризации (ВП) с установкой постоянного размера, исходными являются данные измерений на участке, для которого имеются основания отнести поле на нем к условному фону. Как видно из рис. 3, *а*, значения кажущейся поляризуемости ($\eta_к$) на профиле изменяются в определенных пределах. Для объективного отражения изменчивости поля строится дифференциальная кривая распределения анализируемой характеристики с учетом закона, принимаемого для статистически однородной совокупности этой характеристики. В случае $\eta_к$ распределение хорошо описывается нормальным законом Гаусса. Построение распределения ведется с применением линейной шкалы с разбивкой диапазона измеренных значений на равные интервалы (классы). Ось ординат отражает частость появления при измерениях значений поля

для каждого из классов (соответствует середине класса) и принимается в штуках или процентах (рис. 3, *б*). Для характеристики фона желательно иметь не менее 30 измерений.

При ограниченном объеме выборки для построения детальной кривой распределения в статистике применяют прием, предусматривающий использование второй шкалы значений поля. Ширина классов остается прежней, но их границы смещаются относительно первой шкалы на половину класса. Использование дополнительной шкалы позволяет в 2 раза увеличить число точек, по которым строится распределение, не уменьшая ширину класса.

Значение поля А, встречающееся с максимальной частотостью (мода), которое при нормальном законе распределения совпадает со средним и медианой, принимают в качестве центрального значения – $\bar{A}_0$ (в рассматриваемом примере изучения поляризуемости $\overline{\eta}_{к0}$=2.5 %).

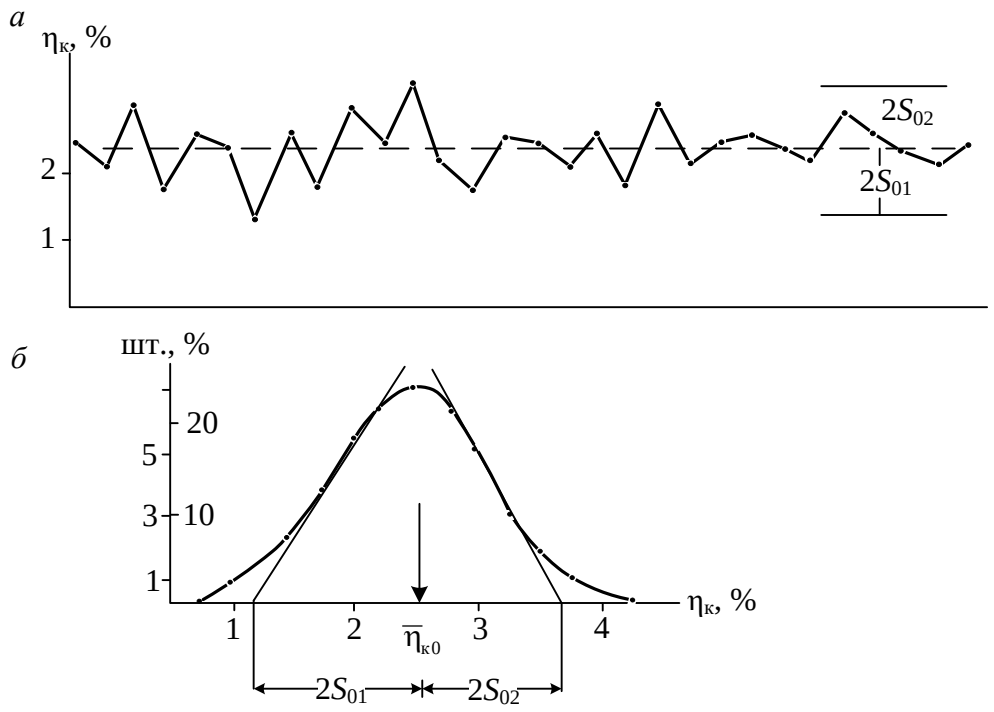


Рис. 3. Графики измеренных значений кажущейся поляризуемости ($\eta_к$) методом ВП по профилю в пределах фонового объекта (*а*) и дифференциальная кривая распределения значений $\eta_к$ для этого профиля, по которой определяются стохастические характеристики фона (*б*)

Для характеристики рассеивания значений относительно центрального используют среднеквадратичное отклонение – S_0. В теории вероятности ему соответствует стандартное отклонение (стандарт). Для его определения к ветвям кривой распределения проводятся две наклонных касательных (рис. 3, *б*). Согласно теории точки пересечения касательных с осью абсцисс смещены от центрального значения на величины $\pm 2S_0$, а расстояние между точками пересечения равно $4S_0$. В рассматриваемом примере S_0=0,63 %.

При упрощенном способе искомые характеристики определяют графически по графикам измеренного поля на фоновом объекте. Осредняющая график прямая соответствует значению $\bar{A}_0$, а величина S_0 определяется по диапазону изменения фона, который приблизительно равен $4S_0$. На рис. 3, *а* этот диапазон отмечен ограничивающими линиями (в правой части рисунка).

Статистические характеристики нормального поля с распределением по закону Гаусса могут быть вычислены и аналитическим путем. Центральное значение вычисляется как среднее для n рядовых (i) измерений: $\bar{A}_0 = \Sigma A_{0i}/n$, а величина S_0 определяется по формуле

$$S_0 = \left[\sum_{i=1}^{n} (A_{0i} - \overline{A}_0)^2 / n \right]^{1/2} \qquad (1)$$

По результатам оценки статистических характеристик нормального поля его диапазон с надежностью 95 % принимают равным:

$$A_0 = \bar{A}_0 \pm 2\, S_0. \qquad (2)$$

Очевидно, что все величины поля, попадающие в этот диапазон, могут рассматриваться как значения фона. По результатам измерений, приводимых на рис. 3, значения в интервале 1.24-3.74 относятся к фоновым характеристикам поля.

При известной величине S_0 к аномалным с надежностью 95 % относятся значения поля, отвечающие условиям: меньше ($\bar{A}_0$-$2S_0$) или больше ($\bar{A}_0$+$2S_0$).

Метод заряда. Исходными данными являются значения относительного потенциала, измеренные по некоторой сети, причем для нее известны координаты точек наблюдения, позволяющие определить расстояние от каждой точки до эпицентра заряда. В примере (рис. 4), иллюстрирующем применение способа, результаты съемки поля за-

ряда в рудное пересечение скважины 1 представлены в виде плана изолиний потенциала.

Наиболее распространенной моделью вмещающей среды в этом методе является однородное изотропное или горизонтально-слоистое полупространство. Для реализации способа определения нормального поля на планшете съемки намечаются 6-8 радиальных профилей с началом в эпицентре заряда О. На одном чертеже строят графики измеренного потенциала (U) для этих радиальных профилей как функции расстояния (r) от точки О и проводят осредняющую их кривую $U_{ср}$. Кривая $U_{ср}$ и рассматривается в качестве функции нормального потенциала $U_0(r)$. Естественно эту процедуру можно выполнить аналитически по простейшей программе осреднения.

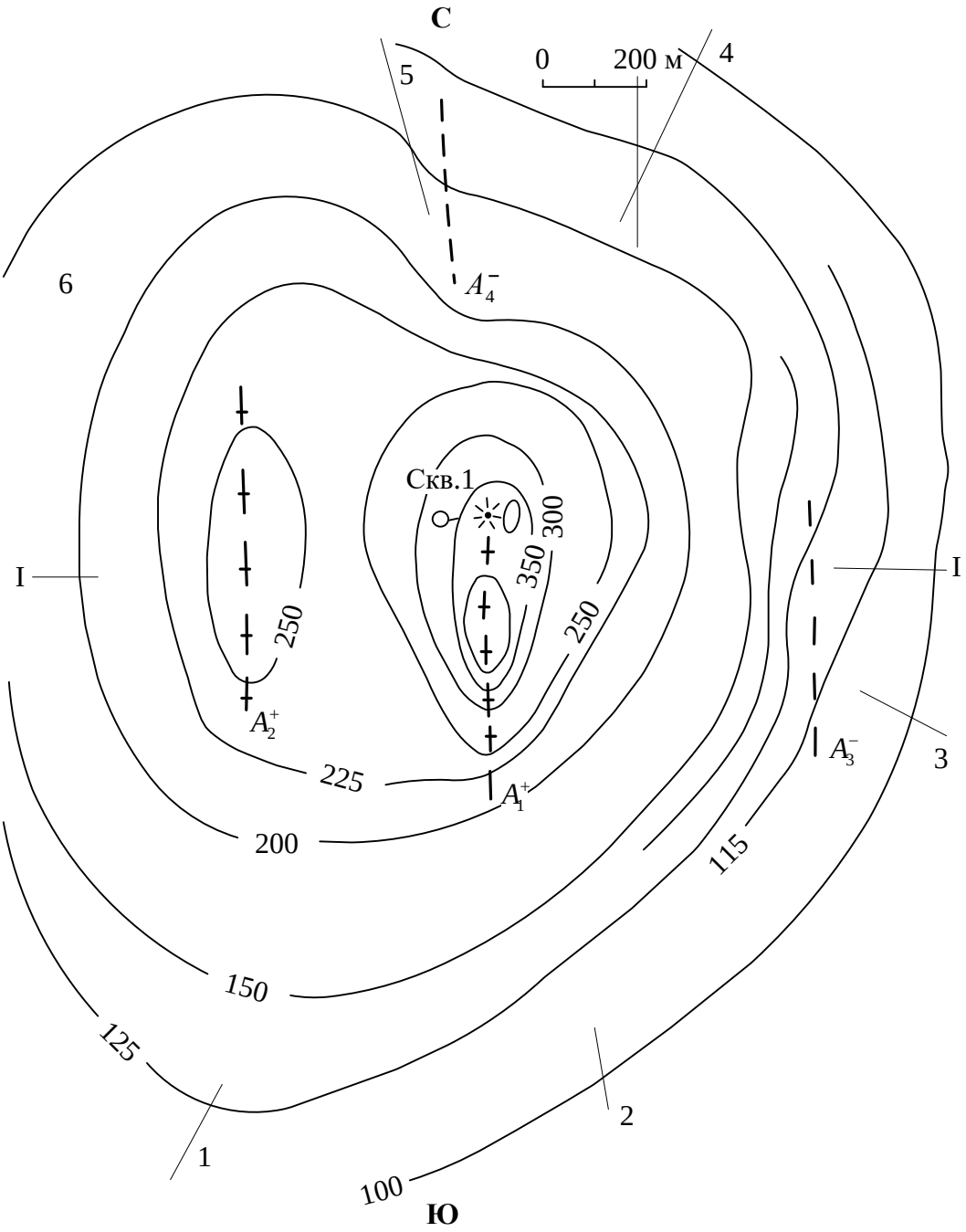


Рис. 4. План изолиний потенциала (в мВ) поля заряда, сделанного в рудное пересечение скв.1:

A^+, A^- - оси положительных и отрицательных аномалий, 1-6 – радиальные профили, *О* – эпицентр заряда; I – I – линия геологического разреза

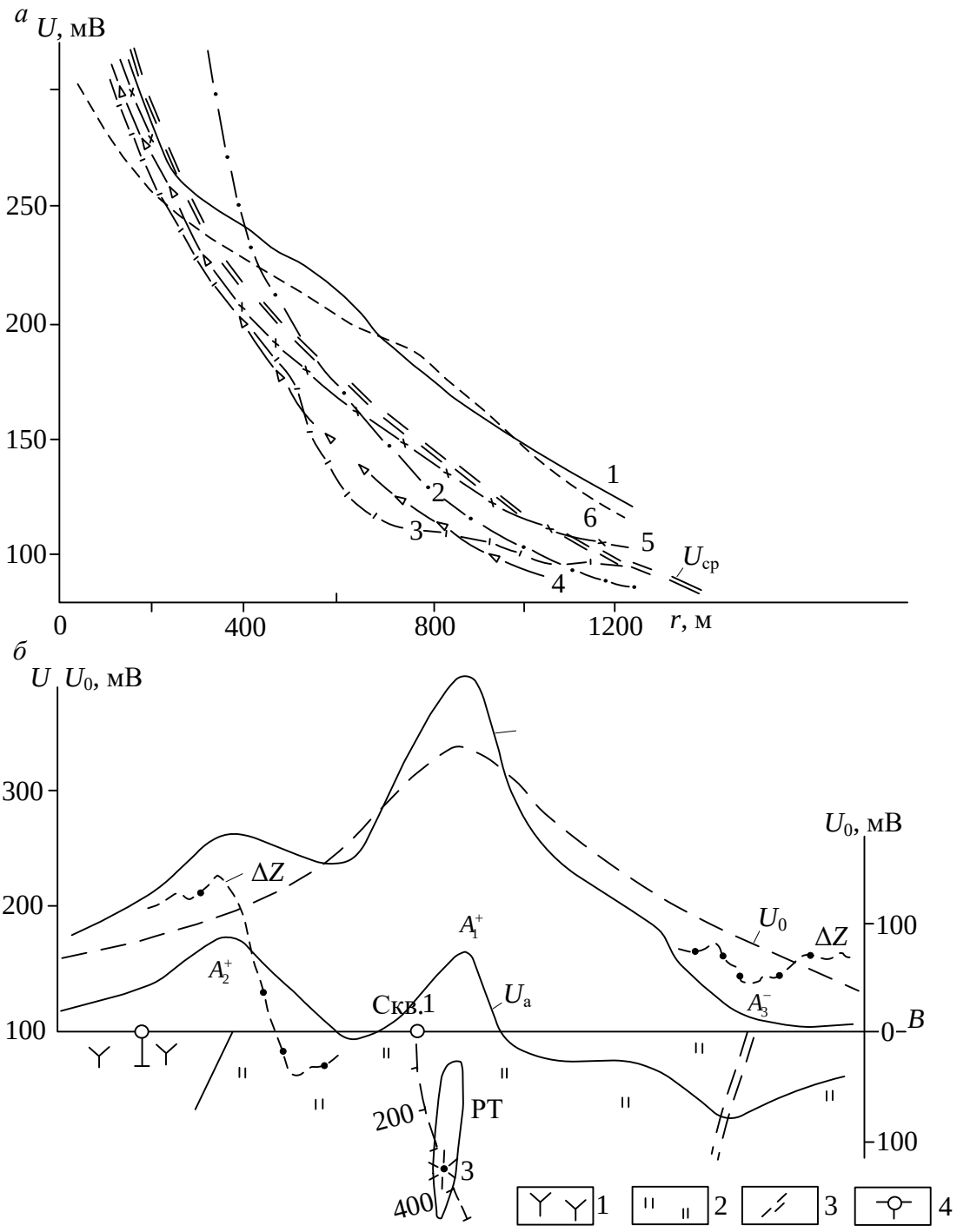


Рис. 5. Результаты обработки и интерпретации поля заряда в скважину 1 (исходные данные на рис. 4):

а – графики потенциала по системе радиальных профилей и осредняющая их кривая ($U_{ср} = U_0(r)$); *б* – графики измеренного, нормального и аномального потенциала (U, U_0, U_a), фрагменты измерений магнитного поля (ΔZ) и геологический разрез по профилю I–I.

1 – субвулканические липарито-дациты; 2 – гидротермально измененные породы; 3 – разрывные нарушения; 4 – скважины; З – заряд; РТ – рудное тело (проекция на плоскость разреза)

В случае наличия признаков проявления анизотропной вмещающей среды стахастический способ определения нормального потенциала в методе заряда применяют с учетом схемы перехода от анизотропной к изотропной среде [13].

По результатам определения нормального потенциала можно при любой ориентировке профилей съемки вычислить нормальный потенциал по профилю. Пример определения в методе заряда по плану изолиний (рис. 4) нормального потенциала по одному из поперечных профилей показан на рис. 5, *а*.

Геофизические аномалии

Геофизическая аномалия характеризует отклонение физического поля от его нормальных значений. По геофизическим аномалиям изучают неоднородности геологической среды различного масштаба, что позволяет получить представление о самой структуре земных недр. В общем случае, при анализе результатов геофизических измерений в качестве аномальной составляющей рассматривают величину разности между измеренным значением поля в *i*-ой точке (A_i) и местным нормальным полем (A_0): $A_{ai} = \Delta A_i = A_i - A_0$. Нормальное поле может быть постоянным или плавно меняющимся, задаваться некоторыми средними величинами или, при учете его дисперсии, в виде предельных значений. В общем случае к аномальным относятся значения, превышающие верхний предел нормального поля или оказывающиеся ниже его нижнего предела. В первом случае наблюдается положительная аномалия, а во втором случае отрицательная аномалия.

Например, на рис. 2 аномальная составляющая изображена заштрихованной областью и отражает появление отрицательной аномалии, связанной с экранным влиянием сульфидного рудного тела.

В качестве примера определения аномальной составляющей изучаемого поля могут служить результаты, полученные при обработке и интерпретации данных метода заряда, приводимые на рис. 4 и 5. Данные о распределении нормального потенциала $U_0(r)$ используются для выделения в рядовой точке аномальной составляющей U_a измеренного потенциала U, равной

$$U_a = U - U_0(r). \qquad (3)$$

По результатам определения нормального потенциала можно при любой ориентировке профилей съемки вычислить нормальный, а

затем и аномальный потенциал по профилю. Результаты подобных вычислений нормального потенциала, сопоставления его с измеренным полем и график аномального потенциала по одному из поперечных профилей с элементами геологической интерпретации показан на рис. 5, *б*.

В рассматриваемом примере аномалия A^{+}_{1} связана с приподнятой относительно заряда частью заряженного рудного тела, имеющего северное склонение. Другая положительная аномалия A^{+}_{2} обусловлена контактом гидротермально измененных пород, вмещающих заряженное тело, с менее электропроводной субинтрузией. Отрицательные аномалии фиксируют субвертикальные плоскости разрывных нарушений относительно повышенной электропроводности.

Безразмерные характеристики геофизических аномалий. В ряде случаев для характеристики аномального объекта целесообразно использовать нормирование аномалий относительно каких-то стандартных величин, при котором учитывается уровень фона, снижается зависимость от точности измерений, типа измеряемой аппаратуры, условий наблюдений, вида изучаемого поля. Появляется возможность сопоставлять аномальные эффекты, зафиксированные от одного и того же объекта различными методами или одним методом, но с применением различных технологий, и в других случаях.

В промысловой геофизике при оценке аномалий широко применяется двойной разностный параметр α. Он представляет отношение

$$\alpha = \Delta A_i / \Delta A_э = (A_i - A_0)/(A_э - A_0), \qquad (5)$$

где ΔA_i – аномалия на рядовом объекте, $\Delta A_э$ – максимальная аномалия на объекте принятом за эталон (может быть и любым объектом с которым производится сравнение). Например, при проведении измерений поля ПС в скважине на изучаемом пласте-коллекторе потенциал равен 20 мВ, на пласте с самыми высокими фильтрационно-емкостными свойствами потенциал равен 10 мВ, на глинах, рассматриваемых в качестве фона, зафиксированы значения 60 мВ. Следовательно, для изучаемого пласта имеем $\alpha_{ПС}$ = -40 / -50 = 0,8.

Применение безразмерного двойного разностного параметра удобно для установления корреляционной зависимости $\alpha_{ПС}$ от некоторых промысловых параметров, например, от коэффициента пористости $К_п$, определенного по данным лабораторных исследований, Подобные зависимости часто имеют достаточно универсальное значение и широко используются на производстве.

При геофизических поисковых и разведочных работах на твердые полезные ископаемые для характеристики аномальности *i*-го объекта при применении *j*-го метода используется показатель контрастности γ_{ij}, равный [1]:

$$\gamma_{ij} = \Delta A_i / S_0. \quad (6)$$

В этом параметре учитывается не только аномальность поля относительно уровня фона, но и дисперсия самого фона. Показатель контрастности удобен для сравнения эффективности методов при оценке их конкурентности, а также для вычисления аномальности объекта в случае применения комплекса методов. Для успешного применения метода необходимо условие $\gamma_i > |2|$.

Использование безразмерных величин γ_i позволяет учитывать результаты нескольких методов путем вычисления функции комплексного показателя θ, представляющую алгебраическую сумму показателей контрастности отдельных методов. Знак у показателей контрастности при суммировании устанавливается в соответствии с решаемой задачей, обеспечивая подчеркивание аномальности искомых объектов по комплексу методов. Подробнее этот вопрос рассмотрен ниже в разделах 3 и 5.

2. ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Геофизические методы применяются для изучения разнообразных геологических и технических объектов. Это могут быть геологические структуры, благоприятные на содержание ценного сырья, месторождения и отдельные тела полезных ископаемых. К типовым объектам также относятся земельные основания для строительства или прокладки автомобильных и железных дорог, скважины или другие горные выработки на разведуемых или эксплуатируемых месторождениях и др. При организации и проведении геофизических работ на любых объектах необходимо четко сформулировать цели исследований по выявлению и изучению в типовых условиях геологических образований. Следует также рассмотреть возможные варианты их параметров, физические предпосылки для успешного решения поставленных задач. Результаты, получаемые в процессе исследований, часто требуют оперативного и обоснованного внесения корректив в их технологию. Ответственным моментом является представление ито-

говых данных исследований в форме понятной и удобной для специалистов, организующих комплексные геологоразведочные или изыскательские работы.

Решение всех этих вопросов осуществляется с помощью сформированной для соответствующей стадии работ физико-геологической модели (ФГМ) объекта геофизических исследований. Существенный вклад в теорию и методику комплексирования геофизических методов, включая принципы формирования ФГМ, внес выпускник Свердловского горного института профессор Гелий Сергеевич Вахромеев [1].

ФГМ отражает упрощенно-обобщенное представление об изучаемом геофизическими методами объекте, предполагающее наличие системы геолого-геофизических сведений, имеющихся на данной стадии работ. ФГМ создают в период проектирования геофизических работ, в процессе их проведения по мере поступления получаемых данных, а также по завершению работ в виде итогового документа.

Обобщенную ФГМ можно представлять в виде совокупности частных моделей: геологической, петрофизической и физических полей в профильном, плоскостном или объемном варианте.

Геологическая модель. Примеры геологических моделей рудных полей

Геологическая модель отражает представление об объекте исследований как системе геологических тел и проявлений геологических процессов с изображением соответствующих разрезов, карт, блок-схем и т. п.

Представляет интерес рассмотреть обобщенные морфогенетические геологические модели постмагматогенных рудных полей, которые являются предметом изучения при поисках рудных месторождений. Под рудным полем понимают геологический объект, состоящий из генетически родственных сближенных рудных скоплений, гидротермально измененных минерализованных пород и малых магматических образований, представляющих собой фазы отщепления из общего материнского очага и использовавших в своем движении общие каналы. Поэтому при поисках рудных месторождений интерес представляет выявление всех этих структурных элементов рудных полей.

Наиболее отчетливо модели рудных полей продемонстрированы в работах П. Ф. Иванкина на основе детального изучения более 50

глубокозалегающих месторождений руд самого различного состава. Достоинство типизации рудных полей, выполненное П. Ф. Иванкиным, состоит в том, что сформированные им геологические модели отражают в наглядной форме главнейшие их структурные элементы, к выявлению которых могут успешно привлекаться геофизические методы. Об этом свидетельствует опыт успешных поисково-разведочных работ, отраженный в частности в монографии [13]. Большой набор примеров рудных месторождений, изученных в пределах разнотипных рудных полей, часть из которых приведена ниже, рассмотрен в справочнике [9].

Постмагматогенные рудные поля формируются выше или на периферии материнских интрузий, которые являются источником постмагматических растворов, создающих ореолы гидротермальных изменений горных пород и рудные скопления. По характеру взаимоотношений гидротермального оруденения с материнскими интрузиями можно выделить три рода рудных полей.

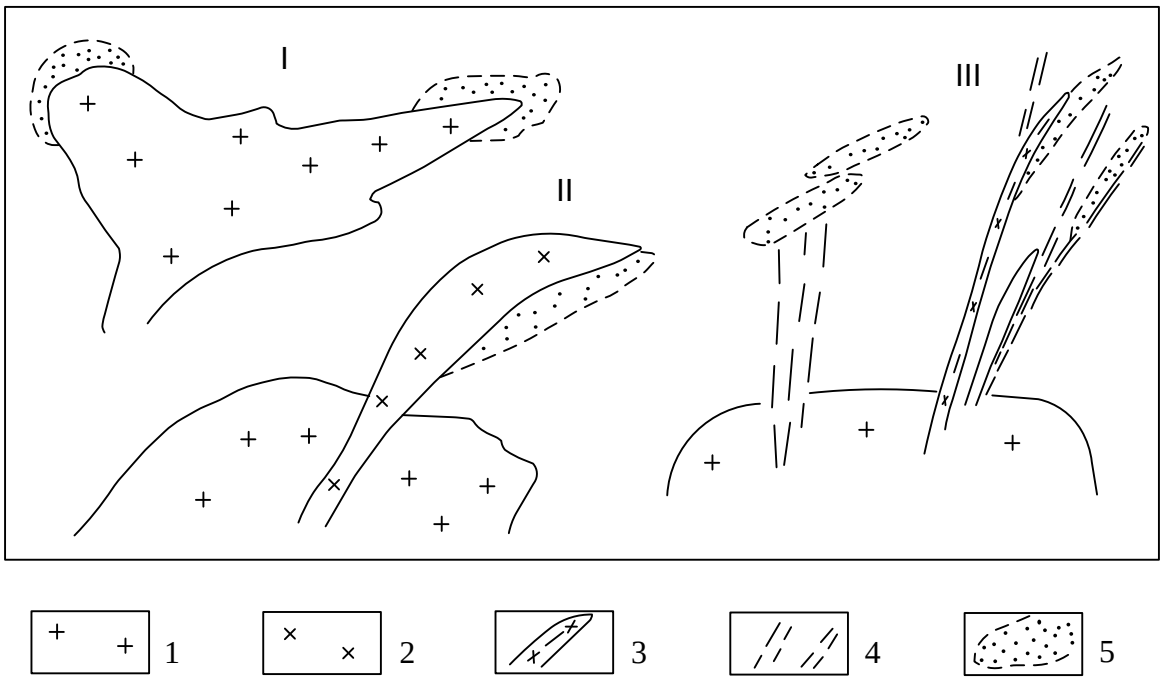


Рис. 6. Морфологические типы (геологические модели) постмагматических рудных полей разного рода (I, II, III) (по П. Ф. Иванкину):
1 – материнский плутон; 2 – тела поздних магматических отщеплений; 3 – лентовидные тела малых интрузий; 4 – разрывные нарушения; 5 – рудоносный комплекс, включающий гидротермально измененные породы и руды

Рудные поля I рода являются ореольными или бескорневыми (рис. 6). Они формируются на ранних стадиях остывания внедривше-

гося магматического тела в условиях широкого фронта отделения растворов по всей или части поверхности материнского интрузива. Растворы обычно обогащены водой, летучими и рудными компонентами. Минерализация вмещающих пород происходит вблизи места отделения растворов от остывающей магмы. В результате образуются широкие ореолы измененных пород с рассеянной или прожилковой минерализацией без богатых локальных скоплений. На поверхности они проявляются в виде полей измененных пород и рассеянной минерализации на достаточно обширных пространствах над погребенными интрузиями или вдоль границ вскрытых эрозией магматических тел. Примеры геологических разрезов месторождений типичных для ореольных рудных полей I рода приведены на рис. 7. Эти разрезы могут рассматриваться как геологические модели этих объектов. Главными структурными элементами их являются интрузии и ореолы рассеянной или прожилковой минерализации.

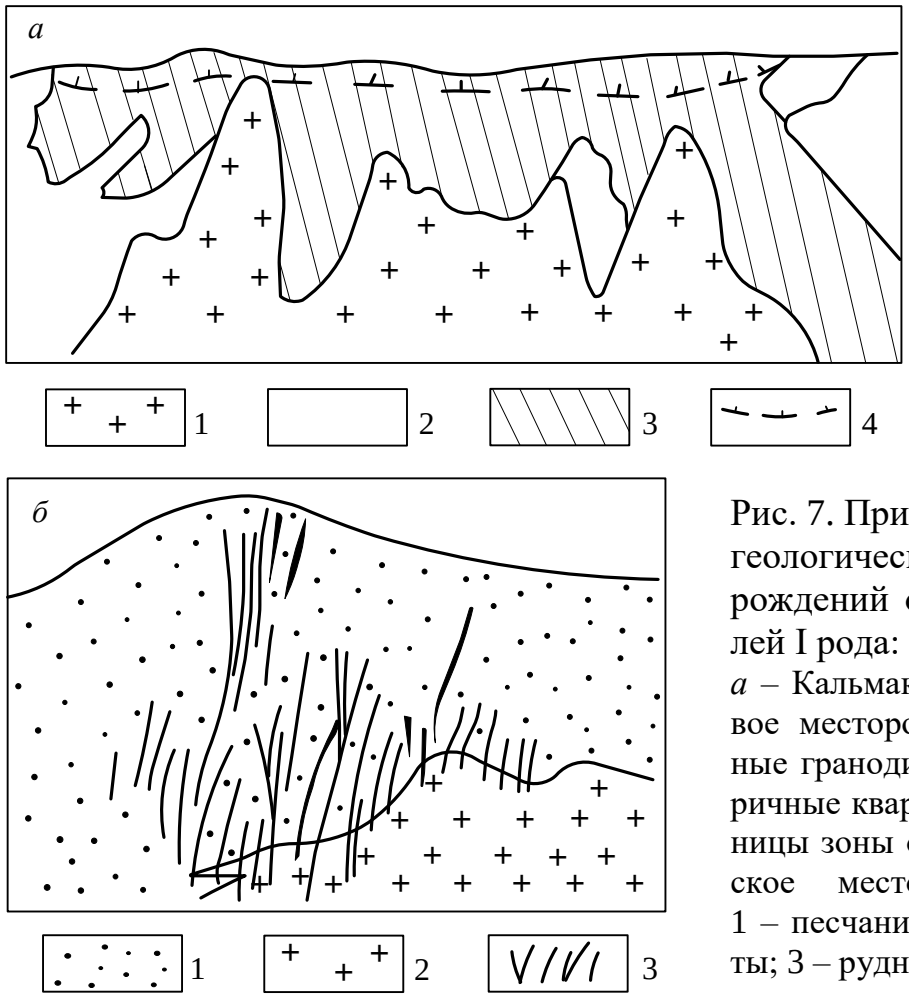


Рис. 7. Примеры схематических геологических разрезов месторождений ореольных рудных полей I рода:
а – Кальмакырское медно-порфировое месторождение: 1 – интрузивные гранодиорит-порфиры; 2 – вторичные кварциты; 3 – руды; 4 – границы зоны окисления; *б* – Иультинское месторождение вольфрама: 1 – песчаники и сланцы; 2 – граниты; 3 – рудные жилы

Рудные поля II рода – это системы рудных тел, окружающих их зон гидротермально измененных пород и поздних магматических от-

щеплений, имеющих общие корни (или рудно- и магмоподводящие каналы), уходящие внутрь крупного интрузива, производными которого все они являются (рис. 6.) Считается, что растворы поступали из верхних частей интрузива и проникали в их кровлю в виде потоков, двигавшихся по нарушениям, контактам или другим проницаемым каналам, что обусловило структурный контроль оруденения. Фигура рудного поля и свойства преобразованных в его пределах пород отражают направленность рудоносных растворов от корней к фронту поля. Рудные поля II рода характерны для гипабиссальных интрузий, часто приурочены к вулканическим постройкам, сформировавшихся над ними, имеют пологие и крутопадающие ветви. Примеры месторождений, типичных для корневых рудных полей II рода, приведены на рис. 8.

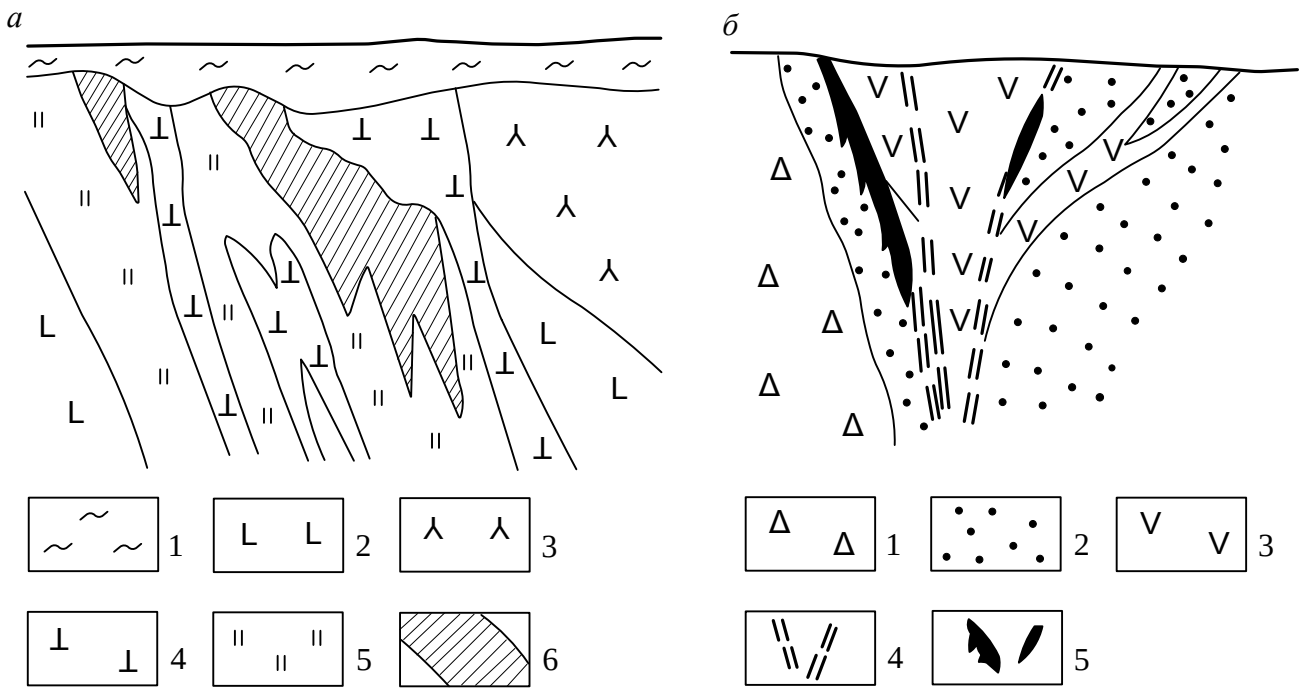


Рис. 8. Схематические геологические разрезы месторождений рудных полей II рода:

а – южная часть Гайского медноколчеданного месторождения: 1 – рыхлые отложения; 2 – туфы; 3 – диабазовые порфириты; 4 – субвулканические липарит-дациты (малая интрузия) ; 5 – метасоматиты; 6 – руды; *б* – молибден-урановое месторождение: 1 – диабазы и спилиты докембрия; 2 – переслаивающиеся осадочные и вулканогенно-осадочные породы; 3 – субвулканические андезиты (малая интрузия); 4 – разрывные нарушения; 5 – рудные тела

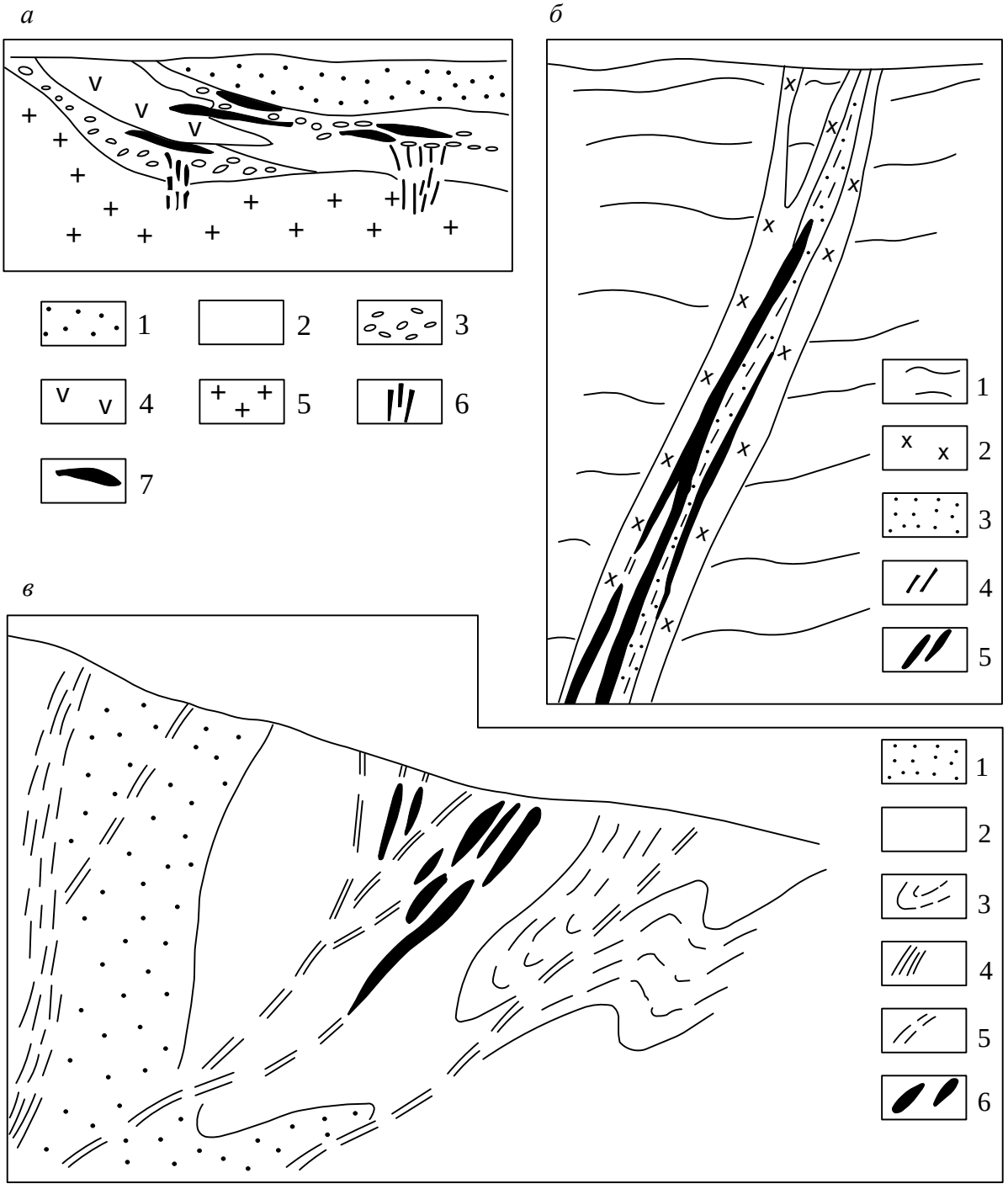


Рис. 9. Примеры геологических разрезов месторождений корневых рудных полей III рода:

а – мышьяково-урановое месторождение: 1 – алевролиты с прослоями песчаников; 2 – песчаники; 3 – конгломераты и гравелиты; 4 – туфолавы; 5 – граниты; 6 – разрывные нарушения; 7 – рудные тела; *б* – уран-титановое месторождение: 1 – кристаллические сланцы и гнейсы; 2 – пегматитовые жилы; 3 – гидротермально измененные породы; 4 – бластомилониты тектонических швов; 5 – рудные тела; *в* – Сахалинское месторождение киновари:1 – песчаники, конгломераты, алевролиты; 2 – глинистые алевролиты; 3 – пачки глин; 4 – главный разлом; 5 – оперяющие трещины; 6 – рудные тела

К рудным полям III рода относят систему рудных тел, окружающих их измененных пород и иногда сопровождающих их серии малых интрузий, значительно оторванных от глубинных интрузий (рис. 6). Образовавшие их потоки гидротерм приурочены к самостоятельным тектоническим зонам, уходящих на глубину, или к ветвям крупных разломов. Последние являлись открытыми системами и, хотя могут нести следы гидротермальных изменений и минерализации, но промышленных скоплений руды не содержат. В ответвлениях, выклинивающихся к дневной поверхности, или в локальных проницаемых геологических телах, игравшими роль экранированных для растворов резервуаров, с которыми контактировали тектонические нарушения, образуются рудные скопления. Поэтому рудные залежи в рудных полях этого рода залегают согласно со слоистыми толщами или разрывными нарушениями в породах с повышенной пустотностью. Примеры месторождений, характерных для рудных полей III рода, приведены на рис. 9.

Таким образом, как следует из геологических моделей, при поисках рудных месторождений главными объектами выявления геофизическими методами являются рудные залежи, включающие их ореолы околорудных изменений, рудоконтролирующие тектонические нарушения, крупные и малые интрузии. Все эти объекты имеют аномальные петрофизические свойства и благоприятные предпосылки для обнаружения при геофизических съемках.

Модели петрофизические и физических полей

Петрофизическая модель отражает сведения о распределении в геологическом пространстве физических свойств, характеризующих геологические тела, как объекты, имеющие предпосылки для выявления и изучения их геофизическими методами. При этом возможны случаи объединения нескольких геологических образований в структурно-вещественные комплексы (СВК) с одинаковыми или близкими физическими свойствами. В этом случае происходит упрощение петрофизической модели по сравнению с геологической моделью. Однако не исключены случаи, когда внутри условно единого геологического тела существуют участки изменений свойств за счет проявления процессов локального преобразования горных пород, которые отличаются по физическим свойствам и могут фиксироваться геофизическими методами. Такая картина наблюдается при локальном ме-

таморфизме, околорудных изменениях, развитии трещиноватости и др. процессах. В этих случаях петрофизическая модель может отражать результаты действия этих процессов и выглядеть сложнее, чем геологическая модель.

Петрофизическая модель может быть представлена в виде таблиц, типовых физико-геологических колонок, сводных геолого-геофизических разрезов, петрофизических карт или разрезов: самостоятельных или совмещенных с геологическими картографическими материалами. Желательно дополнять традиционно принятые в геологии мелкомасштабные литолого-стратиграфические разрезы (колонки) данными о физических свойствах, представленных на них толщ.

Исходные данные о физических свойствах горных пород для формирования петрофизической модели получают в результате лабораторных измерений на образцах, по данным интерпретации результатов каротажа или параметрических наблюдений физических полей на отдельных участках, а также путем использования справочной литературы. Помимо данных по изучаемой территории обязательно приводятся необходимые сведения об объектах-аналогах, что позволяет учесть опыт предшественников. Примером петрофизической модели месторождения может служить упрощенная типовая физико-геологическая колонка, изображенная на рис.11.

Физические поля или результаты их трансформации отражают данные, получаемые при решении прямой задачи на основе геологической и петрофизической моделей, или же отражают данные реальных наблюдений. Они необходимы для обоснования возможностей геофизических методов. На стадии проектирования это могут быть геофизические поля на объектах-аналогах, ранее изученных в схожих геологических условиях. Физические поля также приводятся как исходный материал, использованный при геологической интерпретации уже выполненных измерений, когда с помощью ФГМ представляются итоговые документы геофизических работ.

Пример физико-геологической модели

В качестве примера на рис. 10, 11 приводится ФГМ уранового месторождения, приуроченного к разрывным дислокациям в метаморфизованных породах протерозоя. По классификации П. Ф. Иванкина оно относится к корневым рудным полям III рода, оторванных от материнского глубинного плутона и приуроченных к тектониче-

ским зонам. На геологической модели (рис. 10, *а*) видно, что разрывные нарушения тяготеют к крыльям антиклинальной структуры, представленной вулканогенно-карбонатными отложениями. Оруденение локализуется в зонах проявления разрывной тектоники преимущественно в сланцевых толщах на участках с повышенной пористостью, появившихся вследствие разуплотнения пород. Рудоносные растворы помимо урана привнесли в зону их разгрузки вещества, сформировавшие ореолы гематитизации и сульфидизации. Эпигнетические изменения вмещающих пород сопровождались образованием в верхней части разреза зоны окисления.

Петрофизическая модель месторождения (рис. 11) отражает развитие аномальных проявлений в физических свойствах, как в контуре рудных тел, так и в околорудно-измененных породах. В рудах помимо высокой радиоактивности (J_γ) отмечается увеличение плотности (σ), магнитной восприимчивости (χ), поляризуемости ($\eta_к$) и понижение сопротивления ($\rho_к$). Вмещающие породы достаточно дифференцированы по физическим свойствам, что позволяет ожидать появление аномалий от складчатых структур. Анализируя петрофизическую модель, можно полагать, что зоны околорудно-измененных пород, характеризующиеся разуплотнением, повышением магнитной восприимчивости, электропроводности и поляризуемости, должны проявиться в магнитном поле, а также по данным методов электрометрии. Следует ожидать наложение на структурную составляющую полей проявлений, связанных с телами рудных тел и сопровождающих их ореолов минерализации.

Действительно, на графиках полей, измеренных комплексом методов по профилю, проходящему через рудоносную структуру (рис. 10, *б*), отражаются главнейшие ее элементы. Так отрицательной локальной аномалией силы тяжести отмечается ядро антиклинали (выход к поверхности карбонатов среди магматических пород). Расширение этой аномалии связано с проявлением зон разуплотнения и трещиноватости, обусловленных существованием здесь разрывных нарушений, как одного из признаков благоприятных условий для проникновения рудоносных растворов.

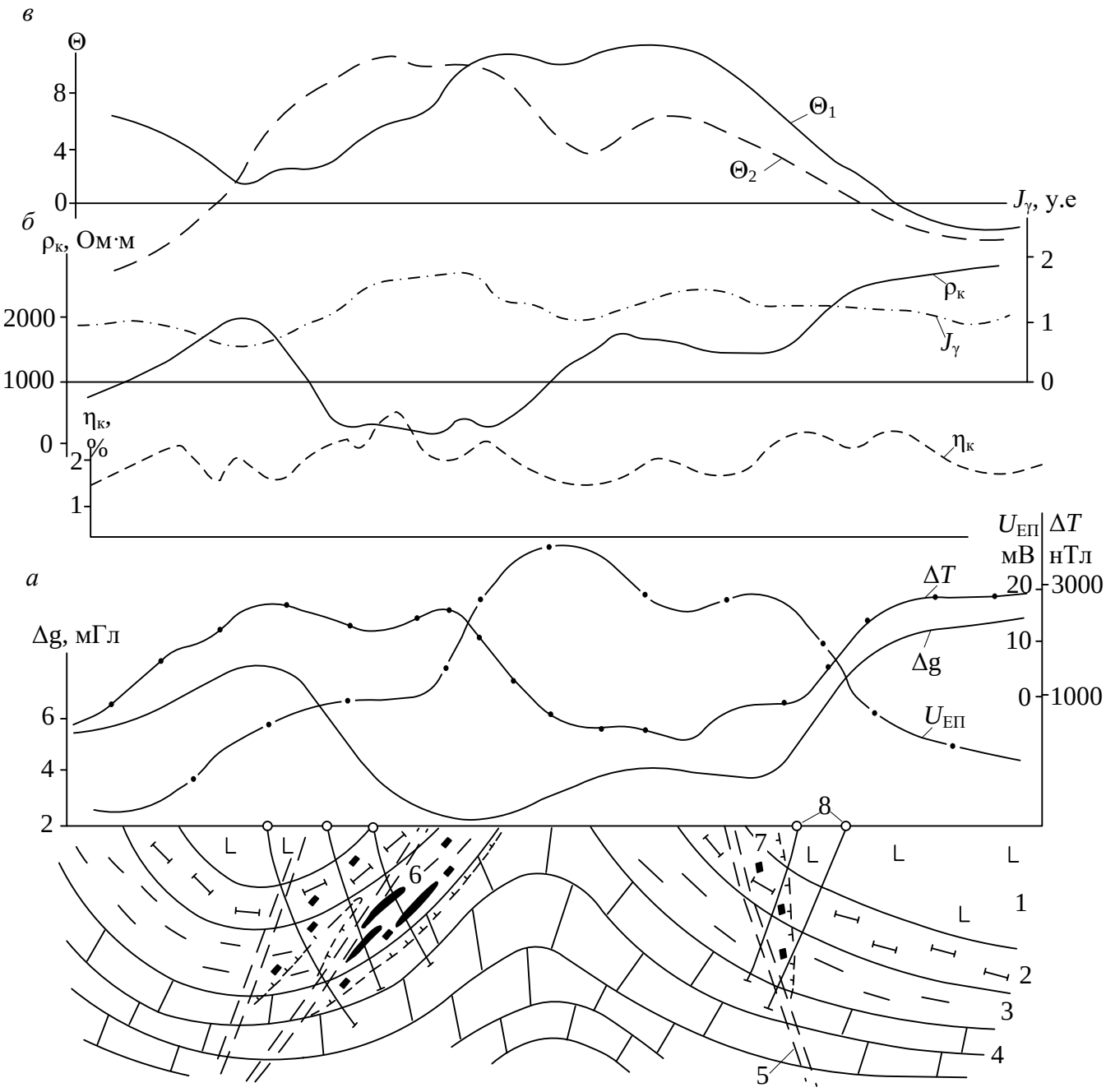


Рис. 10. ФГМ месторождения урана (по В. Е. Голомолзину, В. А. Титовой, А. В. Денисову):
а – геологический разрез (геологическая модель)месторождения: 1 – габбро-диабазы; 2 – пестроцветные слюдистые сланцы; 3 – слюдисто-карбонатные шунгитсодержащие сланцы; 4 – доломиты; 5 – тектонические нарушения; 6 – урановые руды; 7 – зоны гидротермально метасоматических изменений и минерализации; 8 – скважины; *б* – графики геофизических полей; *в* – функции комплексного показателя аномалий гравитационного и магнитного полей (θ_1), полей электрометрии и радиометрии (θ_2)

Отрицательная локальная аномалия магнитного поля, связанная с ядром антиклинали, явно уже гравитационной аномалии, то есть заметно повышение магнитного поля в районе ослабления поля силы

тяжести (над выходом к дневной поверхности рудоносных пород). Такое несоответствие двух полей является признаком отражения развития вторичных процессов, связанных с проявлением рассеянного ожелезнения, что характерно для фронтальной части ореола поступавших из недр рудоносных растворов. Это весьма благоприятный поисковый признак.

Для месторождения характерны участки профиля, на которых отмечается заметное уменьшение удельного сопротивления, хотя и слабое, но заметно повышение поляризуемости среды по данным срединного градиента с размером установки 1000 м. Так как над этим участком также наблюдается заметное повышение гамма-поля, то эти важные признаки следует также рассматривать как благоприятные для обнаружения оруденения.

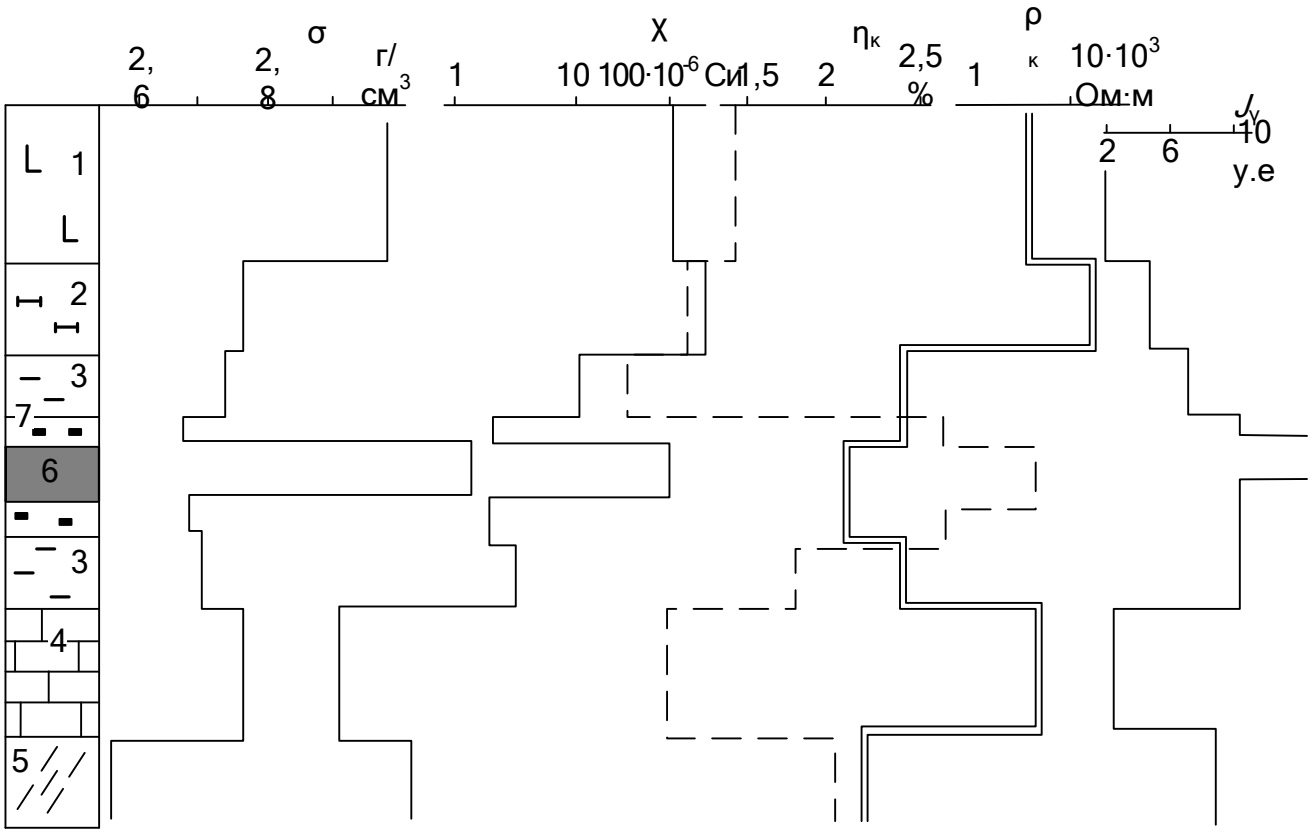


Рис. 11. Типовая физико-геологическая колонка (петрофизическая модель) месторождения урана (см. рис.10):
графики плотности (σ), магнитной восприимчивости (χ), кажущихся поляризуемости ($\eta_к$) и удельного сопротивления ($\rho_к$), радиактивности (J_γ) горных пород разреза (1-7 см. подрисуночные надписи к рис.10, *а*)

Весьма отчетливо влияние рудоносных пород проявляется в виде четкой положительной аномалии естественного электрического

поля. И хотя аномалия несколько смещена по восстанию относительно самого оруденения и наблюдается еще над участком с рассеянной минерализацией, однако, при наличии других признаков район, наиболее перспективный на оруденение, по аномалии естественного поля фиксируется достаточно надежно.

Представление о возможности совместного учета результатов нескольких методов показано на примере двух вариантов функции комплексного показателя (рис. 10, *в*). При вычислениях в качестве нормального поля использовались значения, типичные для участков профиля, проходящих над магматическими породами. Вычислительные формулы для Θ составлялись с таким расчетом, чтобы подчеркнуть положительными аномалиями присутствие объектов, представляющих первоочередной интерес.

Функция Θ_1 вычислялась по формуле $\Theta_1 = - \gamma_{ГР} - \gamma_м$ и отражает совместное проявление аномальности полей гравиметрии и магнитометрии. При структурных исследованиях интерес представляют выходы к дневной поверхности потенциально рудоносной толщи сланцев, и соответствующие им отрицательные аномалии этих полей являются положительными факторами контроля этих искомых объектов. Это обстоятельство учтено в формуле Θ_1. График функциии Θ_1 имеет картировочное значение и положительная аномалия Θ_{A1} хорошо соответствует выходам сланцев совместно с толщей карбонатных пород среди тел магматитов.

Функция Θ_2 отражает аномальность методов электроразведки (КС, ВП и ЕП) и радиометрии, связанных с самим месторождением урана и близрасположенного рудопроявления, и вычислялась по формуле $\Theta_2 = \gamma_{ВП} + \gamma_{ЕП} - \gamma_{КС} + \gamma_Р$. Результирующая аномалия этих методов подтверждает возможность применения данного комплекса методов для поисков урановых руд в геологических условиях близких тем, которые отражены на представленной ФГМ.

Таким образом, сформированная по данным геологии, измерений физических свойств в скважинах и полей на дневной поверхности ФГМ, позволяет расшифровать природу геофизических аномалий наземных методов, выявить те признаки, по совокупности которых можно обнаруживать урановые месторождения в районе с подобными геологическими условиями. Появляется возможность обосновать комплекс геофизических методов, при применении которого можно рассчитывать на успешные результаты поисков.

3. ФОРМИРРОВАНИЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ДАННЫМ РУДНОГО КАРОТАЖА

В настоящее время сведения о физических свойствах при проектировании, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых в основном получают по данным геофизических методов исследования скважин (ГИС). Одним из вариантов представления петрофизической модели объекта исследований является типовая геолого-геофизическая колонка разреза изучаемой геологической среды. В промысловой геофизике она получила название сводный геолого-геофизический разрез. Поскольку физические свойства осадочной толщи, изучаемой методами промысловой геофизики, достаточно стабильны по латерали, для формирования модели разреза используют диаграммы 2-3 скважин, имеющих пересечения всех структурных элементов разреза.

В рудных районах, характеризующихся высокой изменчивостью разнообразных признаков геологических образований, представление об их физических свойствах можно получить с помощью стохастической модели разреза.

Основными элементами структуры рудного поля являются геологические тела и зоны развития геологических процессов, мощности которых измеряются десятками метров. Отдельный элемент, исходя из опыта ГИС, представляет образование с включениями и его можно с некоторым приближением рассматривать как двухкомпонентную среду. Размеры включений обычно составляют первые метры. Роль включений играют мелкие чередующиеся пропластки пород иного состава по сравнению с вмещающей их средой. К включениям относят также локальные участки проявления выборочного эпигенетического преобразования в геологическом теле, останцы материнской породы, подвергшейся метаморфическим изменениям, и др.

Кодирование диаграмм ГИС

Рассматривая пересечение геологического тела в скважине как двухкомпонентную смесь, предложено выполнять кодирование диаграмм каротажа, позволяющее представить информацию о пересечении в виде характеристик изучаемого свойства (поля) А и долей содержания для каждого из компонентов [8]. Естественно полагать, что для одного из компонентов макросмеси присущи высокие значения

свойства $А_в$, а для другого – низкие значения этого свойства $А_н$. Коэффициенты, отражающие содержание каждого из компонентов, соответственно равны $К_в$ и $К_н$.

Для реализации простейшего способа определения характеристик такой макросмеси необходимо провести в пределах пересечения три линии, осредняющие значения измеряемого свойства для каждого из компонентов (средние значения $А_в$ и $А_н$) и диаграммы в целом (значение $А_{ср}$) (рис. 12). Первые два значения определяют свойства компонентов, а коэффициенты содержания каждого из компонентов находят по формулам:

$$К_в = (А_{ср} – А_н)/(А_в – А_н),\ К_н = (А_в – А_{ср})/(А_в – А_н) = 1 – К_в\ .\quad (4)$$

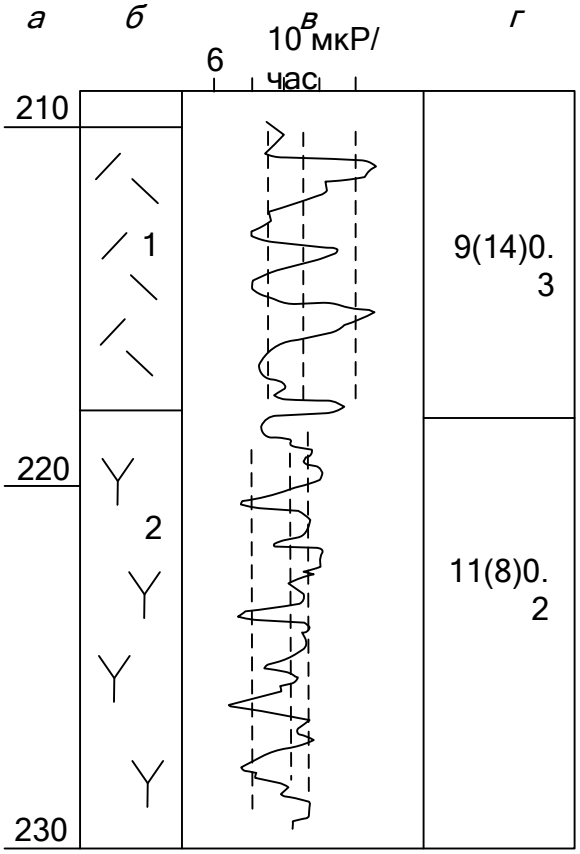


Рис. 12. Пример кодирования диаграммы ГК для двух интервалов участка скважины:
а – глубины; *б* – геологическая колонка; *в* – диаграмма; *г* – результаты кодирования; 1 – туфы; 2 – липариты

Очевидно, что, если мощность рассматриваемого пересечения составляет Н метров, то доли компонентов в метрах равны: $Н_в = НК_в$ и $Н_н = НК_н$.

Информацию об измеренном физическом признаке для каждого пересечения геологического образования можно представить в виде кода следующего вида: $А_{ок}(А_{вкл})К_{вкл.}$ Первое значение соответствует средней величине физического свойства основного компонента, доля

которого в макросмеси выше. Значение в скобках отражает среднее значение физического свойства компонента, рассматриваемого как включение, а последнее значение соответствует его доле в макросмеси. Следует заметить, что основной компонент также как и включения могут характеризоваться относительно высокими или низкими значениями свойства. Например, при кодировании данных измерений методом ГК естественной радиоактивности в мкР/час (рис. 12) для интервала 210-218 м (туфы) с помощью набора значений 9(14)0,3 фиксируется наличие среди основной части пласта мощностью 8 м включений (пропластков с повышенным содержанием кислой фации), на долю которых приходится 2,4 м. Основная масса туфов имеет радиоактивность 9 мкР/час, а более радиоактивные пропластки характеризуются значениями около 14 мкР/ч. Для липаритов, залегающих ниже туфов, пересечение которых зафиксировано в интервале 218-230 м, характерны средние значения для основного компонента 11 мкР/час, а для включений 8 мкР/час. Доля включений составляет 0,2, и поэтому результаты кодирования для этого интервала выражаются набором значений 11(8)0,2.

Имеется программа автоматического кодирования диаграмм методов ГИС, созданная В. А. Серковым при участии автора.

Результаты кодирования позволяют представить данные измерения физического свойства (поля) по скважине в компактной форме, удобной для хранения, трансляции, применения разнообразных способов обработки, построения петрофизических разрезов без потери информации о неоднородной структуре геологических образований, отражающей проявление определенных процессов. Например, имея данные кодирования диаграммы электрометрии с измерениями удельного сопротивления ρ в Ом·м, можно вычислить коэффициент электрической анизотропии λ. Для среды с двухосной анизотропией, характеризующейся удельным сопротивлением вкрест слоистости – ρ_n, по слоистости – ρ_t, справедливы следующие формулы:

$$\rho_n = К_в\rho_в + К_н\rho_н, \quad \rho_t = \rho_в\rho_н/(К_н\rho_в + К_в\rho_н), \quad \lambda = (\rho_n/\rho_t)^{1/2} \qquad (5)$$

Статистическая обработка результатов кодирования

Данные кодирования диаграмм методов ГИС, зарегистрированных по нескольким скважинам изучаемого участка на стадии поисков или разведки, позволяют сформировать петрофизические модели каждого элемента структуры этого участка. Задача практически сво-

дится к получению представления о типичных горных породах и рудах участка, как объектах исследования геофизическими методами. При этом следует отразить те изменения в свойствах этих пород, которые вызывают процессы тектоники, метаморфизма и минерализации.

Петрофизические модели, присущих изучаемому разрезу литотипов горных пород, формируются на основе статистических исследований по выборкам для каждого из них путем построения кривых распределения изучаемых физических характеристик. В выборку для конкретного литотипа включаются все его пересечения, которые на геологических колонках классифицированы приблизительно одинаково. Статистика проводится для каждого изучаемого геофизического свойства отдельно, подобно тому, как это делается при оценке уровня нормального поля стохастическим способом (см. раздел 2). Поскольку распределение для большинства физических свойств статистически однородных совокупностей горных пород подчиняется логнормальному закону, рассмотрим этот случай детально.

Для построения дифференциальной кривой распределения признака (физического поля или свойства) А необходимо выполнить группирование данных о нем по классам (интервалам равной ширины на оси абсцисс), применяя логарифмическую шкалу. Для достаточно представительных (репрезентативных) выборок удобно разбивать один порядок на 4 класса. Например, границы классов могут соответствовать значениям: 1-1,8-3,2-5,6-10-18-32 и т. д. В случае применения второй смещенной шкалы границы классов: 1,4-2,5-4,4-7,8-14-25 ит. д. При таком подходе отпадает необходимость применять бланки с логарифмической шкалой.

В таблицу группирования заносятся значения мощности в метрах. Для двухкомпонентных макросмесей в таблицу заносятся мощности компонентов $H_н$ и $H_в$ в классы в соответствии с характерными для компонентов значениями $A_н$ и $A_в$. В большинстве случаев они разносятся по разным классам, но при близких значениях измеряемого признака мощности компонентов могут попасть в один класс. Дифференциальная кривая распределения (функция частости) строится по данным о суммарной мощности (ординаты) каждого класса (на оси абсцисс это середины классов). Пример дифференциальной функции распределения приведен на рис. 13, *а*.

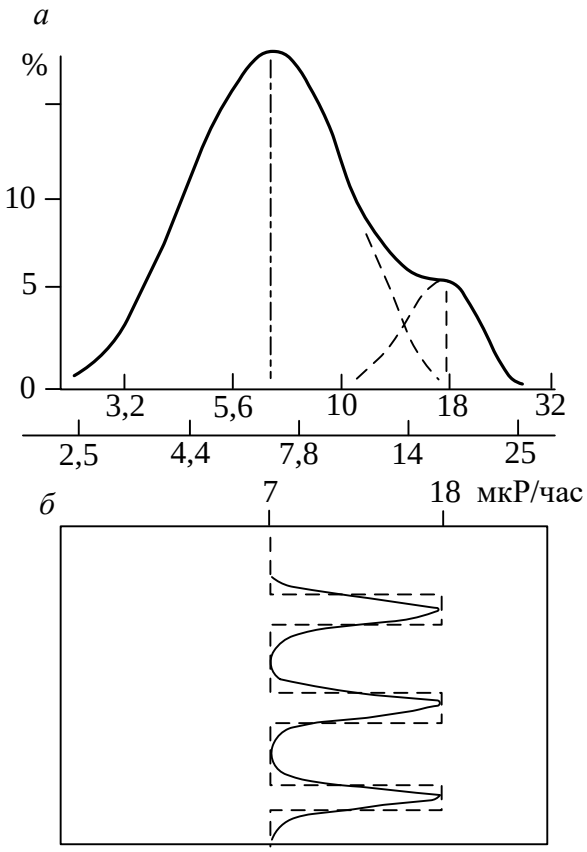


Рис. 13. Пример построения статистической диаграммы для туфов смешанного состава:
а – дифференциальная кривая распределения естественной радиоактивности (выборка по 5 скважинам); *б* – статистическая диаграмма ГК (поле в логарифмическом масштабе)

В большинстве случаев кривые распределения отражают статистическую неоднородность изучаемых образований, которая проявляется в двухгорбности кривых, или они имеют другие особенности, также позволяющие сделать вывод о двухкомпонентной структуре этих образований. Пользуясь известными приемами статистики сложную кривую распределения можно представить в виде двух элементарных кривых, соответствующих логнормальному закону. По ним легко определить центральные значения признака для каждого компонента, а также долю каждого компонента в выборке (по соотношению площадей элементарных кривых). Эти данные и используют для статистической характеристики изучаемых объектов по геофизическим признакам путем построения прямоугольных диаграмм, которые затем могут быть скорректированы с учетом специфики вида аномалий измеряемого в скважинах поля. Так для метода ГК аномальными являются пропластки (включения) с максимумом аномалии в середине пропластков и полумаксимумом на их границах.

Рис. 13, *б* иллюстрирует принцип построения статистической диаграммы для объекта по данным, получаемым при использовании распределения естественной радиоактивности туфов смешанного состава (измерения по 5 скважинам на периферии медноколчеданного

месторождения). О соотношение долей основного компонента и включений можно судить по ширине площадок значений радиоактивности основного компонента и включений. В рассматриваемом примере это соотношение 1:3 и, следовательно, на статистической диаграмме $К_{вкл} = 0,25$.

Построение типовой физико-геологической колонки

Построение начинается с формирования типовой геологической колонки, которая отражает в разрезе весь комплекс геологических тел, участвующих в создании структуры изучаемого участка с отражением последовательности их залегания. При мелкомасштабных исследованиях можно использовать литолого-стратиграфическую колонку, которая создается геологической службой в каждом районе геологоразведочных работ. Такие колонки обычно не имеют масштаба, а сведения о мощностях толщ или геологических тел приводятся на колонке в виде диапазонов их мощностей. На геологических колонках отдельно выделяются объекты, которые развиты в районе не повсеместно, то есть появляются в виде локальных тел. В первую очередь это относится к малым интрузиям, рудным телам и зонам метаморфизма. Подобные объекты изображаются в виде включений в толще вмещающих пород.

На основе дифференциальных кривых распределения геофизических признаков для каждого литотипа формируются статистические диаграммы по изученным признакам для всего разреза в соответствии с геологической колонкой. В большинстве случаев все геологические тела представляются на статистических геофизических диаграммах как образования с включениями. Неоднородность объектов показывают путем изображения прямоугольных или скорректированных с учетом типичной формы диаграмм, подобных той, которая представлена на рис. 13, *б*. Пример типовой физико-геологической колонки (упрощенный вариант без отражения компонентов в горных породах) приведен на рис.10.

Типовая физико-геологическая колонка дает представление о физических свойствах всего комплекса геологических образований в изучаемом районе и на ее основе могут решаться разнообразные задачи в период проведения геологоразведочных работ. Полученные данные используют при формировании петрофизической модели при исследовании участков с условиями близкими тем, которые учтены

при формировании типовой колонки, как на стадии проектирования работ, так при интерпретации измеренных полей. В период разведки типовая колонка помогает правильно классифицировать объекты, изученные методами ГИС.

4. ТОЧНОСТЬ НАБЛЮДЕНИЙ

Вопрос о точности наблюдений возникает как в период проектирования геофизических работ, так и по их завершении. При планировании точности наблюдений необходимо знать уровень аномалий от объектов, представляющих интерес для решения стоящих задач, погрешности измерений, которые возникают при применении имеющейся аппаратуры и планируемой технологии измерений, а также вероятный диапазон геологических помех, типичный для фоновых образований из-за их неоднородности.

Сведения об интенсивности аномалий, подлежащих обнаружению, получают исходя из анализа сформированной ФГМ и опыта предшественников. Обычно ориентируются на некоторую минимальную по интенсивности аномалию, которая характерна для объекта,п представляющего интерес при решении поисковой задачи.

Необходимо учитывать, что искомую аномалию придется обнаруживать на фоне нормального поля, присущего среде, вмещающей искомый аномалиеобразующий объект. Нормальное поле всегда имеет некоторую дисперсию D_0, которую можно охарактеризовать через среднеквадратичную погрешность измерения нормального поля S_0, поскольку $D_0 = S_0^2$. Как уже отмечалось в разделе 2, величину S_0 можно оценить несколькими способами. К стандартным относится аналитический способ, основанный на использовании данных n измерений поля А в пределах фоновой среды и формулы (1). В случае малой выборки вместо n применяют значение $n–1$.

Дисперсия значений в пределах нормального поля слагается из дисперсии геологических помех $S_Г$, вызванных неоднородностью фонового объекта, и дисперсии показаний, связанных с аппаратурно-методическими (условно приборными) погрешностями измерений $S_П$. Поэтому общая дисперсия измерений фона равна: $S_0^2 = S_Г^2 + S_П^2$.

Приборная погрешность оценивается по результатам независимых контрольных n измерений поля по формуле

$$S_п = \pm\sqrt{\sum_1^n (A_1 - A_2)^2 / (2n-1)},$$

A_1 и A_2 – соответственно первичное и контрольное измерение на *i*-ой точке.

По величине составляющей $S_Г$, которая равна $S_Г = (S_0^2 - S_П^2)^{1/2}$, получают представление о влиянии геологических помех.

Для успешного выделения аномальных значений A_a, как это уже отмечалось в разделе 2, необходимо чтобы выполнялись условия: $A_a < (\bar{A}_0 - 2 S_0)$ или $A_a > (\bar{A}_0 + 2 S_0)$. В первом случае выделяется отрицательная, а во втором случае положительная аномалии.

Для снижения общей погрешности измерений S_0 руководствуются следующими положениями [1,3].

1. Если $S_Г > S_П$, то для снижения $S_Г$ полезным оказывается применение специальных методов обработки данных съемки с целью подавления геологических помех, носящих часто случайный характер. Например. простое сглаживание измеренного поля по N точкам уменьшает $S_Г$ почти в N раз.

2. Если $S_П > S_Г$, то есть смысл применить более точную аппаратуру или усовершенствовать технологию измерений. Например, за счет многократного (N кратного) измерения поля на одной точке и использования осредненного его значения удается уменьшить величину $S_П$ приблизительно в $\sqrt{N}$ раз.

Среднеквадратичная приборная погрешность $S_П$ вычисляется по результатам каждой съемки. Обычно планируется для выполненного объема наблюдений провести приблизительно в 5 % точках контрольные измерения.

5. ОБОСНОВАНИЕ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ

Как правило, сеть наблюдений представляет систему параллельных профилей, на которых намечаются с определенным шагом точки наблюдения. Условно принимают, что профили параллельны оси x и перпендикулярны оси y. Тогда расстояния между профилями – Δy, а между точками – Δx.

Обычно геофизическая съемка проводится в помощь геологическому картированию определенного масштаба. Исходя из этого масштаба расстояние между профилями должна составлять на отчетной карте съемки 1 см. Например, при масштабе 1:50000 необходимо иметь Δy = 500 м. Шаг наблюдений обычно в 2 раза меньше межпрофильного расстояния. В рассматриваемом примере Δx = 250 м.

При непрерывной регистрации характеристик физического поля (на борту самолета, вертолета, судна, автомобиля) в силу инерционности регистрирующей аппаратуры условным шагом съемки можно считать величину $\Delta x = V \cdot \tau$, учитывающую скорость и постоянную времени движущегося измерителя.

В условиях резкой изменчивости свойств геологической среды масштаб геофизической съемки может быть принят вдвое крупнее, чем для геологического картирования.

При проектировании поисковых геофизических работ, проводимых, как правило, в масштабах 1:10000 и 1:5000, необходимо предвидеть вид и величину ожидаемых аномалий от объектов, представляющих первоочередной интерес для решения поисковой задачи. Этими объектами могут быть не только тела полезных ископаемых, но и связанные с ними генетически и пространственно малые интрузии, разрывные нарушения, ореолы околорудных изменений и др., имеющие обычно меньшую контрастность по аномальным признакам. Представления о форме и размерах аномальных зон искомых геологических объектов формируются на основе анализа ФГМ.

Сеть наблюдений выбирают такой, чтобы в контур аномальной зоны попал хотя бы один профиль с двумя точками наблюдений, на которых аномальный объект будет зафиксирован.

Существует возможность теоретически оценить вероятность P обнаружения объекта [1, 6]. Обычно форму аномальной зоны объекта отождествляют с эллипсом, оси которого равны L (длина зоны) и B (ширина зоны). В наиболее простом случае вероятность пересечения аномальной зоны одним из профилей, ориентированных перпендикулярно большой оси (т.е. вкрест простирания), когда $L \leq \Delta y$, выражается простой дробью: $P = L / \Delta y$. При неизвестной ориентировке такого объекта вероятность его пересечения определяется классическим решением «задачи об игле», сформулированной монахом Ж. Бюффоном еще в 18 веке:

$$P = 2L/\pi \Delta y. \qquad (7)$$

Можно отметить, что только за счет неизвестной ориентировки объекта поисков по отношению к направлению съемочных профилей при $L=\Delta y$ вероятность его обнаружения снижается с 1 до $P = 2/\pi = 0{,}637$.

Если известен угол β отклонения профилей от нормали к простиранию объекта в радианах, то при $L \le \Delta y$ вероятность обнаружения объекта равна:

$$P = L \sin\beta / (\beta \Delta y). \quad (8)$$

Полезно заметить, что для значения $\beta = \pm \pi/6$ величина $\frac{\sin\beta}{\beta} = 0{,}955$, т.е. мало отличается от 1. Поэтому на практике достаточно чтобы сеть профилей была ориентирована только приближенно правильно. Если это условие соблюдается, то при $\Delta y = 0{,}9\,L$ пересечение аномальной зоны профилем гарантированно.

Общее решение задачи о вероятности пересечения контура аномалии профилем при произвольном значении угла β, когда $L / \Delta y \ge 1$, приводит к выражению:

$$P = \frac{2}{\pi}\left[\frac{L}{\Delta y} + \cos^{-1}\frac{\Delta y}{L} - \sqrt{\left(\frac{L}{\Delta y}\right)^2 - 1}\right]. \quad (9)$$

При $L = \Delta y$ снова получаем $P = 2/\pi = 0{,}637$.

Общее выражение для вероятности пересечения аномальной зоны эллиптического вида с осями L, B и периметром П при произвольной ориентировке профилей съемки имеет вид:

$$P = П/\pi\Delta y, \quad (10)$$

$$П = \frac{\pi}{2}\left[1{,}5(L + B) - \sqrt{L \cdot B}\right]. \quad (11)$$

Две точки профиля, пересекающего аномальную зону, окажутся внутри ее контура, если $\Delta x \le B/2$.

Для более скурпулезной оценки вероятности P имеется серия номограмм, учитывающих возможные варианты соотношения размеров контура аномалии, параметров сети и углов β [1, 3].

Оценим для примера вероятность обнаружения аномальной зоны размером 200×50 м сетью с ячейкой 100×25 м при неизвестном простирании оси зоны. В этом случае L = 200 м, Δy = 100 м. и по формуле (9) получим P = 0,83. С использованием специальных номограмм можно установить, что объект будет обнаружен с вероятностью P = 1, если отклонение профилей от нормали к простиранию объекта будет меньше 60°.

Следующая задача может быть сформулирована в виде задания. Необходимо определить какого минимального размера аномальная

зона с неизвестным простиранием может быть обнаружена с помощью сети размером в м 250×50. Для решения найдем величину периметра зоны П из формулы (10) для случая P = 1, полагая В = 100 м и Δy = 250 м. Эта величина равна П = 785 м. Решая уравнение для П относительно L (методом подбора или составив квадратное уравнение относительно $\sqrt{L}$), получим искомую величину: L = 360 м.

На стадиях детальных поисков и разведки сеть наблюдений бывает самой разнообразной. Помимо прямоугольной сети при детальных съемках возможно проложение радиальных и криволинейных профилей, допустимо отклонения от равномерности изучения площади съемки. Повышенная детальность принята для интерпретационных профилей, шаг наблюдений на которых допустимо устанавливать таким, чтобы выявить характерные точки измеряемого физического поля (экстремумы, точки перегиба, перехода через ноль и т. п.). Обычно пункты наблюдения сгущают в районе эпицентра аномалий и разряжают на участках выхода в нормальное поле. В результате детальных работ необходимо установить конфигурацию, размеры аномалии, ее амплитуду и другие особенности, которые затем используют в процессе интерпретации.

Шаг наблюдений подбирают с таким расчетом, чтобы при аппроксимации поля между двумя фиксированными точками прямой линией отклонение фактических его значений от этой прямой не превышало 5 % средней величины значений поля. Например, при съемке естественного поля с шагом 20 м амплитуда аномалии составила 58 мВ, откуда следует, что среднее значение аномалии на профиле приблизительно равно 29 мВ. Между двумя рядовыми точками съемки, на которых получены значения 27 и 39 мВ, выполнено промежуточное измерение с результатом 36 мВ. Разница между последним значением и средней величиной рядовых измерений равна 3 мВ, что составляет 10,3 % от среднего значения аномалии. Следовательно, необходимо сгустить сеть, уменьшив шаг наблюдений по крайней мере в 2 раза.

7. ВЫДЕЛЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ И ИХ КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Конечным результатом геофизических съемок является выявление и геологическое истолкование тех неоднородностей геологиче-

ской среды, которые по размерам и контрастности свойств способны создавать ощутимые аномалии.

Важнейшими проблемами анализа измеренных полей являются исключение или ослабление их составляющих, связанных с влиянием геологических помех, разделение выделенных на фоне помех аномалий на региональные и локальные (возможно нескольких порядков). Необходимы классификация выделенных аномалий на перспективные (отвечающие целевым задачам) и неперспективные, выполнение качественной и количественной интерпретация аномалий и определение их геологической природы.

Выделение аномалий

При анализе поля А принимается аддитивная (суммирующая) его модель, согласно которой существующая в рядовой точке функциональная величина аномалии $A_а$ имеет региональную $A_{ар}$, локальную $A_{ал}$ и случайную $A_{ас}$ (помеха) составляющие:

$$A_а = A_{ар} + A_{ал} + A_{ас}. \quad (12)$$

Помехи обычно отождествляют со случайными функциями и эта их особенность позволяет применять специальные методы математической фильтрации, основанные на исключении составляющих поля с высокочастотным спектром и некоррелируемостью характеристик поля по площади. Простейшей операцией по ослаблению случайной составляющей является сглаживание в окне из нескольких точек. Если взять 5 точек и применить полином третьей степени, то формула для сглаживания измеренных значений А в рядовой точке с номером *i* с использованием данных по соседним точкам имеет вид:

$$A_{сгл}(i)=0{,}486A(i)+0{,}343\{A(i+1)+A(i-1)\}-0{,}086\{A(i+2)+A(i-2)\}. \quad (13)$$

Процедура сглаживания приводит к уменьшению дисперсии фона главным образом за счет снижения геологической погрешности при незначительном изменении неслучайной аномалии. В результате уменьшения общей среднеквадратической погрешности наблюдений увеличивается контрастность аномалии и, следовательно, улучшаются условия для ее выделения.

Примером могут служить результаты выделения слабой аномалии кажущейся поляризуемости, приводимые на рис. 21. Согласно исходным измерениям (график *а*), диапазон колебаний фоновых значений $\eta_к$ составляет 0,5-2,5 % , а среднее значение равно 1,5 %. Выше верхнего предела фона зафиксированы 2 точки со значениями около

3 %. Полагая, что аномальные значения в этих точках равны 1,5 %, а среднеквадратичное отклонение для фона составляет 0,5 %, вычисленный показатель контрастности аномалии (см. (6)) для данных условий равен 3.

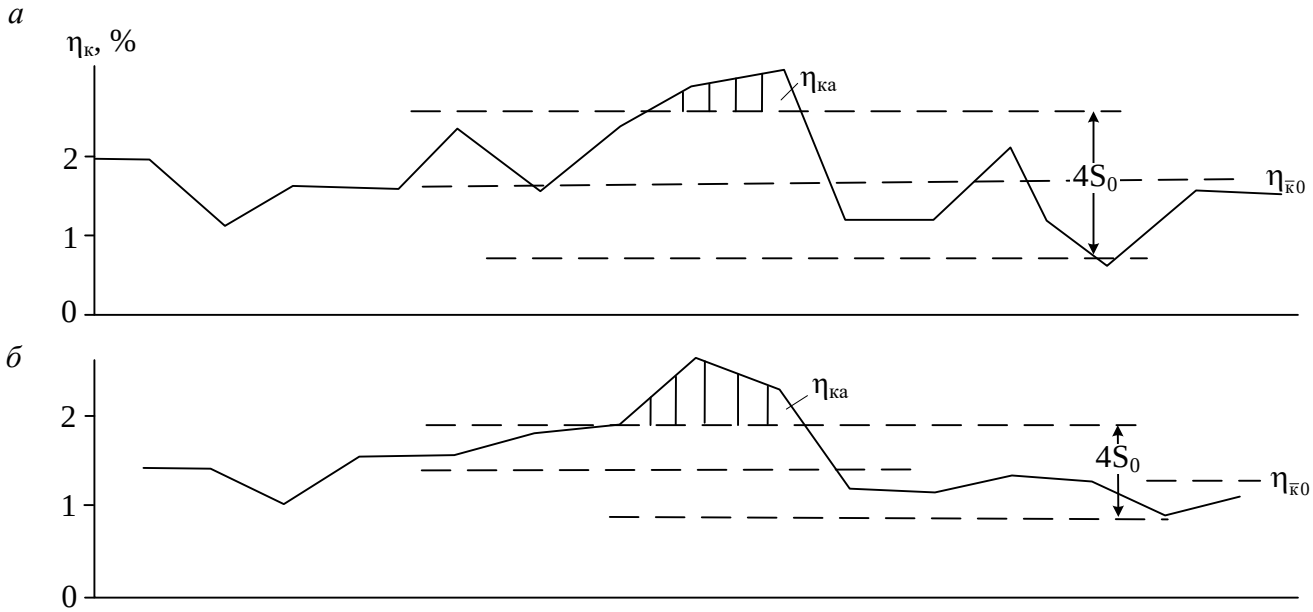


Рис. 21. Результаты выделения слабой аномалии кажущейся поляризуемости $\eta_к$ по данным измеренного поля (график *а*) и после его сглаживания (график *б*)

После сглаживания исходного графика $\eta_к$ по 5 точкам (график *б*), фоновые значения находятся в пределах 1-2 % при среднем 1,5 %, а аномальные значения остаются близкими к 3 %. Заметно, что на сглаженном графике аномалия проявляется более отчетливо. Этот эффект подтверждается и вычислением показателя контрастности, который становится близким к 6, то есть увеличивается в 2 раза относительно первоначального значения.

В инструкциях по ряду полевых методов к достоверной (надежность 99,5 %) аномалии относятся такие совокупности значений в не менее чем 3 точках, для каждого из которых выполняется условие: $A_a/S_0 \geq 3$. Если за аномалию принимать значения в 2 раза превышающее среднеквадратическую погрешность фона, то есть $A_a/S_0 \geq 2$, то надежность выделения такой аномалии согласно теории вероятности составляет 95 %. Оценивая надежность с точки зрения энергетического отношения аномалия/помеха, получим для последнего условия 82 %.

При выделении геофизических аномалий в общем случае проводится разделение региональных и локальных аномалий, отличающих-

ся областью их проявления. Наилучшие условия разделения этих аномалий существуют в случае резкого их различия по размерам и интенсивности. В зависимости от целевой задачи подавляется либо одна либо другая составляющая геофизического поля. Нередко интерес представляют как региональные аномалии, отражающие крупные структурные особенности геологической среды, так и локальные аномалии, которые связаны с влиянием мелких геологических тел, например рудных залежей.

Выделение региональных аномалий проводится на основе сглаживания наблюденного поля, предполагающего существенное ослабление влияния помех и локальных объектов. К основным способам выделения региональных аномалий относятся следующие.

1. Усреднение поля вдоль профилей или по площади. Часто используют поточечное усреднение в пределах круга определенного радиуса.

2. Тренд-анализ, под которым понимается процедура аппроксимации эмпирических данных вполне определенными функциями, аргументами которых являются координаты точек наблюдения. Аппроксимация может осуществляться с помощью алгебраических полиномов, как правило, невысоких степеней. При кусочно-полиноминальной аппроксимации применяют сплайн-функции, представляющие кубические полиномы для ограниченных участков площади.

3. Пересчет в верхнее полупространство позволяет существенно ослабить влияние небольших геологических неоднородностей и упростить процесс интерпретации региональной аномалии, которая проявляется более отчетливо.

Локальные аномалии определяют после исключения из измеренного поля региональной составляющей. Для того чтобы подчеркнуть существование локальной аномалии осуществляют пересчет измеренного поля в нижнее полупространство и вычисляют производные высшего порядка. Это позволяет усилить высокочастотную составляющую, связанную с геологическими телами небольших размеров.

Пример совместного проявления региональной и локальных аномалий в поле силы тяжести в районе медноколчеданного месторождения показан на рис. 22. На фоне плавного почти линейного уменьшения поля Δg в краевой части крупного массива базальтов

(основные породы с повышенной плотностью) фиксируется локальная отрицательная аномалия (условно первого порядка), связанная с субинтрузией гранитоидов (породы кислого состава менее плотные по сравнению с базальтами). Региональная аномалия от массива базальтов показана на рис. 22, *б* штриховой линией ($\Delta g_р$). В висячем боку субинтрузии гранитоидов внутри зоны гидротермально измененных пород (метасоматиты с минимальной для разреза плотностью) находится рудная залежь (с максимальной для разреза плотностью). Ореол метасоматитов создает отрицательную аномалию (условно второго порядка), на фоне которой проявляется локальная положительная аномалия (условно третьего порядка) от рудной залежи. Для наглядности все три локальные аномалии (1, 2, 3) изображены отдельно на рис. 22, *в*.

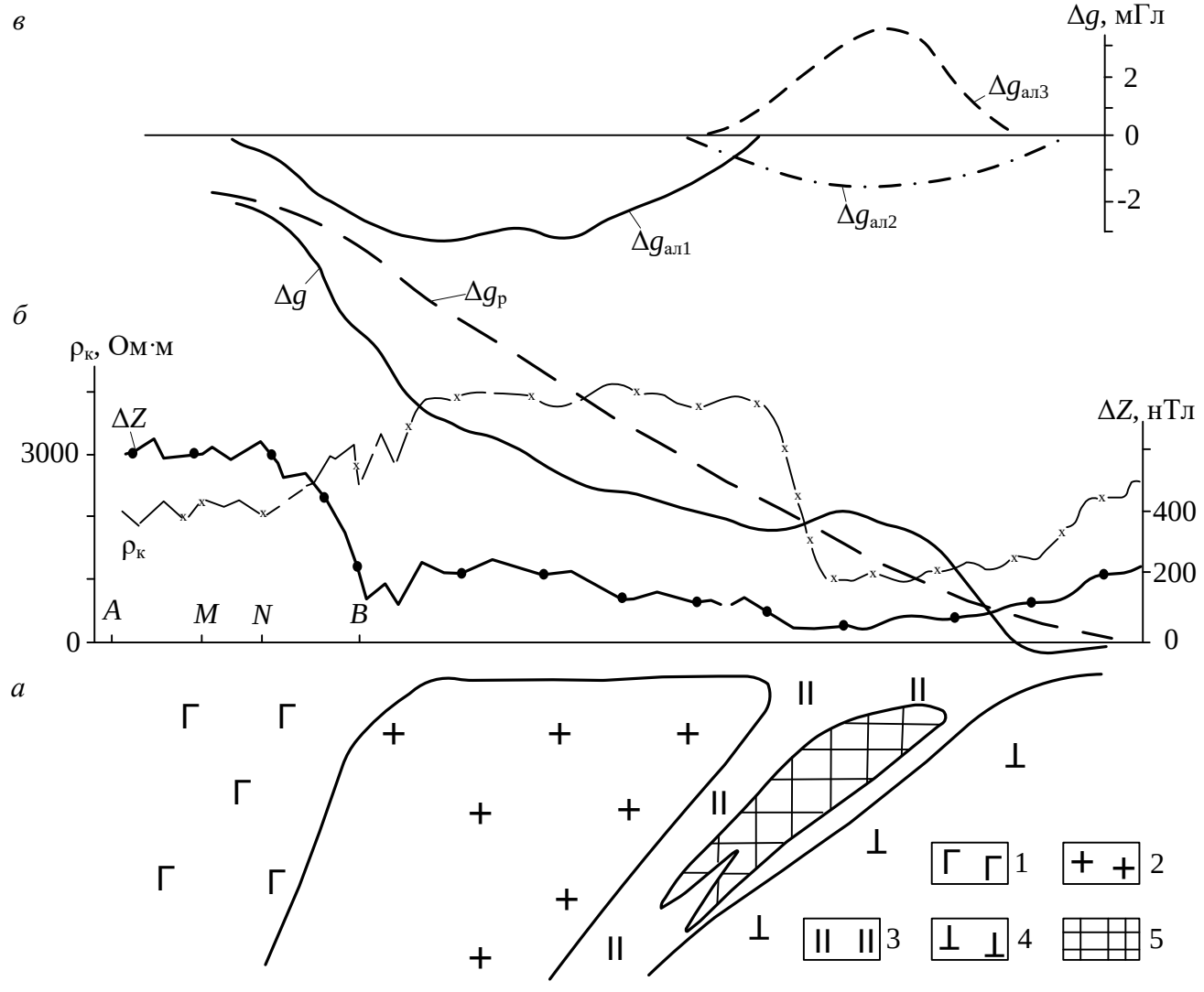


Рис. 22. Пример сложной аномалии силы тяжести, которая в совокупности с данными магниторазведки и электроразведки отражает присутствие в разрезе медноколчеданного месторождения комплекса геологических тел:

а – геологический разрез: 1 – базальты; 2 – гранитоиды; 3 – гидротермально измененные породы; 4 – туфы; 5 – руды; *б* – графики измеренного поля силы тяжести (Δg) и его регионального фона($\Delta g_{р)}$, магнитного поля (ΔZ), удельного сопротивления ($\rho_к$); *в* – графики локальных аномалий поля силы тяжести, отражающие присутствие в разрезе субинтрузии ($\Delta g_{ал1}$), зоны гидротермально измененных пород ($\Delta g_{ал2}$), рудной залежи ($\Delta g_{ал3}$)

О существовании нескольких локальных аномалий поля силы тяжести можно предположить по данным других геофизических методов. Так присутствие субинтрузии гранитоидов, которым соответствует обширная отрицательная локальная аномалия гравитационного поля (1), отчетливо фиксируется ступенчатым понижением магнитного поля относительно уровня, характерного для базальтов, и увеличением в этом районе кажущегося сопротивления. Выход к дневной поверхности зоны гидротермально измененных пород, которому соответствует локальная отрицательная аномалия (2), совпадает с областью минимальных значений магнитного поля и кажущегося сопротивления, что является довольно типичным признаком для ореолов околорудных изменений. Существование в этой же области слабой локальной положительной аномалии силы тяжести (3) является следствием влияния рудных масс с аномально высокой плотностью. Слабость влияния рудной залежи связано с тем, что над ее верхней кромкой залегают низкоплотные породы (метасоматиты и кора выветривания), а также эффектом наложения положительной аномалии от руды на более обширную отрицательную аномалию от зоны гидротермалитов.

Необходимо подчеркнуть важность разделения аномалий силы тяжести, поскольку результаты их количественной интерпретации позволяют сформировать представления о пространственных контурах геологических тел, создающих эти аномалии. Данные же большинства других методов имеют значение для картирования неоднородностей в верхней части разреза.

Принципы комплексной интерпретации геофизических аномалий

Цель комплексной интерпретации данных различных методов состоит в том, чтобы выполнить классификацию геологических объектов, создающих достоверные аномалии, уделяя первоочередное внимание перспективным аномалиям.

Использование эталонных аномалий. Комплексная интерпретация может осуществляться с помощью как аналитических, так и вероятностно-статистических методов. Первым этапом интерпретации

является построение рабочих (интерпретационных) физико-геологических моделей, которые позволяют задать некоторые априорные рамки и сузить неопределенность решения обратной задачи, выбрав наиболее вероятные варианты. В аналитических способах комплексной интерпретации геологические объекты и их параметры для ФГМ задаются в виде начальных приближений итерационного цикла решения обратной задачи. Интерпретатор должен представлять вид типичных аномалий, характерных для некоторого класса моделей геологических тел, подходящих для условий изучаемой среды. При этом учитываются ограничения, которые вытекают из представлений об априорной ФГМ и данных, полученных применявшимися геологическими (результаты проходки канав, шурфов, скважин), геохимическими и геофизическими методами.

Примером приемов решения обратных задач на участке проведения съемки методом заряда служит геологический разрез, построенный на основе комплексной интерпретации аномального поля заряда с учетом данных измерений магнитного поля и проходки скважин глубокого и картировочного бурения (рис. 5, *б*). При интерпретации аномального поля заряда использован набор некоторых теоретических аномалий электрического потенциала над типовыми объектами геологических разрезов рудных полей, приведенный на рис. 23.

Пособием по интерпретации локальных аномалий комплекса геофизических методов может служить таблица-схема, представляющая подборку аномалий от тел простейшей геометрической формы с аналитическими выражениями для вычислений полей в некоторых характерных точках (приложение 1).

Традиционными являются приемы визуального сопоставления аномалий, выделяемых по различным измеренным физическим полям. При анализе аномалий ориентируются по совпадению определенных признаков на установлении меры аналогии исследуемых и эталонных объектов. В качестве эталонов используют геологические тела, детально изученные как геофизическими, так и геологическими методами, подтвержденные бурением и горными выработками.

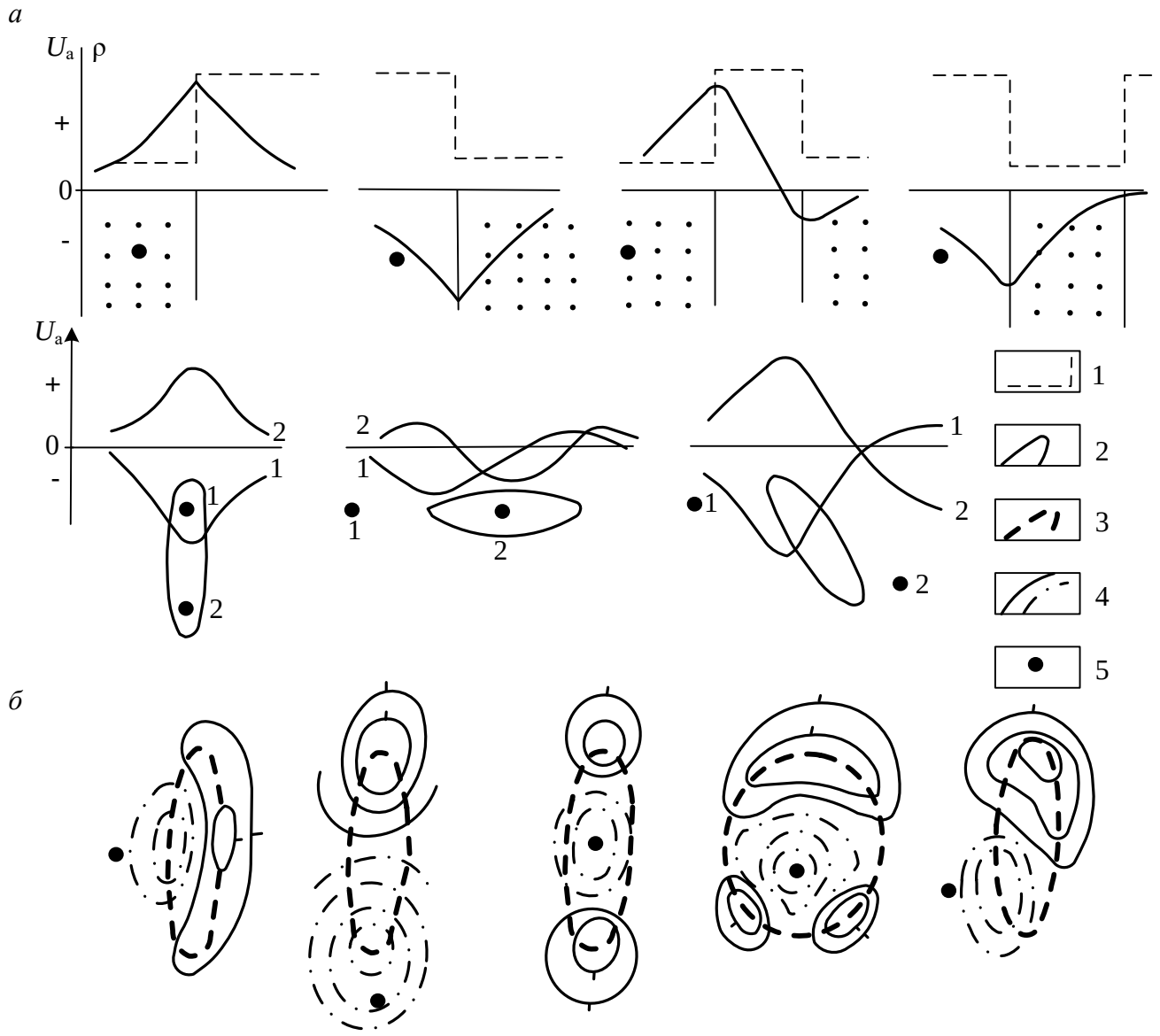


Рис. 23. Графики (*а*) и планы изолиний (*б*) аномального электрического потенциала (U_a) поля заряда в присутствии пластовых и сфероидальных тел:
1 – графики удельного сопротивления (ρ) слоистых сред; 2, 3 – погруженный сфероидальный проводник в разрезе (2) и плане (3); 4 – изолинии положительного (сплошные линии) и отрицательного (штрихпунктирные линии) аномального потенциала; 5 – заряд

Фактически задача подготовки к комплексной интерпретации сводится к созданию физико-геологических моделей типовых объектов-эталонов. Например, составляется сводка признаков, по которым могут быть откартированы тектонические нарушения. К их признакам обычно относят: отрицательные аномалии гравитационного, магнитного полей, кажущегося сопротивления, связанные с разрыхлением пород в зоне нарушения, увеличением над ним коры выветривания. В ряде случаев нарушениям в плане соответствуют узкие полосы

резкого изменения поля, связанного с различием свойств двух блоков, разделенных разрывом. Для тектонических нарушений характерна линейность в проявлении отмеченных признаков. В качестве эталонных аномалий гравитационных и магнитных полей, фиксирующих проявления разрывной тектоники, может служить подборка, приведенная на рис. 24. Признаки разрывов выражаются в сгущении изолиний, смене ориентировки большой группы локальных аномалий, повторяющимся изломом аномалий, наличием линейно вытянутых аномалий большой протяженности, смещении осей локальных аномалий или характерные деформации изолиний в определенном направлении. Все эти особенности аномальных полей можно видеть на рис. 24.

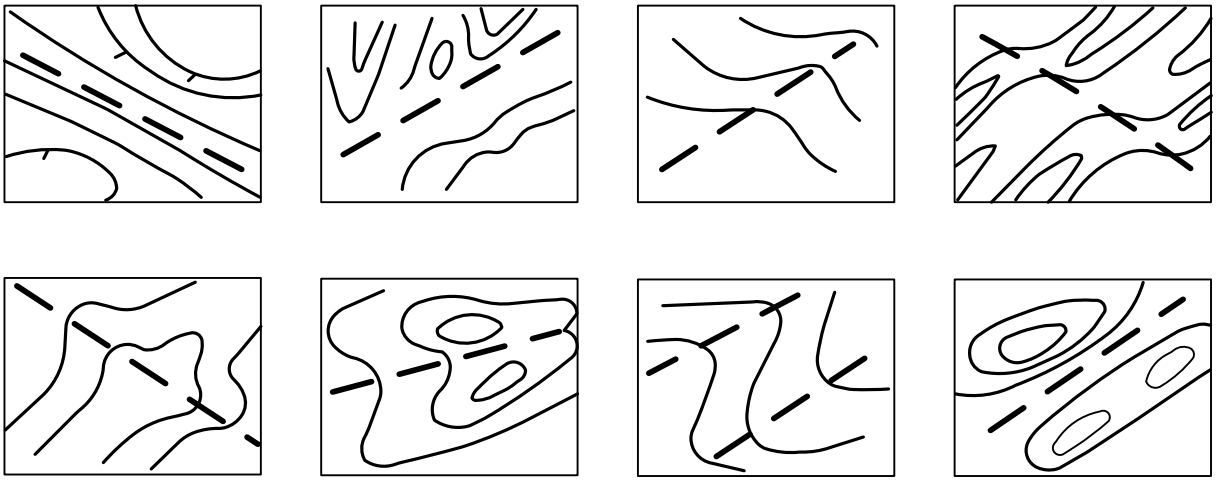


Рис.24. Примеры проявления тектонических нарушений (штриховые линии) в аномальных гравитационном и магнитном полях (по Г. Г. Кассину)

Разработаны специальные программы, позволяющие выделять и классифицировать комплексные аномалии в автоматическом режиме на основе некоторого набора эталонных образов типовых объектов. Результатом компьютерных способов распознавания образов являются прогнозные карты изученной территории с разбиением на несколько классов, характеризующихся различным набором признаков и имеющие определенное геологическое значение [2].

Одним из путей решения задачи диагноза геофизических аномалий является вычисление функций комплексного показателя (ФКП) θ, интегрировано обобщающих результаты измерений несколькими методами одновременно. Они служат для: 1) свертывания информации, полученной несколькими методами исследования; 2) приведения

наблюдений к уровню нормального поля; 3) выделения слабых аномалий; 4) разделения выявленных комплексных аномалий на перспективные и неперспективные [1].

Техника вычисления ФКП рассмотрена в разделах 3 и 5, а пример ее использования рассмотрен на материалах, послуживших основой при построении ФГМ для поисков месторождений урана (см. раздел 3, рис. 6). Полезность определения ФКП продемонстрирована также на рис 19.

Приводимое на рис. 6 раздельное вычисление ФКП для данных гравимагнитных исследований и поисковых методов электроразведки и радиометрии связано с различием задач, которые ставятся перед этими комплексами. С помощью первых методов можно картировать выходы к дневной поверхности потенциально рудоносных сланцев и подстилающих карбонатных отложений. Как показано на рис.6, эта задача решается успешно и выявляемые аномалии ФКП (Θ_1) являются перспективными и локализуют участки для детальных поисков.

В случае применения поискового комплекса обнаружение аномалий ФКП для этого комплекса (Θ_2), подобной той, которая изображена на рис. 6, позволяет отнести ее к перспективным и рассматривать как признак присутствия уранового оруденения.

Количественная комплексная интерпретация наиболее эффективна для сильных аномалий, то есть при больших значениях показателей контрастности. Данные совокупности методов позволяют более надежно установить возможные ограничения, которые необходимо учитывать при применении интерпретационного аппарата математической физики. Наиболее успешным является метод подбора параметров аномалиеобразующих объектов, позволяющий получить решение прямой задачи, соответствующее эмпирическим данным об изучаемых полях.

Прежде чем перейти к построению детальной ФГМ осуществляется экспресс-интерпретация полей путем оценочных вычислений ожидаемых для модели аномалий и их сопоставления с реально измеренными полями на участке работ. Для этих целей можно воспользоваться уже упоминавшейся выше таблицей-схемой аномалий для тел правильной геометрической формы. Таблица дает представление о виде геофизических аномалий и их амплитуде при известных форме, размерах, условиях залегания и аномальности физических (плотност-

ных, магнитных, электрических) свойств большой группы объектов, моделирующих геологические тела.

Способ подбора. Для уточнения форм аномалиеобразующих геологических тел используется способ подбора, который предполагает отыскание их границ по полям для отдельных методов с учетом ограничений, вытекающих из данных других методов. Например, при интерпретации сложных гравиметровых аномалий по профилю необходимо предварительно определится с уровнем региональной аномалии и создающей ее неоднородностью, а также с количеством и видом локальных аномалий, подлежащих количественной интерпретации. Существенную помощь при этом могут оказать данные других геофизических методов. Например, как это показано по материалам рис. 22, можно обосновать возможность выделения локальных аномалий от нескольких объектов и высказать предположения об их геологической природе.

По данным электрозондирования часто удается установить положение кровли коренных горных пород и вероятные физические характеристики скрытых под наносами геологических тел (на основе корреляционных зависимостей между электрическими и другими физическими свойствами). Часто по аномалиям методов естественного электрического поля и вызванной поляризации проявляются участки рассеянной сульфидной минерализации, типичные для околорудноизмененных пород. Пример подобных аномалий приведен в разделе 3 на рис. 10. Естественно, что имеет смысл геометризовать в пространстве эти участки, данные о выходах к дневной поверхности которых устанавливаются электроразведкой. Особый интерес представляет задача определить положение в пространстве рудных залежей, признаки существования которых заметны в аномальном поле силы тяжести и могут проявиться по данным специальных методов, например метода переходных процессов.

Для реализации способа подбора в рамках каждого метода разработаны разнообразные программы. Например, применительно к методу ВЭЗ разработан набор программ, как для ручной, так и машинной (компьютерной) интерпретации. Подбор сводится к сопоставлению наблюденных кривых с теоретически рассчитанными графиками для горизонтально-слоистой среды с известными параметрами (удельное сопротивление и мощность) слоев. Для снижения неоднозначности интерпретации используют данные о сопротивлении не-

которых опорных слоев или точно установленных границах на отдельных участках работ. Наиболее достоверные данные получают при наличии скважин.

Классификация геологических объектов на принципе самообучения

Этот принцип позволяет по совокупности геофизических данных разделить площадь исследований на некоторое число однородных (по совокупности признаков) классов (объектов), причем их геологическая природа может до определенного времени оставаться неясной. Для установления природы таких классов требуется выполнить геологические исследования (анализ проб, проходка скважин и др.), однако объем заверочных исследований невелик. Достаточно проанализировать данные по типичным представителям классов.

Примером реализации такого подхода могут служить материалы петрофизической классификации и картирования горных пород по данным измерений физических полей в скважинах [10]. Так при разведке медноколчеданного месторождения Осеннее на Южном Урале было установлено, что рудовмещающая структура представляет сложно построенную вулкано-тектоническую депрессию, осложненную крутопадающими и межслоевыми нарушениями. Всего в разрезе месторождения выделялось около десятка разновидностей литотипов [11], представлявших сложный комплекс геологических тел. Определенные сложности возникали с установлением наименования пород, подвергшихся гидротермальному метасоматозу, а также с определением роли субвулканических липарито-дацитов в формировании месторождения.

Для классификации геологических объектов на месторождении были привлечены данные каротажа естественной радиоактивности (ГК), которые, как известно, наиболее тесно связаны с литологическими особенностями горных пород. По этому свойству легче всего определить тип породы, подвергшейся эпигенетическим преобразованиям и принявшей черты метаморфизованной разновидности. Построенная по результатам статистической обработки диаграмм ГК, по методике изложенной в разделе 3, дифференциальная кривая распределения радиоактивности изображена на рис. 25. Из этой кривой следует, что все рудовмещающие породы можно разделить на три статистически однородные совокупности (А, Б, В) и определить границы

между ними (9 и 25 мкР/час) для построения петрорадиоактивных разрезов.

Результаты анализа химического состава показали, что радиоактивность рудовмещающих пород возрастает пропорционально увеличению кремнезема (47,6, 57,3, 65,7 %) и калия (1,9, 3,3, 4,8 % K_2O) и положительно коррелируется с повышением кислотности пород, которая в свою очередь отражает последовательность поступления в изучаемый массив магматических инъекций. Построенные петрофизические разрезы значительно проще геологических разрезов и наглядно отражают структурные особенности и историю формирования месторождения. Для этого на петрорадиоактивный разрез наложены контуры зон, отражающие степень сульфидной минерализации пород, установленные в результате статистической обработки диаграмм метода электродных потенциалов (МЭП). Данные метода фиксируют степень рудной концентрации (>0,65, 0,65-0,3,<0,ш3), соответствующей уровню сплошных руд (класс Р), сильно измененных и сульфидизированных пород (класс С) и слабо измененных околорудными процессами участков разреза.

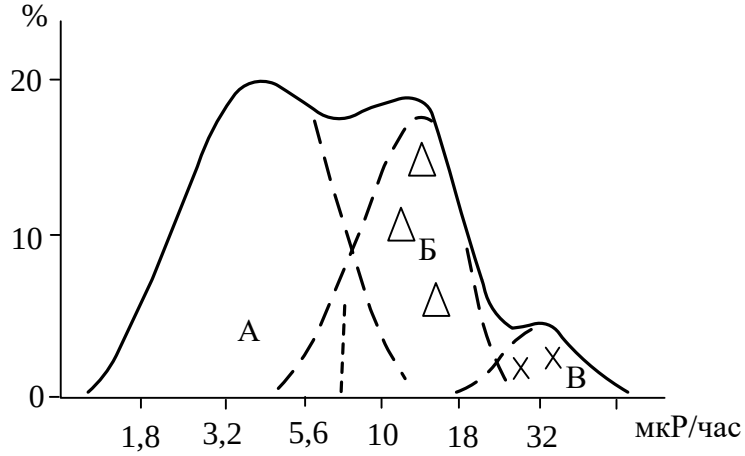


Рис. 25. Дифференциальная кривая распределения гамма-активности рудовмещающих пород медноколчеданного месторождения Осеннее

Результаты классификации геологических объектов по данным измерений двух геофизических полей на принципах самообучения с помощью статистического способа позволили построить петрофизические разрезы, на которых породы разделены на обоснованное огра-

ниченное число классов, отражающих главные черты рудоносной структуры.

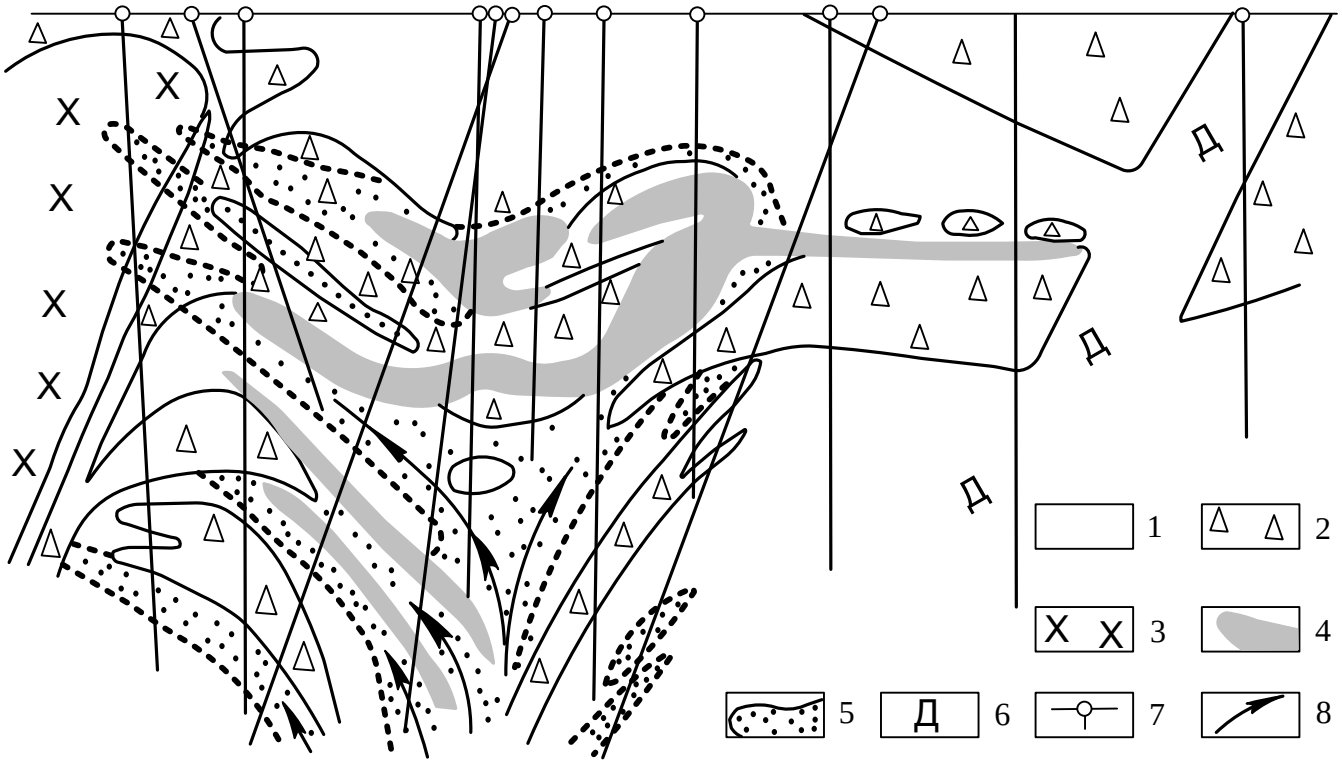


Рис. 26. Петрофизический разрез (классификация по двум геофизическим полям: ГК и МЭП) медноколчеданного месторождения Осеннее:
1, 2, 3 – петрорадиоактивные группы пород А, Б и В, соответственно; 4 – сплошные руды (класс Р); 5 – богатая сульфидная минерализация (класс С); 6 – дайка основных пород; 7 – скважины; 8 – предполагаемые пути движения рудоносных растворов

Один из таких разрезов приведен на рис. 26. Из него видно, что в массив, сложенный комплексом вулканогенных пород основного состава (комплекс пород класса А с низкой радиоактивностью) на завершающей стадии активного вулканизма по субвертикальной тектонической зоне внедрились субинтрузии кислых пород (липарито-дацитовые порфиры – класса Б по радиоактивности). Эти породы имеют силлобразную форму с корнями, уходящими на глубину. На заключительной стадия вулканизма ранее формированная толща была прорвана интрузией (сиенит-диориты класса В с наибольшей радиоактивностью). Поступление рудоносных растворов происходило по каналу уже пройденному субинтрузиями липарит-дацитов, кото-

рые перекрыли сквозную тектоническую зону, образовав экранированную структуру с участками повышенной проницаемости на контактах кислых и основных пород. Эти участки брекчирования и явились теми самыми резервуарами, в которых накапливались руообразующие смеси.

Контуры зон, отражающих классы пород с высокой и умеренной степенью сульфидной минерализации (классы Р и С, соответственно) фиксируют картину проникновения рудных растворов с глубоких горизонтов вверх по узкому субвертикальному каналу. Очевидно, что в верхней части разреза происходило распределение этих растворов по экранированным пологим участкам брекчирования на контактах вулканогенных и субинрузивных пород, где увеличивалась концентрация рудного вещества. По данным комплексной интерпретации геофизических полей медноколчеданное месторождение Осеннее является типичным представителем корневых рудных полей II рода, геологические модели которых рассмотрены в разделе 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основной

1. *Вахромеев Г. С.* Основы методологии комплексирования геофизических исследований при поисках рудных месторождений. М.: Недра, 1978. 152 с.

2. *Комплексирование методов разведочной геофизики*: Справочник геофизика / под ред. В. В. Бродового, А. А. Никитина М.: Недра, 1984, 384 с.

3. *Никитин А. А., Хмелевской В. К.* Комплексирование геофизических методов: учебник для вузов. Тверь: ООО Изд. «ГЕРС», 2004, 294 с.

Дополнительной

4. *Виноградов А. М.* Геополя и колчеданы Южного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004, 187 с.

5. *Геофизические методы разведки рудных месторождений*. / В. В. Бродовой, В. Д. Борцов, Л. Е. Подгорная и др. под ред. В. В. Бродового. М.: Недра, 1990, 296 с.

6. *Геофизические методы поисков и разведки неметаллических полезных ископаемых* / под ред. П. В. Вишневского, Г. С. Вахромеева, И. Л. Шаманского. М.: Недра, 1984, 223 с.

7. *Геофизические поиски рудных месторождений* / под ред. В. А. Кличникова. Алма-Ата: Каз.ФВИРГ, 1970, 610 с.

8. *Кассин Г. Г.* Геофизические методы на региональном этапе геологоразведочного процесса. Екатеринбург: УГГА, 1996, 104 с.

9. *Рудные месторождения СССР* / под ред. В. И. Смирнова. Том 3. М.: Недра, 1974, 392 с.

10. *Сапожников В. М.* Использование диаграмм каротажа для петрофизического картирования рудовмещающих горных пород. / Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений. Вып.1. Межвуз. науч. темат. сб. Свердловск: изд. УПИ, 1977, с. 11-19.

11. *Сапожников В. М., Голиков Ю. В., Берг Л. Я.* Опыт объемного петрофизического картирования рудовмещающих пород месторождения Осеннее / Методика поисков и разведки глубокозалегаю-

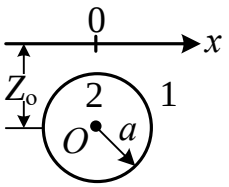
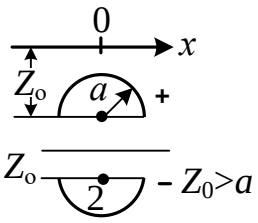
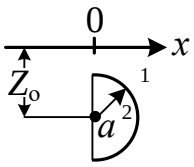
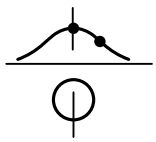
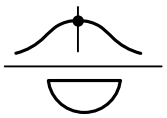
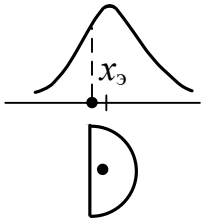
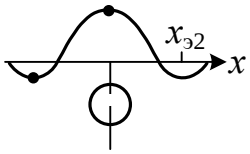
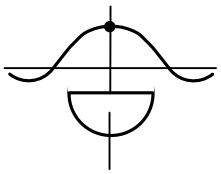
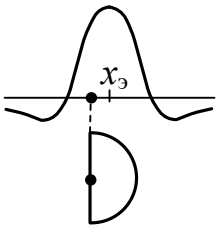
щих рудных месторождений. Вып.1. Межвуз. науч. темат. сб. Свердловск: изд. УПИ, 1977, с. 20-27.

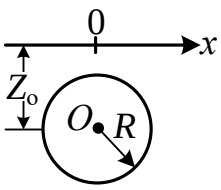
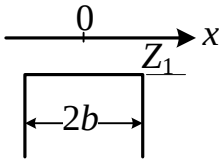
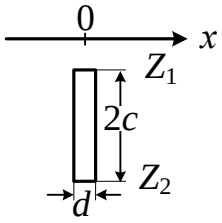
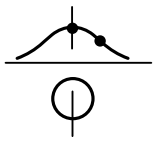
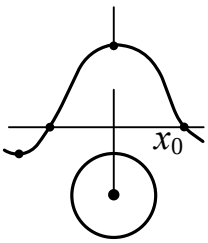
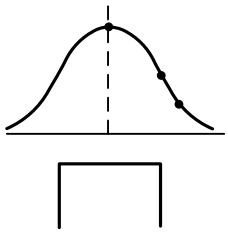
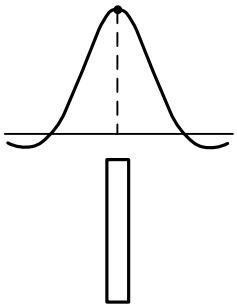
12. *Сапожников В. М., Шевченко В. Г.* Теория и методика электроразведки в градиентных средах. Л.: Недра, 1992, 135 с.

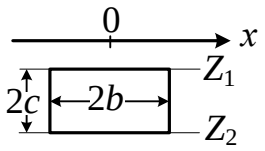
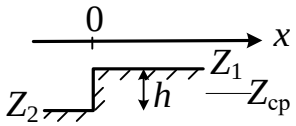
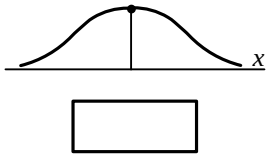
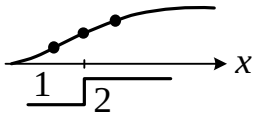
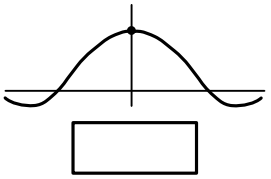
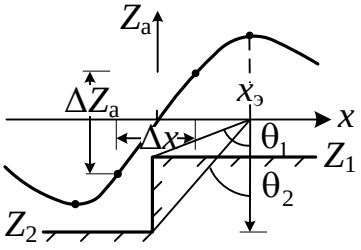
13. *Электроразведка рудных полей методом заряда* / М. В. Семенов, В. М. Сапожников, М. М. Авдевич, Ю. В. Голиков. Л.: Недра, 1984, 216 с.

Приложение 1

Сводка формул для вычисления значений аномальных полей в характерных точках

1		Ш	$ПШ_Г$	$ПШ_В$
2	разрез			
3	$\Delta g_a^э$	$\frac{4G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}$ $x_{1/2} = 0{,}77Z_0$ 	$\frac{2G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}\left(1 \pm \frac{3a}{4Z_0}\right)$ 	$\frac{2G\pi a^3\Delta\sigma}{3Z_0^2}$ $x_э = \frac{3}{8}a$ 
4	$Z_a^э$	$\frac{8\pi a^3 J}{3Z_0^3}$ $x_0 = \pm Z_0\sqrt{2}$ $x_{э2} = \pm 2Z_0$ $Z_{a2}^э = -0{,}036Z_a^э$ 	$\frac{4\pi a^3 J}{3Z_0^3}\left(1 \pm \frac{9a}{8Z_0}\right)$ 	$\frac{4\pi a^3 J}{3Z_0^3}$ $x_э = \frac{3}{8}a$ 
5	$\rho_к^э$ $\eta_к^э$	$\frac{2к_1\rho_1 a^3}{Z_0^3}$	$\frac{2\rho_1(\mu-1)a^3}{5\mu+1}\times$ $\times\left(\frac{1}{Z_0^3} \pm \frac{9a}{8Z_0^4}\right)$	$\frac{\rho_1(\mu-1)a^3}{(\mu+2)Z_0^3}$

1		Ц	МП	ТП
2	разрез			
3	$\Delta g_{\text{а}}^{\text{э}}$	$\frac{2G\pi R^2\Delta\sigma}{Z_0^2}$ $x_{1/2}=\pm Z_0$ 	$\pm\infty$	$2Gd\Delta\sigma\ln\frac{Z_2}{Z_1}$ $x_{1/2}=\pm\sqrt{Z_1Z_2}$ 
4	$Z_{\text{а}}^{\text{э}}$	$\frac{2\pi R^2 J}{Z_0^2}$ $x_{\min}=\pm Z_0\sqrt{3}$ $x_0=\pm Z_0$ 	$4J\,\text{arctg}\frac{b}{Z_1}$ $x_{1/2}=\pm\sqrt{b^2+Z_1^2}$ $x_{1/4}=\pm\sqrt{x_{1/2}^2+2Z_1\lvert x_{1/2}\rvert}$ 	$2J\,d\left(\frac{1}{Z_1}-\frac{1}{Z_2}\right)$ 
5	$\rho_{\text{к}}^{\text{э}}$ $\eta_{\text{к}}^{\text{э}}$	$\frac{2\kappa\rho_1 R^2}{Z_0^2}$	$\frac{2\rho_1(\mu-1)}{\pi}\text{arctg}\frac{b}{Z_1}$	$\frac{\rho_1 d}{\pi m}\left(\frac{1}{Z_1}-\frac{1}{Z_2}\right)$ $m=\frac{\mu}{\mu-1}-\frac{c}{b+c}$ $d=2b$

1		Пр	У
2	разрез		
3	$\Delta g_{\text{а}}^{\text{э}}$	$2G\Delta\sigma\left\{b\ln\frac{Z_2^2+b^2}{Z_1^2+b^2}+\right.$ $\left.+2\left(f_2-f_1\right)\right\}$ $f_i=Z_i\,\text{arctg}\frac{b}{Z_i}$ 	$2\pi Gh\Delta\sigma$ $x_{\text{э}}\to\infty$ $x_{1/2}=0$ $x_0\to-\infty$ $x_{1/4}=-Z_{\text{ср}}$ $x_{3/4}=Z_{\text{ср}}$ 
4	$Z_{\text{а}}^{\text{э}}$	$4J\left(\text{arctg}\frac{Z_2}{b}-\text{arctg}\frac{Z_1}{b}\right)$ 	$Z_{\text{а}}=2J\left(\theta_1-\theta_2\right)$ $\theta_{1,2}=\text{arctg}\frac{x}{Z_{1,2}}$ $x_0=0$ $x_{\text{э}}=\pm\sqrt{Z_1Z_2}$ $x=0\quad\Delta Z_{\text{а}}/\Delta x=\frac{2J}{Z_1}$ 
5	$\rho_{\text{к}}^{\text{э}}$ $\eta_{\text{к}}^{\text{э}}$	$\frac{2\rho_1}{\pi m}\left(\text{arctg}\frac{Z_2}{b}-\text{arctg}\frac{Z_1}{b}\right)$ $m=\frac{\mu}{\mu-1}-\frac{c}{b+c}$	$\rho_{\text{ка}}=\rho_1\frac{\left(\mu-1\right)\left(\theta_1-\theta_2\right)}{\mu\pi}$ при $\rho_2=\rho_1$ $\eta_{\text{ка}}=\left(\eta_2-\eta_1\right)\frac{\theta_1-\theta_2}{\pi}$

Пояснения

Аномальные геофизические поля: гравитационное (Δg_a), магнитное (Z_a), удельное сопротивление ($\rho_{ка}$) и поляризуемость ($\eta_{ка}$).

Тела: шар (Ш), полушары вертикальный ($ПШ_В$) и горизонтальный ($ПШ_Г$), цилиндр (Ц), мощный пласт (МП), тонкий пласт (ТП), прямоугольная прямая призма (ПР), вертикальный уступ (У).

Размерности: линейные величины в м, $\Delta\sigma$-избыточная плотность в г/см^3; $G=6.67\cdot10^3$ внесистемный вариант гравитационной постоянной, позволяющий получать Δg_a в мГл.; $\Delta\chi$-избыточная магнитная восприимчивость в системе СГС ($\Delta\chi_{СГС}=4\pi\cdot\Delta\chi_{СИ}$); J_i -интенсивность вертикального намагничивания: $J_i=\Delta\chi\cdot Z_н$; $Z_н$ – нормальное поле Земли: $Z_н\approx0.5$ Э; 1 Эрстед=10^5 нТл.; artg x в радианах; ρ_1 и ρ_2 – удельное сопротивление вмещающей среды и тела, соответственно; $\mu=\rho_2/\rho_1$; $K=(\mu-1)/(\mu+1)$; $K_1=(\mu-1)/(2\mu+1)$; $\rho_к=\rho_1+\rho_{ка}$; $\eta_к=1-\rho_к/\rho_к^*$; $\rho_1^*=\rho_1/(1-\eta_1)$; $\rho_2^*=\rho_2/(1-\eta_2)$; $\mu^*=\rho_2^*/\rho_1^*$; $\rho_к^*=\rho_1^*+\rho_{ка}^*$; $\eta_{ка}=\eta_к-\eta_1$; графики $\rho_{ка}$ и $\eta_{ка}$ подобны графикам $Z_а$; $x_э=0$ (кроме уступа).

МИНОБРНАУКИ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

ГАММА-КАРОТАЖ СКВАЖИН

РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

для студентов специальности

21.05.03 Технология геологической разведки

ЧАСТЬ 1

РАСЧЕТЫ ГАММА-ПОЛЕЙ

Автор: Белышев Ю. В., доцент, к.г.-м.н.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Геофизики	геологии и геофизики
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав.кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Талалай А. Г.	Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 12 от 05.03.2020 г.	Протокол № 7 от 20.03.2020 г.
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург
2020

ВВЕДЕНИЕ 4

РАБОТА № 1. Расчет интенсивности гамма-излучения от радиоактивного пласта по кривым насыщения 5

1. Задание 5

2. Порядок выполнения работы 5

3. Теоретические основы метода расчета 6

4. Расчет интенсивности гамма-излучения 13

5. Контрольные вопросы 16

6. Содержание отчета 16

РАБОТА № 2. Расчет интенсивности гамма-излучения от радиоактивного пласта в диффузионном приближении 17

1. Задание 17

2. Порядок выполнения работы 18

3. Теоретические основы метода расчета 18

4. Порядок расчетов 26

5. Контрольные вопросы 26

6. Содержание отчета 27

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 27

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1. Общие требования к отчетам 28

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2. Программа расчета на языке *BASIC* 29

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3. Расчет в среде *Microsoft Excel* 30

ВВЕДЕНИЕ

Сущность гамма-каротажа (ГК) как одного из методов скважинных геофизических исследований, заключается в измерении по разрезу скважины мощности экспозиционной дозы (интенсивности) гамма-излучения горных пород с целью выявления рудных тел, определения их мощности и глубины залегания и количественного определения концентрации радиоактивных элементов в рудном подсечении. При разведке и разработке месторождений радиоактивных руд гамма-каротаж является одним из основных методов скважинного гамма-опробования руд и определения их запасов.

С появлением и внедрением в практику ядерногеофизических исследований высокочувствительных сцинтилляционных детекторов излучения гамма-каротаж стал также широко использоваться в целях литологического расчленения горных пород по разрезу скважин, локализации и детализации зон катаклаза и метасоматоза, при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, для которых прослеживается корреляционная связь с содержанием радиоактивных элементов, для выделения низкоактивных горных пород типа галита, гипса, ангидрита, и т.п. В настоящее время гамма-каротаж входит во многие стандартные комплексы скважинных геофизических исследований на различные виды полезных ископаемых.

Учитывая метрологические особенности измерений интенсивности гамма-излучения в целях количественного определения содержания радиоактивных элементов и литологического расчленения горных пород, различают две разновидности гамма-каротажа: $ГК_к$ (количественный) и $КГ_л$ (литологический). Данные разновидности относятся к числу интегральных видов измерения интенсивности естественного гамма-излучения горных пород. При проведении $ГК_к$ из регистрации исключается низкоэнергетическая часть спектра естественного гамма-излучения, соответствующая многократно рассеянным гамма-квантам. При проведении $ГК_л$ регистрируется полный спектр излучения.

В настоящее время в геофизической практике находит все большее применение гамма-каротаж в спектрометрическом варианте ($ГК_с$), позволяющий производить раздельное определение в рудном теле содержания урана (по радию), тория и калия.

РАБОТА № 1

РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ РАДИОАКТИВНОГО ПЛАСТА ПО КРИВЫМ НАСЫЩЕНИЯ

1. ЗАДАНИЕ

1. По заданному варианту условий рассчитать интенсивность гамма-излучения по оси сухой необсаженной скважины для радиоактивного пласта и вмещающей среды.

2. Общие условия расчета: массовый коэффициент ослабления гамма-излучения в руде и вмещающей породе $\overline{\mu} = \mu / \rho$ = 0.033 см^2/г, содержание урана в пласте руды Q_U = 0.1 %, коэффициент радиоактивного равновесия $K_{\text{рр}}$ = 0.8. Угол встречи пласта скважиной α = 60°.

3. Варианты расчета:

№	Параметр	1	2	3	4	5
A	Плотность породы ρ, г/см^3	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
B	Мощность пласта *h*, см	10	15	20	25	30
C	Диаметр скважины $2r_0$, мм	40	50	60	80	100

Материалы, оборудование:

1. Калькулятор или ЭВМ.
2. Миллиметровка, калька, карандаш, резинка.
3. Номограммы кривых насыщения интенсивности гамма-излучения.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с теоретическими основами расчета гамма-поля.

2. Получить вариант задания и произвести расчет гамма-поля по оси скважины для угла встречи пласта 90° в относительных единицах J_∞ - интенсивности излучения пласта бесконечной мощности.

3. Построить рассчитанное распределение $J(z)$ на миллиметровке в масштабах: горизонтальный (ось глубин z) - в 1 см: 5 см, вертикальный (ось интенсивности гамма-излучения J) - в 1 см: 0.05 J_∞.

4. Пересчитать распределение поля для угла встречи пласта 60° и нанести результаты расчета на миллиметровку.

5. Рассчитать значение J_∞ и нанести на график масштаб оси интенсивности гамма-излучения.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА РАСЧЕТА

Кривые насыщения, которые используются при данном методе расчетов гамма-полей, характеризуют отношение максимальной интенсивности гамма-излучения в центре пласта мощностью h к интенсивности излучения пласта бесконечной мощности, т.е.

$$f(h) = J_{max}/J_\infty \,. \qquad (1)$$

Вид кривых насыщения приведен на рисунке 1 и зависит от плотности горных пород и диаметра скважины [2]. Кривые насыщения получают как опытным путем (что позволяет более точно учитывать особенности регистрации гамма-излучения в скважине приборами различных типов), так и рассчитывают теоретически.

Расчет интенсивности гамма-излучения в центре пласта в сухой необсаженной скважине производится согласно [1] по формуле:

$$J_{max} = J_\infty \left\{ \int_{\varphi_o}^{\pi/2} \sin\varphi\, d\varphi - \int_{\varphi_o}^{\pi/2} \exp\left[-\mu\left(\frac{h}{2}\sec\varphi - r_0 \operatorname{cosec}\varphi \right) \right] \sin\varphi\, d\varphi \right\}. \qquad (2)$$

На рисунке 2 приводится пояснение условий расчета. При расчетах формула 2 преобразуется следующим образом:

$$J_{max} = J_\infty (S_1 - S_2), \qquad (3)$$

$$S_1 = \cos\varphi_0 = h \Big/ \sqrt{h^2 + 4r_0^2} \,, \qquad (4)$$

$$S_2 = \int_{\varphi_o}^{\pi/2} \exp\left[-2p \frac{\sin(\varphi - \varphi_0)}{\sin 2\varphi} \right] \sin\varphi\, d\varphi, \qquad (5)$$

$$p = 0.5\mu\sqrt{h^2 + 4r_0^2} \,. \qquad (6)$$

Значения интеграла S_2 при разных φ_o и p берутся из специальных таблиц (см табл. 1), либо рассчитываются на ЭВМ.

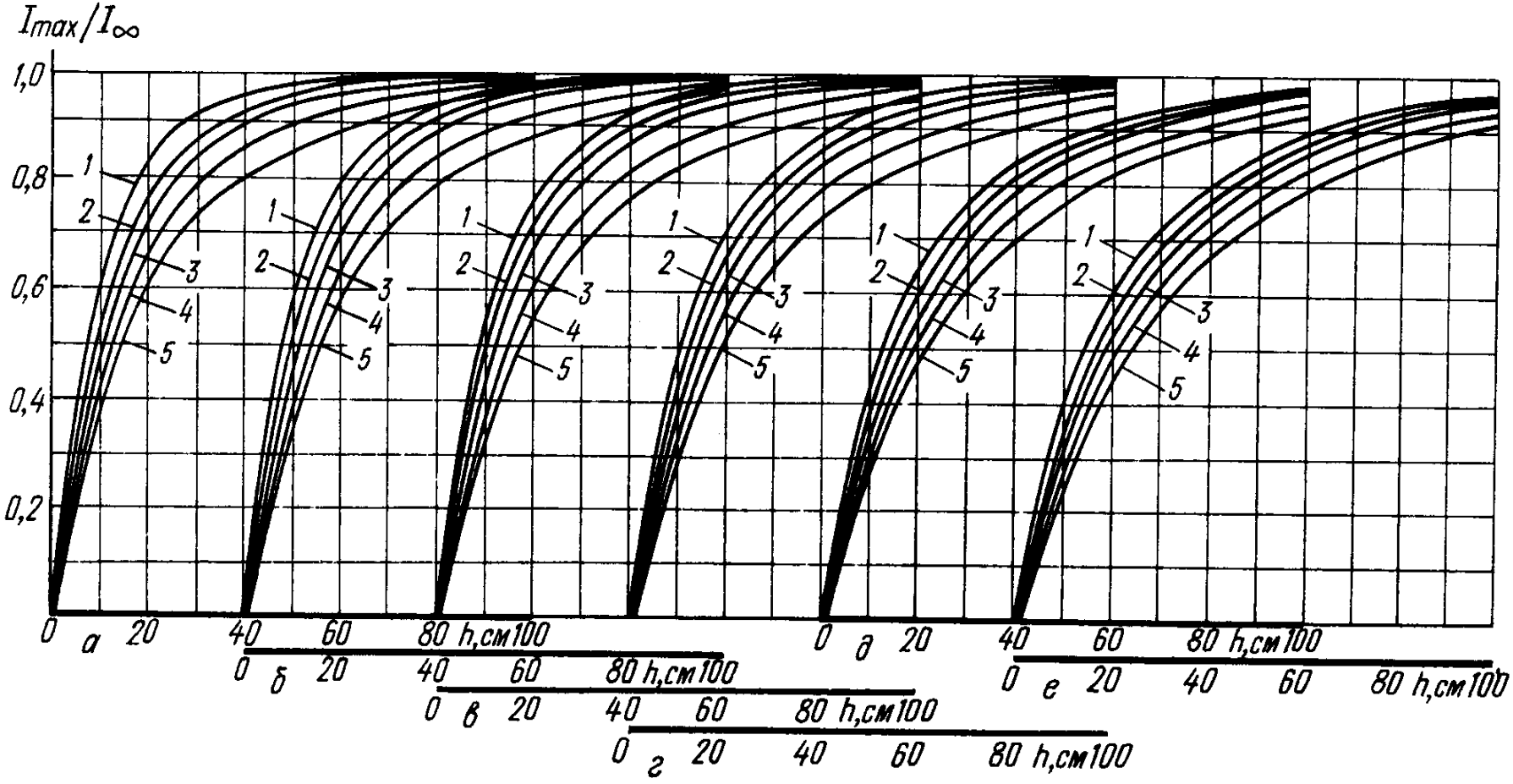


Рис. 1. Функция насыщения $f(h)$ для измерений в скважинах разного диаметра.
Диаметр скважины, мм: 1 - 40, 2 - 80, 3 - 120, 4 - 200, 5 - 300.
Плотность руды, г/см^3: *а* - 3.5, *б* - 3.0, *в* - 2.5, *г* - 2.0, *д* - 1.5, *е* - 1.25.

Таблица 1

Значения интеграла S_2 при разных параметрах φ_o и p [1]

p	Угол φ_o, град.													
	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78
0.1	0.7225	0.7306	0.7289	0.7174	0.6964	0.6662	0.6273	0.5801	0.5252	0.4636	0.3960	0.3231	0.2460	0.1658
0.2	0.5742	0.5912	0.5988	0.5969	0.5856	0.5653	0.5362	0.4990	0.4542	0.4027	0.3451	0.2824	0.2155	0.1455
0.3	0.4691	0.4924	0.5067	0.5117	0.5074	0.4941	0.4721	0.4420	0.4043	0.3599	0.3094	0.2539	0.1941	0.1312
0.4	0.3894	0.4170	0.4363	0.4464	0.4474	0.4394	0.4229	0.3982	0.3660	0.3270	0.2820	0.2319	0.1777	0.1202
0.5	0.3266	0.3574	0.3802	0.3943	0.3994	0.3956	0.3833	0.3630	0.3351	0.3005	0.2599	0.2142	0.1644	0.1114
0.6	0.2762	0.3090	0.3345	0.3515	0.3598	0.3594	0.3505	0.3337	0.3094	0.2784	0.2415	0.1995	0.1533	0.1040
0.7	0.2349	0.2690	0.2964	0.3158	0.3266	0.3289	0.3229	0.3089	0.2877	0.2597	0.2258	0.1869	0.1439	0.0977
0.8	0.2009	0.2356	0.2644	0.2855	0.2983	0.3028	0.2991	0.2877	0.2689	0.2435	0.2123	0.1760	0.1357	0.0923
0.9	0.1724	0.2073	0.2370	0.2594	0.2739	0.2802	0.2785	0.2691	0.2525	0.2294	0.2004	0.1665	0.1285	0.0874
1.0	0.1485	0.1832	0.2135	0.2369	0.2526	0.2604	0.2604	0.2527	0.2380	0.2168	0.1899	0.1580	0.1221	0.0832
1.2	0.1111	0.1447	0.1752	0.1999	0.2174	0.2275	0.2300	0.2252	0.2135	0.1956	0.1721	0.1436	0.1113	0.0759
1.4	0.0839	0.1157	0.1459	0.1709	0.1895	0.2011	0.2056	0.2030	0.1937	0.1783	0.1574	0.1318	0.1023	0.0699
1.6	0.0638	0.0935	0.1228	0.1478	0.1670	0.1796	0.1855	0.1845	0.1772	0.1639	0.1452	0.1219	0.0948	0.0649
1.8	0.0488	0.0763	0.1045	0.1291	0.1485	0.1618	0.1687	0.1690	0.1632	0.1516	0.1348	0.1135	0.0884	0.0606
2.0	0.0375	0.0628	0.0897	0.1138	0.1331	0.1468	0.1544	0.1558	0.1512	0.1410	0.1258	0.1061	0.0829	0.0568

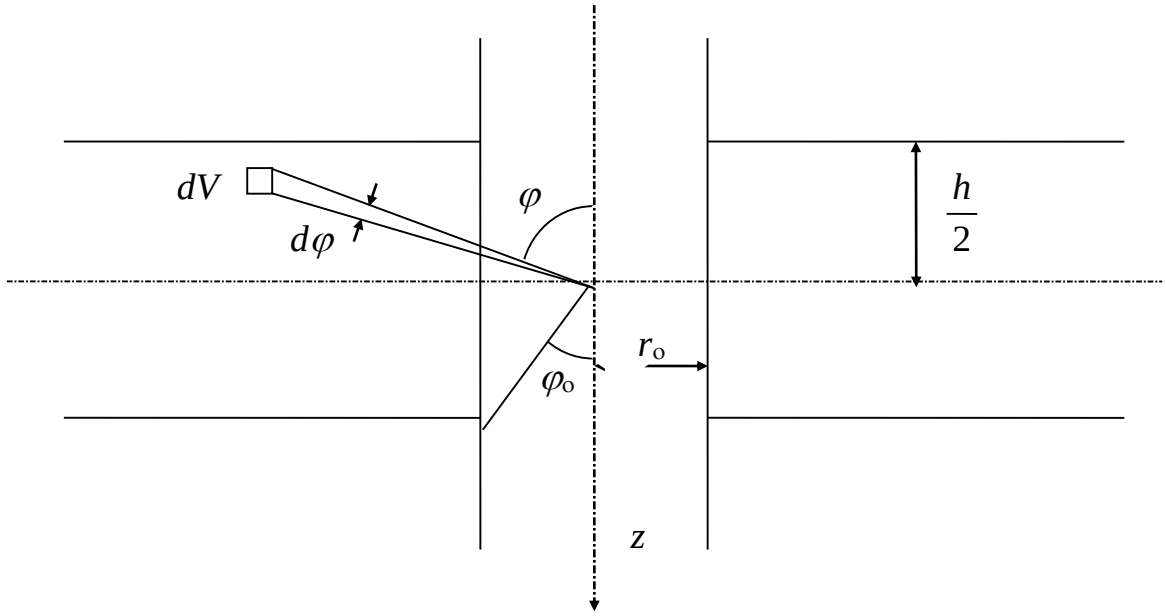


Рис. 2. Пояснение к условиям расчета интенсивности гамма-поля в центре активного пласта мощностью h.

Кривые насыщения, полученные расчетом по формулам (2-6), соответствуют экспериментальным измерениям с точностью не хуже 5 % для гамма-каротажа в варианте $ГК_к$ с размерами детекторов не более 50 мм.

По известным кривым насыщения интенсивность гамма-излучения в скважине может быть определена для пласта любой мощности и на любом расстоянии z от центра пласта по следующим формулам:

$$J(z,h) = \frac{J_\infty}{2} \cdot \begin{cases} f(2z+h) + f(h-2z) \ , & z \le h/2 \\ f(2z+h) - f(2z-h) \ , & z \ge h/2 \end{cases} \qquad (7)$$

Аргументы функции насыщения $f(H)$ в формуле (7) представляют собой значения мощности $H = 2z \pm h$ «фиктивных» пластов. Физический смысл выражений становится понятным при рассмотрении последовательных схематических разрезов скважины, представленных на рисунках 3 и 4.

На рисунке 3 нанесены пять схематических разрезов скважины.

Разрез «1» - исходный: мощность пласта h, детектор находится на расстоянии z от центра пласта.

Разрез «2» является разрезом для «фиктивного» пласта мощностью $H = 2(z+h/2)$ при расположении детектора в центре пласта.

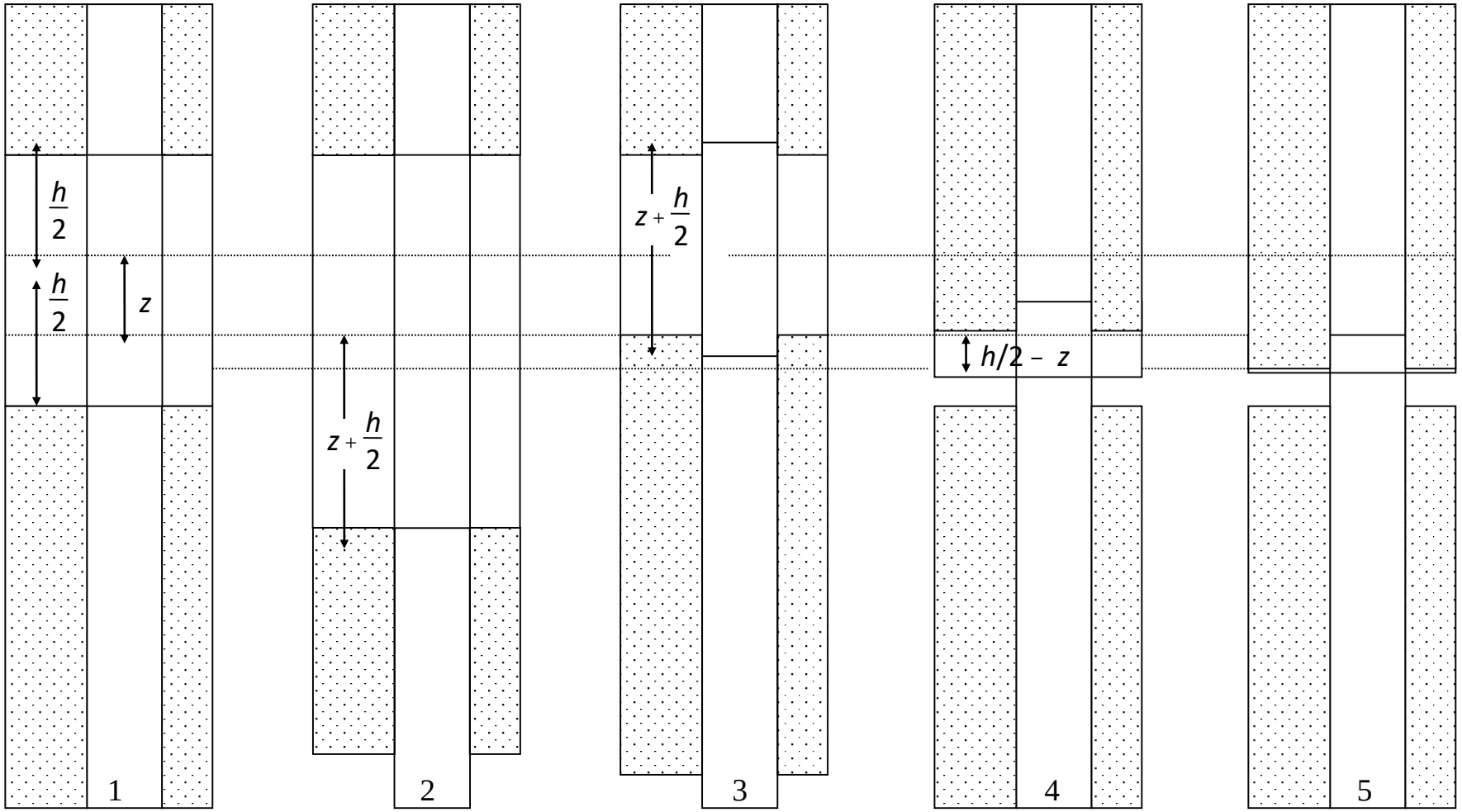


Рис. 3. Пояснение к выводу формулы (7) для случая $z \le h/2$ (гамма-поле внутри активного пласта).

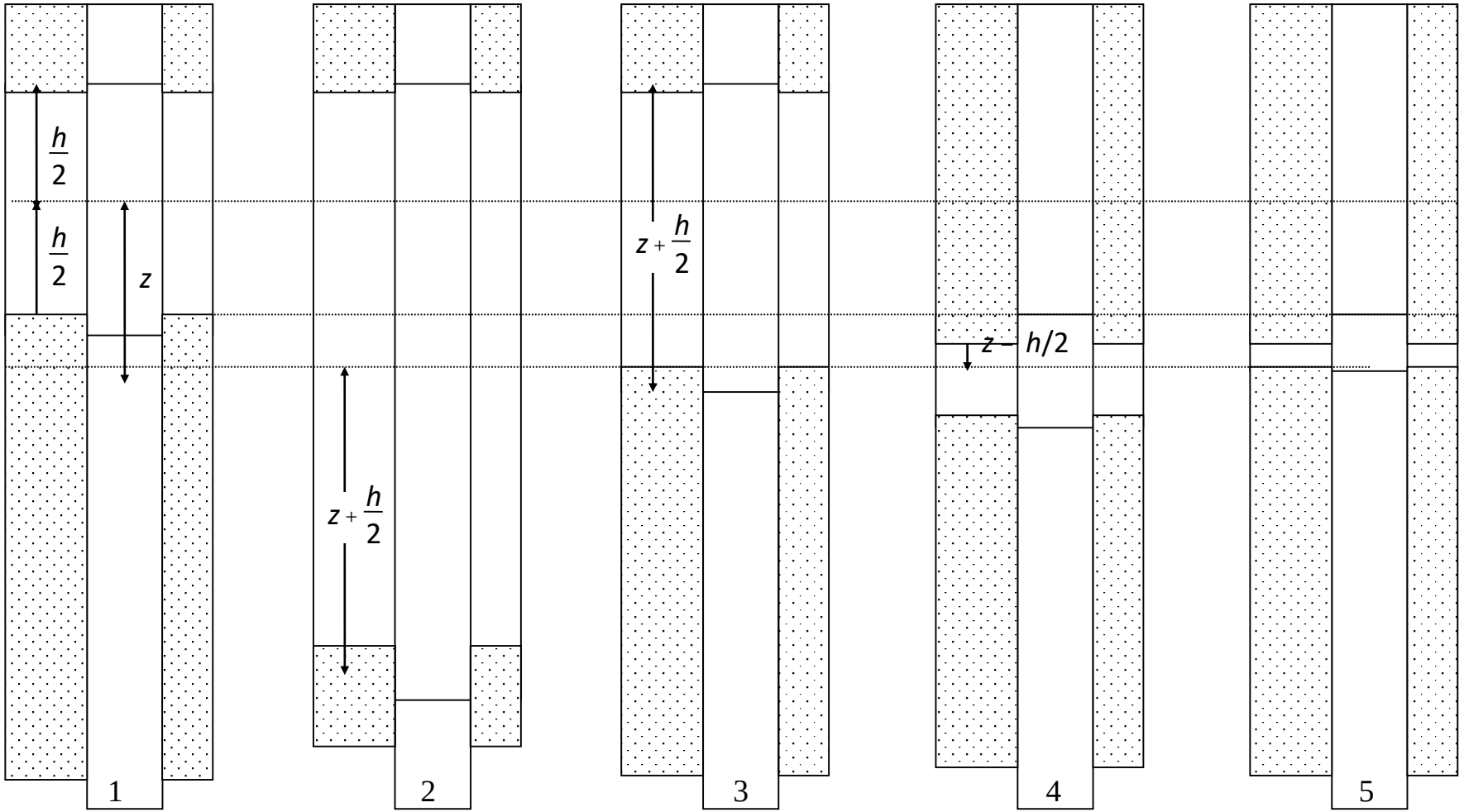


Рис. 4. Пояснение к выводу формулы (7) для случая $z \geq h/2$ (гамма-поле вне активного пласта).

При таком расположении детектора интенсивность излучения в месте его нахождения (т.е. в центре «фиктивного пласта») может быть определена по кривым насыщения и равна:

$$J_{\text{ф}1}(z,h) = J_{\infty} f\left[2(z + h/2)\right]. \quad (8)$$

В силу симметрии расположения детектора относительно границ пласта можно считать, что значение

$$J_1(z,h) = \frac{J_{\infty}}{2} f\left[2(z + h/2)\right]. \quad (9)$$

характеризует интенсивность излучения любой половины данного пласта.

Примем, что выражение (9) характеризует интенсивность излучения от верхней половины пласта, как это показано на разрезе «3».

На разрезе «4» приведен второй «фиктивный» пласт, мощность которого составляет 2(*h*/2-*z*) с расположением детектора также в центре данного пласта. По кривым насыщения для такого случая также можно определить значение интенсивности излучения

$$J_{\text{ф}2}(z,h) = J_{\infty} f\left[2(h/2 - z)\right]. \quad (10)$$

и значение интенсивности излучения от нижней половины пласта, как это показано на разрезе «5»:

$$J_2(z,h) = \frac{J_{\infty}}{2} f\left[2(h/2 - z)\right]. \quad (11)$$

Нетрудно убедиться, что геометрическое совмещение разрезов «3» и «5» приводит к исходному разрезу «1», откуда следует:

$$J(z,h) = J_1(z,h) + J_2(z,h) = \frac{J_{\infty}}{2}\left[f(2z + h) + f(h - 2z)\right]. \quad (12)$$

Подстановка значений J_1 и J_2 в выражение (12) приводит к расчетной формуле интенсивности излучения в точке *z* от центра пласта мощностью *h* при расположении точки *z* в пределах активного пласта (формула 7).

Аналогичным построением (рис. 4.) может быть получена другая часть формулы (7) - расчет интенсивности излучения при расположении детектора во вмещающей среде (точка *z* расположена за границами активного пласта).

4. РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Для расчета интенсивности гамма-излучения на номограмме функции насыщения (рис. 1) выделяют кривую по заданным для расчета значениям плотности горных пород ρ и диаметра скважины $2r_o$.

С использованием выбранной кривой насыщения заполняют нижеприведенную таблицу расчета:

Плотность пород _____ г/см^3
Диаметр скважины _____ мм
Мощность пласта _____ см

z, см	$H_1 = 2z+h$	$H_2 = 2z-h$	$f(H_1)$	$f(H_2)$	$f(z,h)$	z'	Прим.
1	2	3	4	5	6	7	8
0							
1Δz							
2Δz							
…							

Числовые значения в 3-й колонке записываются по модулю с отметкой в примечании места расположения точки расчета ($z > h/2$, $z < h/2$). Функция $f(z,h)$ представляет собой интенсивность гамма-поля в относительных единицах J_∞ и рассчитывается как $f(z,h)= 0.5[f(H_1) + f(H_2)]$ при $z < h/2$ и $f(z,h)= 0.5[f(H_1) - f(H_2)]$ при $z > h/2$. Интервал Δz при расчете должен обеспечивать четкую «прорисовку» кривой интенсивности излучения. Для пластов малой мощности (20 см и менее) значение интервала Δz равно 2 см, для пластов, мощность которых превышает 20 см, значение интервала Δz принимается равным 3 см. Расчет продолжается до значений $J(z,h) < 0.03\ J_{max}$. По данным расчета на миллиметровке строится распределение гамма-поля (симметричное относительно центра пласта). Точки расчета на кривой четко выделяются.

Если угол встречи скважины с пластом не равен 90°, то это приводит к увеличению «кажущейся» мощности пласта и расширению аномалии по оси глубин. Как видно из рисунка 5, интенсивности гамма-излучения в точках «*а*» и «*б*» (или в точках «*с*» и «*д*») должны быть равны, т.к. эти точки
расположены на одинаковом расстоянии от цента пласта. Однако координа-

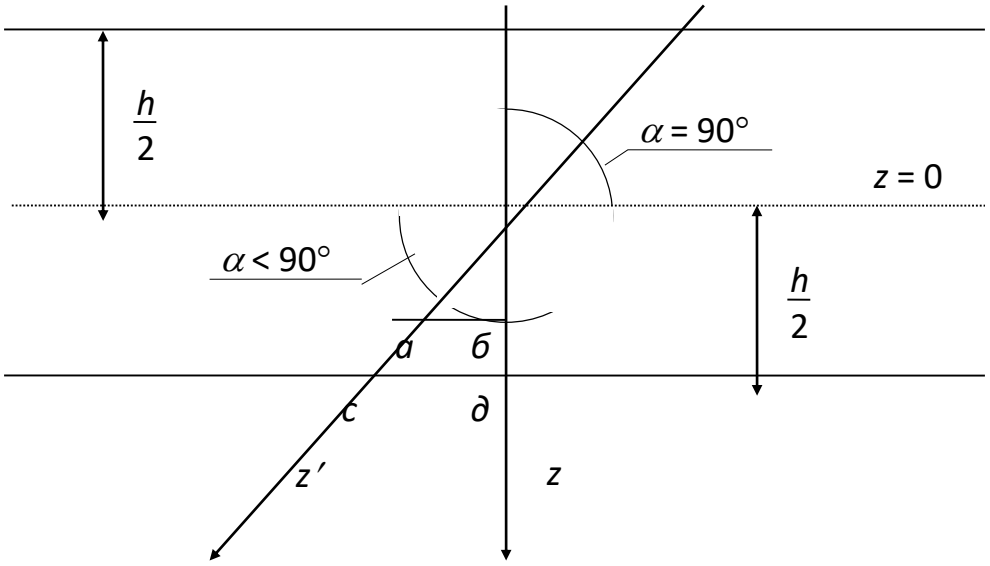


Рис. 5. Пояснение к формуле учета угла встречи пласта скважиной.

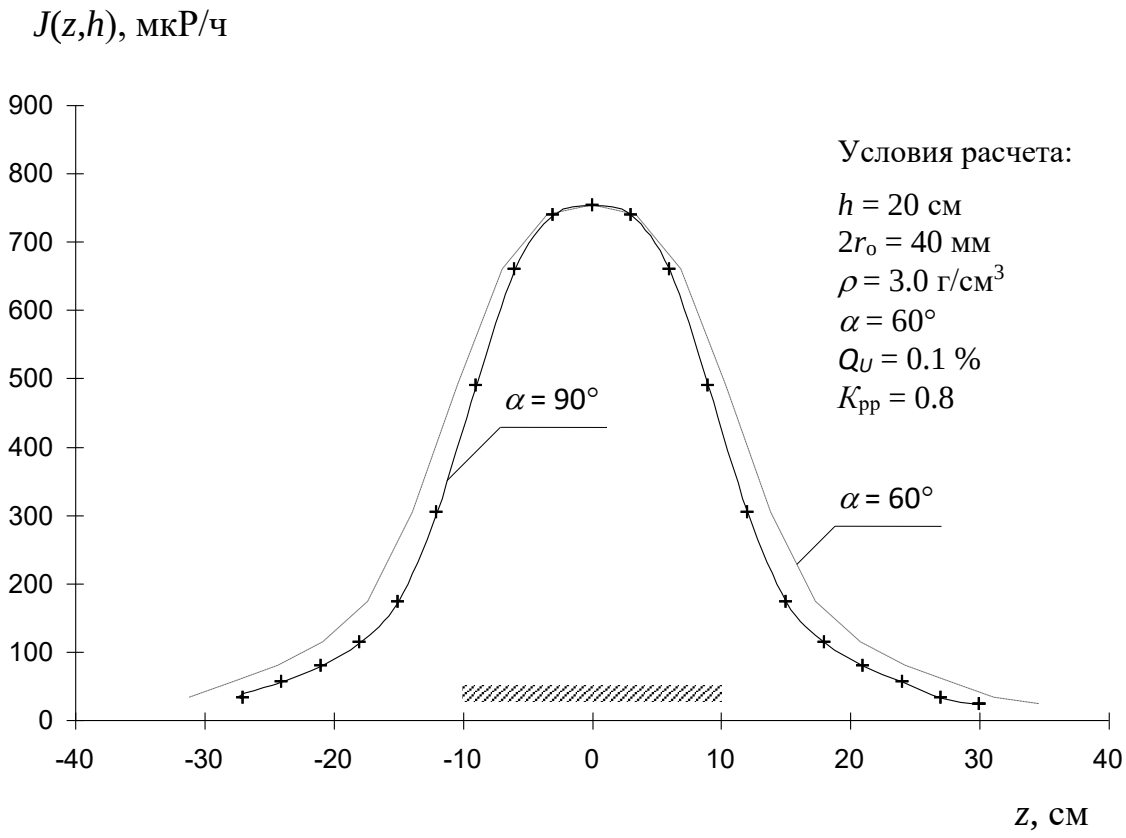


Рис. 6. Пример построения графика интенсивного гамма-поля над радиоактивным пластом по оси скважины.

ты этих точек относительно центра пласта отличаются, причем

$$z' = z/\sin\alpha\,. \qquad (13)$$

Перерасчет кривой интенсивности гамма-излучения при угле встречи пласта 90° в кривую интенсивности излучения для любого другого угла встречи заключается в определении новых координат расчетных точек интенсивности излучения (7-я колонка таблицы).

После расчета координат z' значения $f(z)$ будут соответствовать также значениям $f(z')$, которые наносятся на первый график. Кривая $f(z')$ строится на рисунке пунктиром или выделяется другим цветом.

Для определения истинных значений интенсивности гамма-излучения в мкР/ч необходимо определить значение J_∞ (интенсивность излучения внутри бесконечной излучающей среды), которое находится по формуле:

$$J_\infty = 4\pi K_\gamma Q_{Ra} / \bar{\mu}\,, \qquad (14)$$

где: K_γ - гамма постоянная радия, равная $9.1\cdot10^9$ (мкР/ч)·(см^2/г); Q_{Ra} - содержание радия в г/г породы (относительная доля).

$$Q_{Ra} = 3.4\cdot10^{-9} K_{pp} Q_U\,. \qquad (15)$$

Значение Q_U в формуле (15) выражено в %.

После вычисления J_∞ на график наносится масштаб оси интенсивности излучения в мкР/ч (путем умножения значений интенсивности излучения в относительных единицах на значение J_∞). Пример оформления графика приведен на рисунке 6.

Примечание:

Расчет с использованием кривых насыщения и при значении массового эффективного коэффициента ослабления гамма-излучения $\bar{\mu}$ = 0.033 см^2/г наиболее точно соответствует практическим измерениям с детекторами гамма-излучения, малочувствительными к низкоэнергетической части спектра естественного гамма-излучения (газоразрядные счетчики и сцинтилляционные счетчики в свинцовых экранах), т.е. с «эффективными» интегральными энергетическими порогами регистрации порядка 250-300 кэВ (вариант гамма-каротажа при количественном определении содержания радиоактивных элементов - ГК$_к$).

Для варианта ГК$_к$ при практических расчетах может также использоваться формула:

$$J_\infty = 100 K_o K_{pp} Q_U\,, \qquad (16)$$

где: K_o - пересчетный коэффициент для бесконечной излучающей среды в мкР/ч на 0.01 % содержания урана, Q_U - содержание урана в %, K_{pp} - коэффициент радиоактивного равновесия. Значение пересчетного коэффициента K_o хорошо известно [1,2] и для сцинтилляционных счетчиков в свинцовом экране толщиной

1.2-1.5 мм в среднем равно 115 мкР/ч на 0.01 % содержания урана. Точные значения K_o для различных типов счетчиков, экранов и энергетических порогах регистрации приведены в работах [3,4].

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова физическая сущность кривых насыщения ?
2. Как зависит кривая насыщения от плотности горных пород ?
3. Как зависит кривая насыщения от диаметра скважины ?
4. Выведите расчетную формулу интенсивности гамма-излучения при расположении детектора в пределах активного пласта.
5. Выведите расчетную формулу интенсивности гамма-излучения при расположении детектора за пределами активного пласта.
6. Какова методика расчета интенсивности гамма-излучения по оси скважины с использованием кривых насыщения ?
7. Как учитывается угол встречи пласта скважиной при расчете интенсивности гамма-излучения ?
8. Формулы интенсивности γ-излучения в бесконечной среде.
9. Что отражает значение коэффициента K_o ?
10. Как влияет на величину интенсивности гамма-излучения значение коэффициента K_{pp} при прочих равных условиях, в том числе по содержанию в горной породе урана ?

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткое изложение физических основ метода расчета.
2. Индивидуальное задание по расчету.
3. Расчетная таблица.
4. Графики расчетных кривых.

Примечание:

Требования к форме отчета приведены в приложении к настоящему учебно-методическому пособию.

РАБОТА № 2

РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ РАДИОАКТИВНОГО ПЛАСТА В ДИФФУЗИОННОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

1. ЗАДАНИЕ

1. Рассчитать параметры переноса естественного гамма-излучения горных пород.

2. Рассчитать интенсивность гамма-излучения от активного пласта по оси скважины в одногрупповом диффузионном приближении.

3. Повторить расчет для тех же условий в двухгрупповом диффузионном приближении.

4. Общие условия расчета: содержание урана в пласте Q_U - 0.01 %, коэффициент радиоактивного равновесия $K_{рр} = 0.8$, радиус скважинного прибора $R = 36$ мм. Угол встречи пласта $\alpha = 90°$.

5. Варианты расчета: При выполнении данной работы сохраняются варианты расчета, установленные для работы № 1, и дополнительно вводится параметр эффективного атомного номера горных пород $Z_{эф}$, условно коррелированный с заданным значением плотности пород в соответствии с таблицей:

Плотность ρ, г/см^3	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
$Z_{эф}$	12	14	16	18	20

Материалы, оборудование:

1. Калькулятор или ЭВМ.

2. Миллиметровка, карандаш, резинка.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с теоретическими основами расчета по настоящей инструкции.

2. Рассчитать параметры переноса гамма-излучения в одно- и двухгрупповом приближении. Проверить расчеты у преподавателя.

3. Рассчитать интенсивность гамма-излучения в одно- и двухгрупповом приближении (в относительных единицах).

4. Построить расчетные кривые на миллиметровке в масштабах: горизонтальный (ось глубин z) - в 1 см: 5 см, вертикальной (ось интенсивности излучения

J) - в 1 см: 0.05 J_∞ (относительных единиц интенсивности излучения бесконечной активной среды).

5. Рассчитать величину J_∞ и нанести на график масштаб оси интенсивности гамма-излучения в мкР/ч.

3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА РАСЧЕТА

В режиме интегральных измерений чувствительность сцинтилляционных детекторов гамма-излучения зависит от энергетического спектра регистрируемого излучения. Спектрально-энергетический состав естественного гамма-излучения имеет сложное распределение и в низкоэнергетической части (до 200-250 кэВ) определяется эффективным атомным номером $Z_{эф}$ излучающе-поглощающей среды [3,4].

Схематический вид спектра естественного гамма-излучения в низкоэнергетической части в зависимости от эффективного атомного номера сред приведен на рисунке 1.

Зависимость спектрального распределения от эффективного атомного номера пород определяет соответствующую зависимость скорости счета гамма-квантов, детектируемых с интегральным низкоэнергетическим порогом регистрации, от $Z_{эф}$ горных пород, вид которой приведен на рисунке 2.

При количественном определении содержания радиоактивных элементов зависимость регистрируемой интенсивности излучения от $Z_{эф}$ (при его неизвестном значении) вносит неопределенность в решение обратной задачи ГК и приводит к погрешности определения содержания урана. Для исключения данного фактора гамма-каротаж при количественном определении содержания радиоактивных элементов проводится с порогом регистрации выше 200 кэВ, либо со свинцовым экраном на детекторе, поглощающем низкоэнергетическую часть гамма-излучения и стабилизирующем пересчетный коэффициент [2,3].

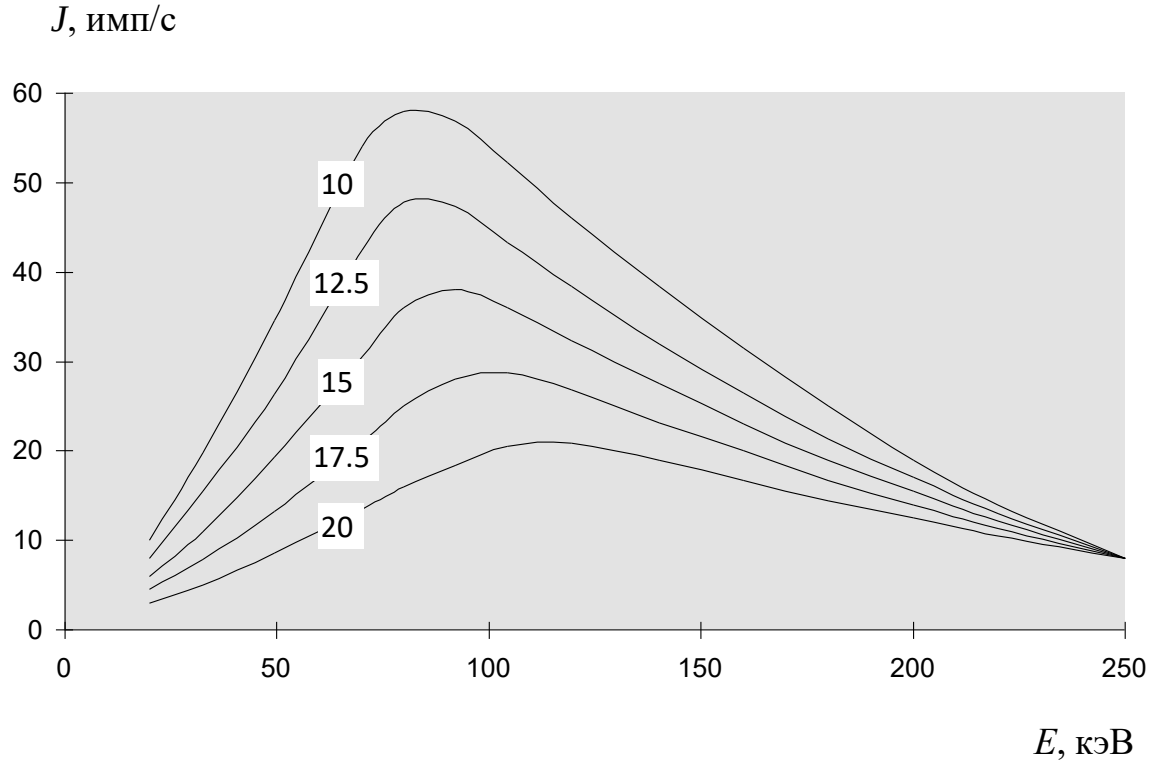


Рис. 1. Дифференциальные спектры естественного гамма-излучения в низкоэнергетической области. Шифр кривых - $Z_{эф}$.

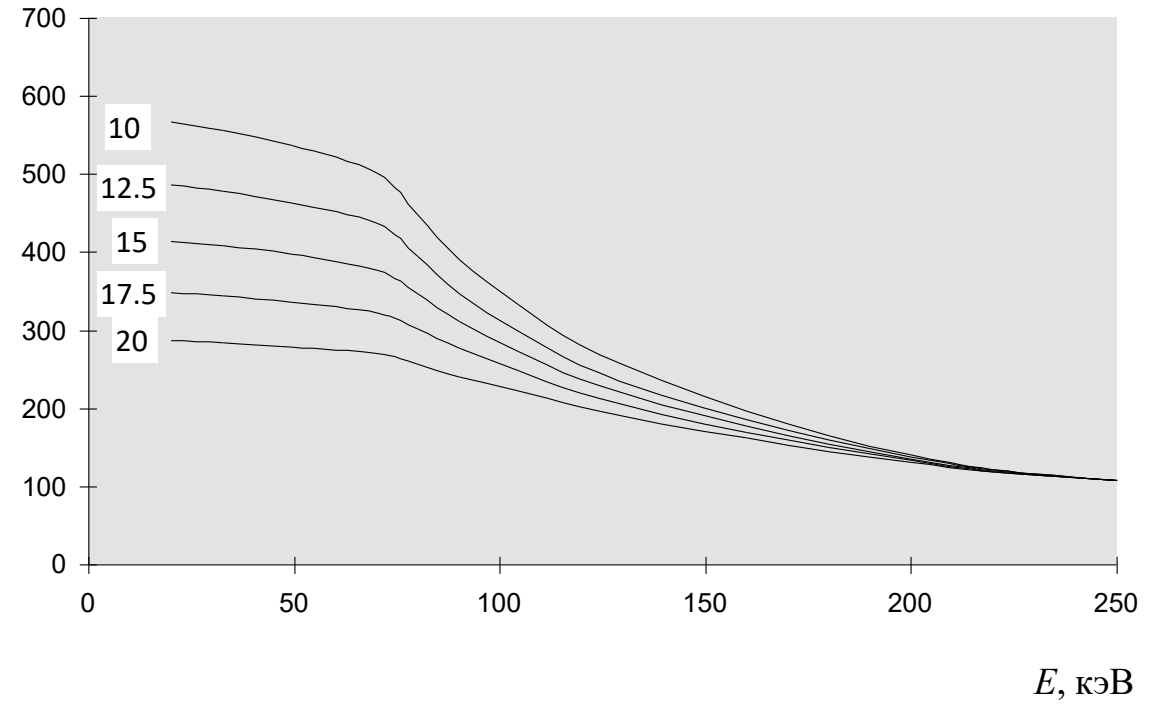


Рис. 2. Интегральные спектры естественного гамма-излучения в низкоэнергетической области. Шифр кривых - $Z_{эф}$.

При проведении гамма-каротажа в целях литологического расчленения горных пород энергетический порог регистрации гамма-излучения устанавливается равным 20-40 кэВ, что в 2-3 раза повышает чувствительность детектора и возможности качественной дифференциации разреза по значению интенсивности естественного гамма-излучения. Данный вариант ГК получил название литологического гамма-каротажа ($ГК_л$).

Регистрация гамма-излучения с низкоэнергетическим порогом при $ГК_л$ отличается от регистрации гамма-квантов при $ГК_к$ также тем обстоятельством, что большая часть регистрируемых гамма-квантов (до 80-90 % в зависимости от типа и размера детектора) относится к числу низкоэнергетических, многократно рассеянных, процесс распространения которых в поглощающей среде значительно отличается от процесса распространения первичных нерассеянных гамма-квантов. Строго корректное решение прямой задачи спектрального энергетическо-пространственно-углового распределения гамма-излучения в излучающе-поглощающей среде довольно сложно [5]. Последнее предопределило распространение приближенных методов расчета гамма-полей, из которых по относительной простоте математического аппарата при достаточной точности для решения задач радиометрии и ядерной геофизики следует выделить диффузионное приближение [6].

Решение системы уравнений диффузии гамма-квантов для пласта конечной мощности h с равномерной концентрацией радиоактивных элементов в пределах пласта имеет следующий вид:

$$J(r_0, z, h) = J_\infty \varphi(r_0) f(z, h), \tag{1}$$

где: $\varphi(r_o)$ - функция влияния скважины, заполненной буровым раствором; $f(z,h)$ - функция влияния радиоактивного пласта.

$$f(z,h) = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\dfrac{h}{2L}\right) \operatorname{ch} \dfrac{z}{L}, & z \le h/2 \\ \exp\left(-\dfrac{z}{L}\right) \operatorname{sh} \dfrac{h}{2L}, & z \ge h/2 \end{cases} \tag{2}$$

где: L - длина диффузии гамма-квантов в горной породе,

$$\varphi(r_0) = \exp\left(-\frac{r_0 - R}{L_c}\right), \tag{3}$$

где: L_c - длина диффузии гамма-квантов в буровом растворе;

R - радиус скважинного прибора.

Под длиной диффузии естественного гамма-излучения следует понимать *среднюю длину переноса* (по выбранному направлению в пространстве) гамма-излучения с замедлением от некоторой начальной энергии $E_о$, спектральное распределение которой определяется первичными источниками излучения, до энергии $E_п$, с которой происходит фотопоглощение гамма-квантов.

Наиболее вероятное значение конечной энергии $E_п$ замедления соответствует энергии максимума многократно рассеянного излучения. Энергия максимума может быть определена по эмпирической формуле:

$$E_п = 3(16 + Z_{эф}), \text{ кэВ.} \quad (4)$$

В качестве начальной энергии $E_о$ для естественного гамма-излучения должно приниматься значение средней энергии первичных гамма-квантов, которое равно 0.86 МэВ [4]. При известных значениях энергий $E_о$ и $E_п$ расчет эффективной длины переноса гамма-квантов может быть произведен по формуле:

$$\rho\bar{L} = \rho\bar{l} \Big/ \sqrt{3(\lambda - \lambda_о)}, \quad (5)$$

где: $\lambda_о$ и λ - начальная и конечная длины волн гамма-квантов в комптоновских единицах $\lambda = m_e c^2/E = 511/E$ (E - в кэВ), $\rho\bar{l}$ - средняя массовая длина пробега гамма-квантов в веществе.

Значение $\rho\bar{l}$ может быть рассчитано теоретически, либо определено экспериментально через массовый коэффициент поглощения гамма-излучения для данного энергетического порога измерений:

$$\rho\bar{l} = 1/\bar{\mu}_i . \quad (6)$$

Зависимость значений $\rho\bar{L}$ от $Z_{эф}$ для детекторов йодистого натрия в оболочке скважинных приборов типа «АЛМАЗ» [7], полученная экспериментально, приведена на рисунке 3. Показанную на рис. 3 функцию, можно

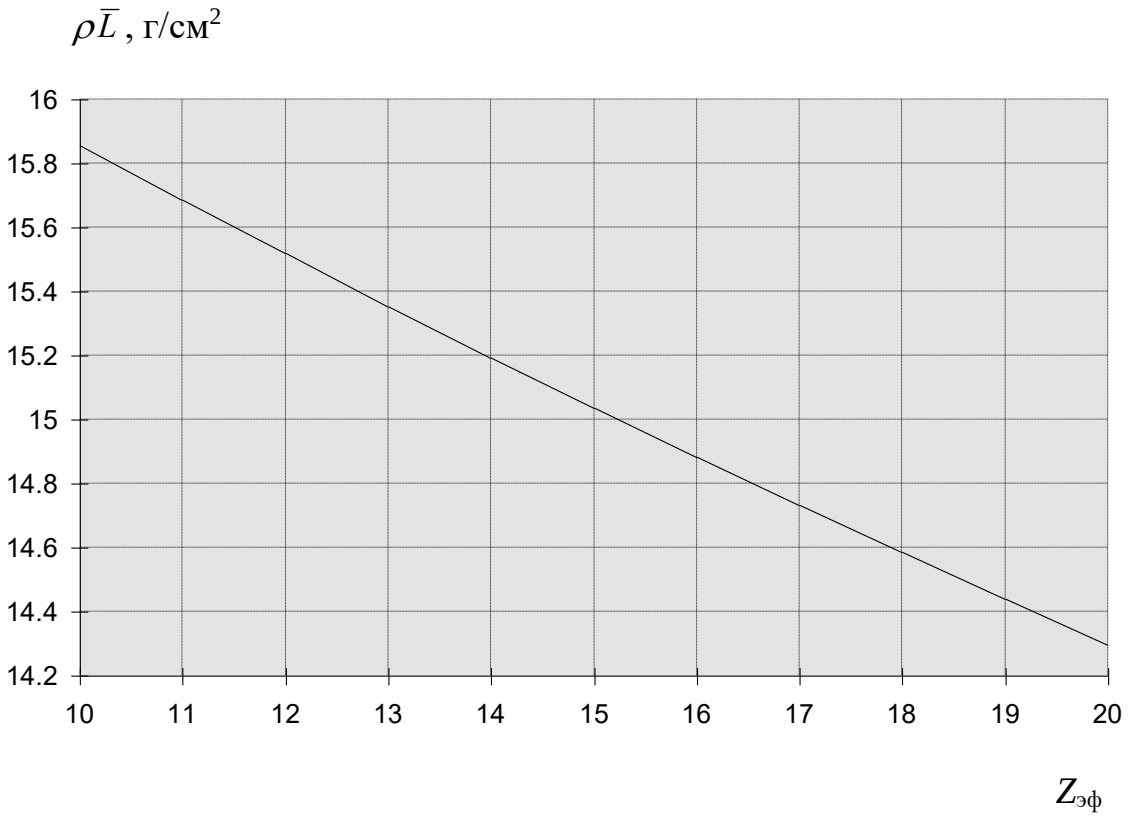


Рис. 3. Зависимость эффективной массовой длины диффузии естественного гамма-излучения от $Z_{эф}$.

аппроксимировать эмпирической формулой:

$$\bar{L} = \left[\bar{\mu}_0 \rho \left(K_c + \frac{Z_{эф}}{Z_0} \right) \right]^{-1} \qquad (7)$$

где: $\bar{\mu}_0 = 0.033$ см^2/г, Z_0 - постоянная скважинного прибора, равная для установки «АЛМАЗ» $Z_0 = 48$ (2.5 мм *Fe*, 1 мм *Al*), K_c - коэффициент детектора: $K_c = 1.55 + 0.02V$, V - объем детектора в см^3. Формула (7) позволяет производить непосредственный расчет значений $\bar{L}$ при известной величине ρ и $Z_{эф}$.

В реальных условиях сухой скважины происходит увеличение $\bar{L}$ за счет увеличения длины пробега квантов в объеме скважины, что может быть учтено введением понятия «кажущейся» длины диффузии:

$\bar{L}_k = \bar{L} + 0.64 r_0$, где $\bar{L}$ и r_0 - в см. (8)

Значение $\bar{L}_k$ *используется при расчетах в формуле* (2).

Величина $\rho\bar{l}$ отражает значение средней длины переноса гамма-излучения в бесконечной изотропной среде, насыщенной по рассеянному гамма-излучению. В условиях отсутствия насыщения, т.е. для пластов конечной мощности и

области границ излучающих пластов и вмещающей среды, происходит изменение спектрального распределения общего потока гамма-квантов, которое может быть учтено разделением общего потока гамма-квантов на i групп со средней длиной переноса в группе таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$\sum_{i=1}^{n} K_i L_i = \bar{L}_{\text{k}} \tag{9}$$

где K_i - относительная доля гамма-квантов в i-й группе. Для практических целей достаточно разделение общего потока гамма-квантов на две группы (n = 2 - двухгрупповое приближение), при этом:

$$f(z,h) = \begin{cases} 1 - \sum_{i=1}^{2} K_i \exp\left(-\dfrac{h}{2L_i}\right) \text{ch}\dfrac{z}{L_i}, & z \le h/2 \\ \sum_{i=1}^{2} K_i \exp\left(-\dfrac{z}{L_i}\right) \text{sh}\dfrac{h}{2L_i}, & z \ge h/2 \end{cases} \tag{10}$$

где: $K_1 = 0.75$, $K_2 = 0.25$; $L_1 = 1.2\bar{L}_{\text{k}}$, $L_2 = 0.4\bar{L}_{\text{k}}$. Нетрудно убедиться, что при указанных условиях группировки условие (9) выполняется.

Границы применимости двухгруппового диффузионного приближения достаточно широки и распространяются на область фотопоглощения и комптоновского рассеяния при регистрации гамма-излучения с энергетическим порогом от 20 до 300-400 кэВ.

При расчете значений длины диффузии для порогов регистрации, расположенных выше энергии максимума рассеянного гамма-излучения, конечная энергия замедления принимается равной значению порога регистрации, а начальная энергия должна рассчитываться на среднюю энергию первичного гамма-излучения с нижней границей, также равной значению порога регистрации. Так, при пороге регистрации 200-300 кэВ значение E_{o} равно 950-1000 кэВ, при этом:

$$\bar{L} = 1/(2.15\bar{\mu}\rho). \tag{11}$$

Функция влияния скважины $\varphi(r_{\text{o}})$ является поправкой на поглощение гамма-излучения в буровом растворе и может вводиться по типовой методике [2]. Значение L_c зависит от спектрального распределения гамма-излучения при его выходе в буровой раствор и поглощающих характеристик самого раствора, и в первом приближении может определяться по следующей эмпирической зависимости:

$$\rho_c \bar{L}_c \cong 3(24 - \rho L). \tag{12}$$

Значение массового эффективного коэффициента поглощения гамма-излучения при измерениях с низкоэнергетическим порогом регистрации может быть определено по двум сопряженным двух пороговым измерениям при известном $\bar{\mu}_o$ для одного из порогов регистрации:

$$\bar{\mu}_i = \bar{\mu}_o \frac{n_o}{n} \frac{\eta}{\eta_o}, \qquad (13)$$

где: n - скорость счета импульсов (аппаратурный параметр) для породы с эффективным атомным номером $Z_{эф}$ и плотностью ρ, η - чувствительность детектора к излучению точечного радиевого эталона в имп/с на мкР/ч с порогом регистрации E; n_o, η_o - аналогичные параметры с порогом регистрации, для которого известна величина $\bar{\mu}_o$. В качестве второго порога регистрации целесообразно использовать порог 200-300 кэВ, для которого величина $\bar{\mu}_o$ хорошо известна и равна 0.033 см^2/г.

Методика расчета $\bar{\mu}_i$ может применяться при измерениях непосредственно в условиях скважины. Учитывая, что отношение n_i/η_i равно $K_i Q_U$, выражение (13) может также использоваться в следующем виде:

$$\bar{\mu}_i = \bar{\mu}_o K_o / K_i\left(Z_{эф}, E\right), \qquad (14)$$

где: K_o - пересчетный коэффициент при пороге регистрации 250 кэВ, $K_i(Z_{эф},E)$ - пересчетный коэффициент при пороге $E = E_п$ для породы с эффективным атомным номером $Z_{эф}$.

Графики значений $K_i(Z_{эф},E_п)$ для скважинного прибора типа АЛМАЗ с детектором 18 х 30 мм приведены на рис. 4.

Определив $\bar{\mu}_i$ из выражения (14) можно рассчитать значение $\bar{l}$ по формуле (6) и вычислить значение $\bar{L}$ по формуле (5).

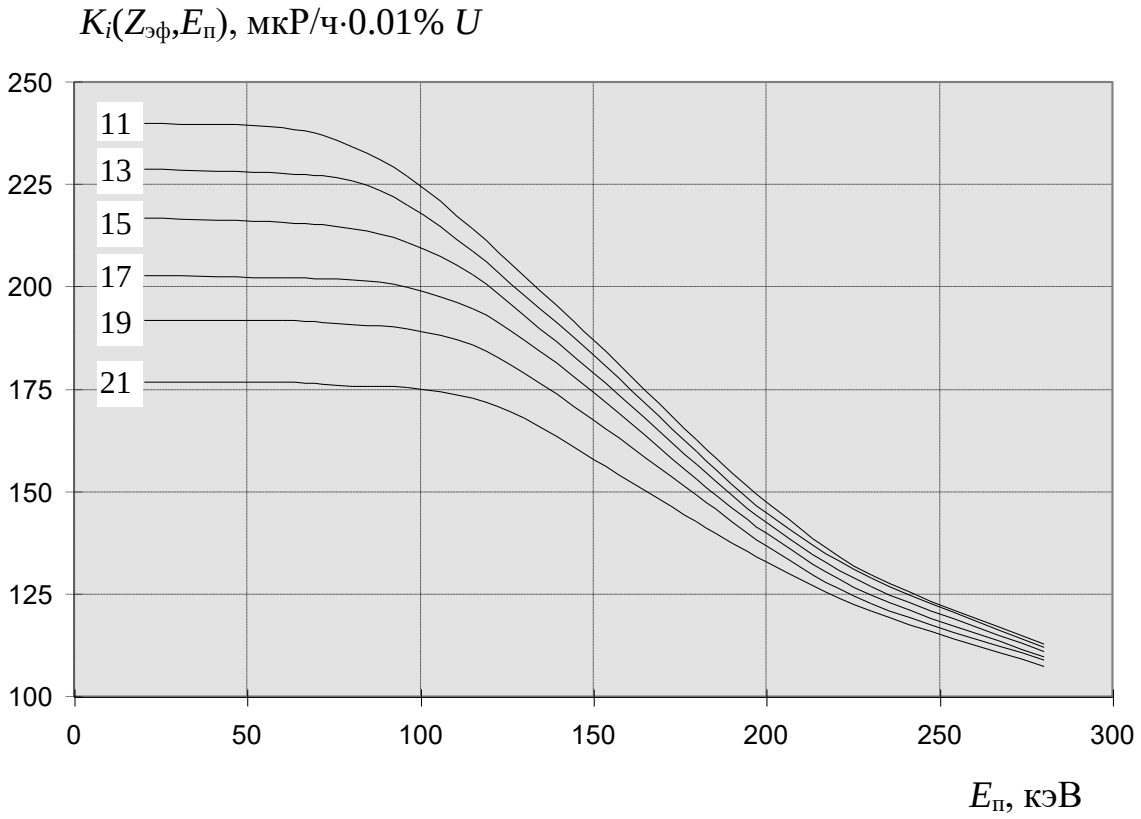


Рис. 4. Зависимость пересчетного коэффициента K_i от энергетического порога регистрации $E_п$. Шифр кривых - $Z_{эф}$.

Примечание. С помощью теории диффузионного переноса гамма-излучения *для сухих скважин малого диаметра* можно вычислить функцию насыщения радиоактивного пласта в двухгрупповом приближении по следующей формуле:

$$f(h) = 1 - \sum_{i=1}^{2} K_i \exp\left(-\frac{h}{2L_i}\right), \qquad (15)$$

где: коэффициенты K_1, K_2, величины L_1 и L_2 те же, что и в формуле (10).

Подстановка указанных значений в выражение (15) приводит к расчетной формуле

$$f(h) = 1 - 0.75\exp\left(-\frac{h}{2L_1}\right) - 0.25\exp\left(-\frac{h}{2L_2}\right). \qquad (16)$$

Полученные таким способом величины $f(h)$ можно использовать для вычисления интенсивности гамма-излучения от радиоактивного пласта по формуле (2) работы № 1.

4. ПОРЯДОК РАСЧЕТОВ

1. Используя графики на рис. 4 по формуле (14) рассчитать значение $\overline{\mu}_i$ для порога регистрации 50 кэВ.

2. По формуле (6) и заданному значению ρ рассчитать значение $\bar{l}$.

3. По формуле (5) рассчитать значение $\overline{L}$. Для расчета значения λ по величине E использовать формулу (4). Сравнить рассчитанное значение $\overline{L}$ с графиком на рисунке 3.

4. Рассчитать значение $\overline{L}_{\text{k}}$ по формуле (8).

5. Рассчитать значения L_1 и L_2 по условиям группировки к формуле (10). Проверить выполнение условия (9).

6. Расчет гамма-поля проводится на калькуляторе или ЭВМ (см. приложение 2 и 3) сначала по формуле (2), затем по формуле (10). Рассчитанные значения наносятся на миллиметровку.

7. Значение шага Δz при расчете выбирается в зависимости от мощности пласта. Рекомендуемые значения Δz для пластов, мощностью менее 10 см - 2 см, при мощности пласта 10-30 см шаг Δz должен составлять 3 см, при мощности свыше 30 см значение шага допускается равным 5 см со сгущением точек расчета до 2-3 см в области резких изменений расчетной кривой (в области границы пласта).

8. Расчет значений L_c и $\varphi(r_{\text{o}})$ проводятся по формулам (3) и (12).

9. Рассчитать значение J_∞ по формулам (14-15) или (16) работы № 1. Находится значение произведения $J_\infty\varphi(r_{\text{o}})$ и на график интенсивности гамма-излучения наносится масштаб оси.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы основные отличия методов $\text{ГК}_{\text{к}}$ и $\text{ГК}_{\text{л}}$?

2. Перечислите основные особенности спектрально-энергетического распределения многократно рассеянного гамма-излучения в горной породе.

3. Что такое длина диффузии гамма-квантов в горной породе ?

4. Как производится учет влияния скважины ?

5. Как вычисляются параметры переноса гамма-излучения ?

6. С какой целью проводят сопряженные двухпороговые измерения ?

7. Условия применимости теории диффузионного переноса γ-квантов.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткие основы метода расчета.

2. Расчет параметров переноса гамма-излучения.

3. Таблица расчета функции влияния пласта в одногрупповом и двухгрупповом приближении.

4. Расчет функции влияния скважины с буровым раствором.

5. Расчет J_∞.

6. Графики интенсивности гамма-излучения по оси скважины в одно- и двухгрупповом приближении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка: Учебник для вузов. - Л.: Недра, 1989. - 407 с.

2. Инструкция по гамма-каротажу при поисках и разведке урановых месторождений / И.М. Хайкович, Л.В. Зернов, Э.Ф. Уваров, А.С. Серов, А.К. Овчинников и др. - М.: МГ СССР, 1987. - 115 с.

3. Хайкович И.М., Шашкин В.Л. Опробование радиоактивных руд по гамма-излучению. Теория и методика. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 160 с.

4. Пруткина М.И., Шашкин В.Л. Справочник по радиометрической разведке и радиометрическому анализу. -М.: Энергоатомиздат, 1984. -168 с.

5. Коган Р.М., Назаров И.М., Фридман М.Д. Основы гамма-спектрометрии природных сред. - М.: Атомиздат, 1976. - 366 с.

6. Мейер В.А., Ваганов П.А. Основы ядерной геофизики. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. - 408 с.

7. Универсальные скважинные приборы типа АЛМАЗ: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - Махачкала, МПЗ, 1977. - 18 с.

8. Ларионов В.В. Радиометрия скважин. - М.: Недра, 1969. - 328 с.

9. Ларионов В.В., Резванов Р.А. Ядерная геофизика и радиометрическая разведка. - М.: Недра, 1988. - 325 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТАМ

1. Отчеты по лабораторным и практическим работам выполняются *на отдельных листах* каждым студентом *индивидуально*.

2. Оглавление отчета должно содержать порядковый номер работы, ее полное название и дату выполнения.

3. Непосредственно за оглавлением, под заголовком «Аппаратура и оборудование» должны перечисляться все приборы, оборудование и эталоны, примененные для измерений, с указанием их номеров.

4. Содержание отчета должно соответствовать требованию инструкции по работе (раздел «содержание работы») и выполняться с полями по краям листа шириной 3 см для замечаний и вопросов преподавателя. Рисунки вычерчиваются карандашом или шариковой ручкой с полями от текста по 3 см сверху и снизу, обязательно подписываются и нумеруются по порядку в пределах одной работы. Для разделения отдельных элементов рисунка рекомендуется использовать цветную пасту или фломастеры.

5. В отчете приводятся результаты всех измерений, все расчетные формулы и результаты расчетов по дынным формулам в виде таблиц заданной (если это оговорено заранее) или произвольной формы. Исходные данные для расчетов и конечные результаты выделяются расширенными полями и подчеркиваются (заключаются в рамки).

6. Графики, выполняемые по результатам расчетов, строятся на миллиметровке и вклеиваются в текст отчета. Графики сопоставления (теория-эксперимент) и параметрические зависимости выполняются разным цветом. Кривые на графиках нумеруются, а параметры кривых приводятся отдельным текстом (таблицей) или расшифровываются на свободном поле графика (внизу графика). Экспериментальные измерения и построенные по ним графики обязательно выделяются.

7. Отчет завершается выводами по работе. После каждого отчета оставляются чистыми не менее половины страницы для замечаний преподавателя и ответа на вопросы.

8. Каждый новый отчет начинается с новой страницы.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2

ПРОГРАММА РАСЧЕТА НА ЯЗЫКЕ *BASIC*

```
CLS
INPUT "H = ", H: INPUT "Lk = ", Lk: INPUT "dZ = ", dZ
CLS : K1 = 0.75: K2 = 0.25
L1 = 1.2 * Lk: L2 = 0.4 * Lk
OPEN "F.ZH" FOR OUTPUT AS #1
FOR Z = 0 TO 100 STEP dZ
   IF Z <= H / 2 THEN
      F1 = 1 - EXP(-H/(2*Lk))*(EXP(Z/Lk) + EXP(-Z/Lk))/2
      F2 = 1 - K1*EXP(-H/(2*L1))*(EXP(Z/L1) + EXP(-Z/L1))/2
      F2 = F2 - K2*EXP(-H/(2*L2))*(EXP(Z/L2) + EXP(-Z/L2))/2
   ELSE
      F1 = EXP(-Z/Lk)*(EXP(H/(2*Lk)) - EXP(-H/(2*Lk)))/2
      F2 = K1*EXP(-Z/L1)*(EXP(H/(2 * L1)) - EXP(-H/(2*L1)))/2
      F2 = F2 + K2*EXP(-Z/L2)*(EXP(H/(2*L2)) - EXP(-H/(2*L2)))/2
   END IF
   PRINT #1, "F1("; Z; ") = ";
   PRINT #1, USING "##.####"; F1;
   PRINT #1, "   F2("; Z; ") = ";
   PRINT #1, USING "##.####"; F2
NEXT Z
CLOSE #1
END
```

ПРИМЕЧАНИЕ: Массив расчетных значений функции влияния радиоактивного пласта $f(z,h)$ в одногрупповом (F1) и двухгрупповом приближении (F2) после завершения работы программы находится в текстовом файле «f.zh». Величины H (мощность пласта h), Lk ($\bar{L}_k$) и шаг расчета гамма-поля dZ (Δz) задаются в см.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 3

РАСЧЕТ В СРЕДЕ *MICROSOFT EXCEL*

1. Выбрать новый рабочий лист.

2. Заполнить столбец А (начиная с 1-й ячейки) координатами точек по оси скважины *z* в которых рассчитывается гамма-поле, например, A1 = 0, A2 = 2, A3 = 4, ..., A51 = 100 (Δz = 2 см).

3. В ячейку D1 занести величину *h* (см), D2 - $\bar{L}_k$ (см).

4. В ячейке E1 набрать формулу: =1.2*D2, в E2: =0.4*D2.

5. В ячейку F1 поместить коэффициент K_1 (0.75), в F2 - K_2 (0.25).

6. В ячейке B1 набрать формулу расчета функции влияния радиоактивного пласта $f(z,h)$ в *одногрупповом* приближении:

=ЕСЛИ(A1<=$D$1/2;1-EXP(-$D$1/(2*$D$2))*COSH(A1/$D$2); EXP(-A1/$D$2)*SINH($D$1/(2*$D$2)))

7. В ячейке C1 набрать формулу расчета функции влияния радиоактивного пласта $f(z,h)$ в *двухгрупповом* приближении:

=ЕСЛИ(A1<=$D$1/2; 1-$F$1*EXP(-$D$1/(2*$E$1))*
COSH(A1/$E$1)-$F$2*EXP(-$D$1/(2*$E$2))*COSH(A1/$E$2);
$F$1*EXP(-A1/$E$1)*SINH($D$1/(2*$E$1))+$F$2*
EXP(-A1/$E$2)*SINH($D$1/(2*$E$2)))

8. Скопировать формулу из B1 в ячейки B2-B51, и формулу из C1 в ячейки C2-C51. В результате этих операций будет произведен расчет $f(z,h)$ для остальных точек по оси *z*.

9. «Мастер диаграмм» электронной таблицы *Microsoft Excel* поможет быстро построить графики интенсивности гамма-поля по стволу скважины.

Гамма-каротаж скважин: Учебно-методическое пособие к практическим занятиям по дисциплинам «Радиометрия и ядерная геофизика», «Ядерная геофизика и радиометрия скважин» для студентов специальности 21.05.03 Технология геологической разведки.; Часть 1. Расчеты гамма-полей / Ю.В. Белышев, Ж.Н. Александрова; Уральская госуд. университет. Каф. геофизики. - Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2018. - 31 с.

Авторы: Ю.В. Белышев, канд. геол.-минерал. наук
Ж.Н. Александрова, канд. геол.-минерал. наук

Корректура кафедры геофизики
Подписано к печати
Формат бумаги 60 х 84 1/16
Печ.л. Уч.-изд.л.
Тираж 100 экз. Заказ №
Цена С

Издательство УГГУ
620219, Екатеринбург, Куйбышева, 30

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Ушаров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ

специальность

21.05.03 Технология геологической разведки

Специализация № 1

Геофизические методы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых

форма обучения: очная, заочная

Автор: Кузин А. В., к.г.-м.н., доц.

Одобрена на заседании кафедры
Геофизики
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
Талалай А. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 12 от 05.03.2020 г.
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
геологии и геофизики
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Бондарев В. И.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 7 от 20.03.2020 г.
(Дата)

Екатеринбург
2020

ВВЕДЕНИЕ

Электрохимическая коррозия металлических сооружений приводит их к разрушению. Способы и меры защиты сооружений от коррозии требуют капитальных затрат, организации специальных служб, что существенно удорожает строительство и эксплуатацию сооружений.

Среди методов исследований природных и техногенных факторов, определяющих интенсивность коррозионных процессов, электроразведочные методы являются одними из информативных, точных, недорогих. По нормативным документам [1] определение коррозионной активности грунтов электроразведкой в определенных условиях является достаточным основанием, чтобы не дублировать эту оценку лабораторными методами.

Электроразведочные методы, используя различные мобильные ориентированные установки, позволяют определить удельное электрическое сопротивление грунтов на различных глубинах, по различным направлениям, а также определить интенсивность и направление блуждающих токов. Эти сведения являются основополагающими при определении природы и источников токов, при проектировании расположения сооружений, при определении степени и средств их защиты от коррозии.

В учебном пособии приведен перечень задач, возникающих в связи с необходимостью оценки коррозионной активности грунтов и интенсивности блуждающих токов, применяемые для этого электроразведочные методы и способы, а также приёмы камеральной обработки результатов.

1. ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГРУНТОВ И БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

Коррозия металлов в почве (подземная коррозия) происходит по электрохимическому типу. Металл на контакте с внешней средой переходит в более выгодную энергетическую форму – в окисел – и становится положительным ионом – катионом (двигаются к отрицательному катоду), который может вступить в реакцию с химическими компонентами внешней среды, отделиться от кристаллической структуры. Это называют анодным растворением металла.

Освободившиеся при окислении металла электроны также могут выйти из металла, вступить в реакцию с молекулярным кислородом внешней среды и восстановить его до иона гидроокисла OH^- или вступить в реакцию с положительными ионами водорода и восстановить их до молекулярной формы.

В этих реакциях внешней средой является грунт – гетерогенная смесь сложных химических соединений, электролитов с растворенными в них анионами и катионами химических элементов и соединений.

Мерой насыщения грунтов активными химическими элементами, способными вступать в реакцию с корродируемым металлом, ***может служить такой физический параметр, как удельное электрическое сопротивление (УЭС) грунта.***

Чем ниже УЭС грунта, тем больше в нём растворов электролитов, содержащих химические компоненты, способные вступить с металлом в реакцию и ассимилировать электроны, освободившиеся при окислении металла. В основном именно эти процессы и определяют скорость коррозии. В этом заключается ***принцип оценки коррозионной активности грунтов по величине его УЭС.***

При переходе электронов с поверхности корродирующего металла во внешнюю среду на поверхности металла образуется двойной электрический слой и электродная разность потенциалов, т. е., металл приобретает электрическую поляризацию по отношению к внешней среде. Знак и интенсивность этой поляризации существенно влияют на скорость электрохимической коррозии. В частности, смещение потенциала металла сооружения в отрицательную (катодную) область относительно потенциала грунта снижает скорость его коррозии. В этом заключается суть ***катодной защиты*** сооружений, которая в данном пособии не рассматривается.

Смещение потенциала поляризации сооружения может быть вызвано натекающими на него токами любого естественного (фильтрационного, окислительно-восстановительного, диффузионно-адсорбционного, теллурического и др.) и искусственного (станции катодной защиты, утечки с электротехнических сооружений) происхождения, которые распространяются на большие расстояния по грунтам, искусственным металлическим сооружениям, кабелям и т. п. Их называют ***блуждающими токами.*** Для определения их наличия, интенсивности, природы проводят исследования специальными электроразведочными установками разностей потенциалов, обусловленных прохождением блуждающих токов через проводник (грунт) с определенным удельным электрическим сопротивлением. ***В этом заключается принцип исследования блуждающих токов электроразведкой.***

При проектировании и сооружении важных дорогостоящих подземных металлических сооружений (трубопроводов, линий связи, железных дорог и т.п.) исследование коррозионной активности грунтов и блуждающих токов является обязательным. Это предписывается специальными нормативным документами. Приведем их перечень и круг задач, регламентируемый ими.

В строительных нормах и правилах **«СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ»** [2] в приложении Д приведены задачи основных и вспомогательных методов геофизических исследований при инженерно-геологических изысканиях, в частности, указана необходимость измерять коррозионную активность грунтов и блуждающие токи. Указаны рекомендуемые для этого методы: вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электропрофилирование (ЭП), метод естественного поля для регистрации блуждающих токов. В приложении Е указана детальность исследований (табл. 1.1).

В СП указано, что приложение Е рекомендуемое, то есть оно допускает отклонение объемов и детальности исследований от указанных в таблице, в зависимости от особенностей геоэлектрического строения территории, её изученности, размеров исследуемых площадок и т.п.

Таблица 1.1

Задачи, методы и объемы геофизических исследований
при инженерно-геологических изысканиях [2]

Задачи геофизических исследований	Электроразведка	
	расстояние между профилями, м	шаг по профилю, м
1	2	3
Определение коррозионной активности грунтов: на площадке	50-100	25-50
по трассам: внеплощадочные коммуникации магистральные трубопроводы		50-100 300-500
Определение интенсивности блуждающих токов: на площадке по трассам	100-200	50-100 100-500

В «СП 11-105-97 Часть IV. «Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов» [3] в составе геофизических исследований предписано определение коррозионной активности грунтов и интенсивности блуждающих токов. Это обусловлено известным фактом распространения блуждающих токов через низкоомные участки таликов среди многолетнемёрзлых грунтов. Такие зоны должны быть обязательно выявлены на стадии изысканий.

Наконец, собственно методики определения коррозионной активности грунтов и наличия блуждающих токов электроразведочными методами приведены в приложениях к «**ГОСТ 9. 602-2016 «Единая система защиты от коррозии и старения. Подземные сооружения. Общие требования к защите от коррозии**» **[1].** Приложение А содержит краткое директивное описание методики определения кажущегося удельного электрического сопротивления (УЭС) в полевых условиях. Приложение Д – описание методики определения наличия блуждающих токов. В ГОСТе дана таблица определения коррозионной активности грунтов по их УЭС: более 50 Ом·м – низкая, 20-50 – средняя, менее 20 – высокая.

Описание этих методик, их анализ, особенности применения различных модификаций рассмотрим в следующем разделе. Ведь любой нормативный документ содержит лишь краткое предписание выполнения определенного вида работ, а отечественная школа инженерных геофизических изысканий имеет традицию обучения исследователей теоретическим основам физических явлений и методик их изучения, стремлению к их дальнейшему развитию и совершенствованию. Только такой творческий подход к поставленным задачам исследований обеспечит их успешное решение.

2. ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГРУНТОВ

2.1. Методика работ

Методика предусматривает регламентацию применяемых установок, детальности, точности исследований, а также технических средств измерений. В этом разделе рассмотрим установки определения УЭС грунтов. Детальность исследований предписывается СП 11-105-97 и техническим конкретным заданием, средства измерения обсудим в других разделах главы.

Для определения УЭС грунтов применяют установки вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и электропрофилирования (ЭП).

Установки ВЭЗ исследуют УЭС грунтов на различной глубине под точкой исследований. Это даёт сведения о наличие в разрезе геоэлектрических слоёв с различными истинными, а не кажущимися, значениями УЭС, их мощности, глубине залегания. Сведения эти при проектировании антикоррозионной защиты подземных сооружений весьма ценны. Ведь ток в грунтах распространяется по слоям с наименьшим значением сопротивления.

Установки ВЭЗ могут быть четырехэлектродные симметричные, трех-, двухэлектродные, дипольные (рис. 2.1).

Глубинность исследований симметричной установкой ВЭЗ зависит от величины разноса питающих электродов *AB*. В случае, когда в разрезе есть верхние относительно электропроводные слои, ток распространяется по ним, малая его часть уходит в глубину, и тогда эффективная глубина исследования нижних геоэлектрических слоёв составляет 0,1 разноса *AB* [4]. В случае, когда УЭС полупространства под точкой зондирования одинаково, глубинность оценки УЭС может возрастать до 0,25 *AB*. Априорно при исследованиях коррозионной активности грунтов иногда предлагают размер установки питающих электродов выбирать в три раза большим, чем глубина погружения в грунт защищаемого от коррозии сооружения [5].

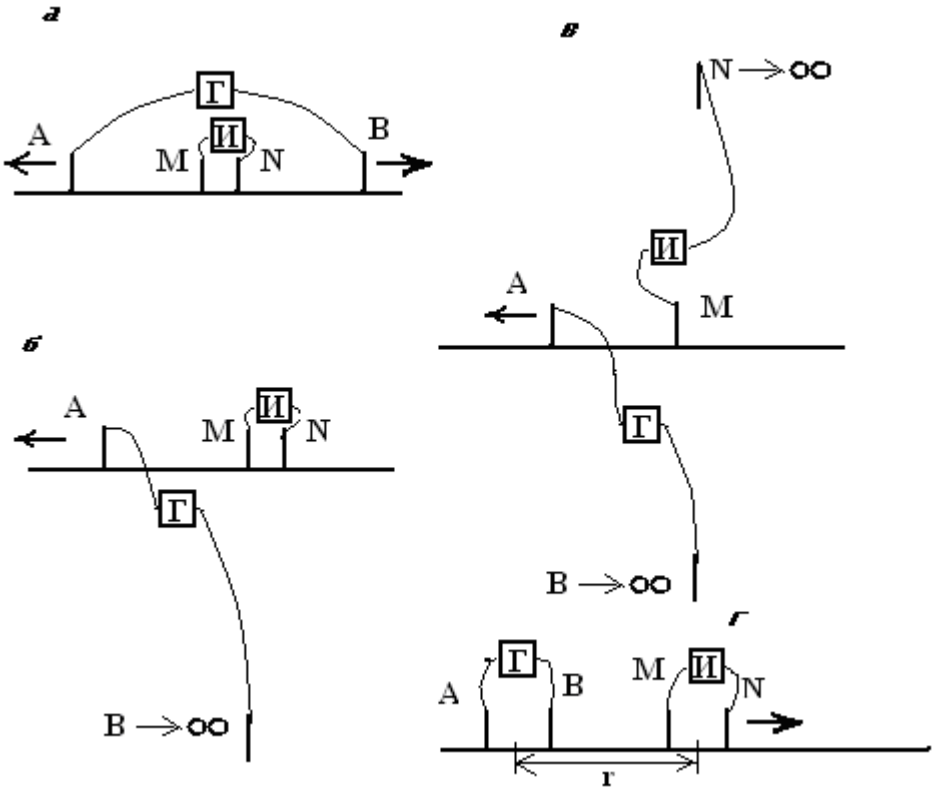


Рис. 2.1. Типы установок вертикального электрического зондирования:
а – симметричная четырёхэлектродная; *б* – трёхэлектродная с линией «бесконечность» для питающего электрода *B*; *в* – двухэлектродная *AM* с линиями «бескончность» для питающего электрода *B* и приёмного *N*; *г* – дипольная осевая. Г– генератор тока; И – измеритель напряжений

Применение трехэлектродных установок ВЭЗ при исследовании локальных площадок или объектов, где затруднительно разносить на местности оба питающих электрода, целесообразно и предпочтительно. К тому же, технологически при таком зондировании потребуется осуществлять последовательное заземление одного питающего электрода, а не двух. Это экономит силы и средства полевой бригады. При отнесении питающего электрода *B* («бесконечность») под прямым углом к простиранию установки *AMN* достаточно удалить его на расстояние в 5 раз большее, чем максимальный разнос питающего электрода *A*, и его влиянием на нормальное поле в пределах трехэлектродной установки можно пренебречь. Известна работа [5], показавшая увеличение эффективной глубины оценки УЭС разреза трехэлектродной установкой, в сравнении с симметричной, в 1,25 раза. Трехэлектродная установка зондирования позволяет оценивать УЭС разреза в непосредственной близости от линейного электропроводного объекта (металличе-

ская труба, кабель и т. п.) без существенного искажения последним кривой ВЭЗ [6].

Двухэлектродная установка зондирования *AM* предполагает удаление питающего электрода *B* и приемного *N* на «бесконечное» расстояние, в 10 раз превышающее максимальный разнос *AM*. Электроды «бесконечностей» должны разноситься в противоположные стороны, по крайней мере, не должны располагаться в одном квадранте. Глубина оценки УЭС разреза при зондировании двухэлектродной установкой больше в 1,4 раза, чем симметричной [7]. Двухэлектродная установка будет самой технологичной и информативной при проведении азимутальных исследований ВЭЗ с целью оценки электрической анизотропии разреза или выделения вблизи точки зондирования блоков грунтов с различными УЭС.

У дипольной осевой установки величина разноса ***r*** равна расстоянию между центрами питающего и приёмного диполей. Размер питающего и приёмного диполей должен быть менее 0,2*r*. Кривые ВЭЗ, полученные с дипольной осевой установкой, можно интерпретировать по палеткам и программам, рассчитанным для трёх- и четырёхэлектродных установок.

Величина кажущегося удельного электрического сопротивления $\rho_к$ рассчитывается по формуле:

$$\rho_ę = \frac{U}{I} \cdot K, \qquad (2.1)$$

где $\rho_к$ – кажущееся УЭС, Ом·м; *U* – измеренная в приемной линии *MN* разность потенциалов, мВ; *I* – ток в питающей линии, мА; *K* – коэффициент установки, м – рассчитывается по специальным формулам (2.2)-(2.6) [4].

Формула для расчета коэффициента симметричной установки *AMNB*:

$$K = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN}; \qquad (2.2)$$

в методе ВЭЗ обычно в качестве меры величины установки используют полуразнос питающей линии *AB*/2, его записывают в полевой журнал, откладывают при построении кривой зондирования на специальном билогарифмическом бланке, потому для расчета коэффициента удобно использовать формулу

$$K = \pi \frac{(\acute{R}\hat{A}/2)^2 - (MN/2)^2}{MN}; \qquad 2.3)$$

трехэлектродной установки *AMN*, *B* в «бесконечности»

$$K = 2\pi \frac{AM \cdot AN}{MN}; \qquad (2.4)$$

двухэлектродной *AM*

$$K = 2\pi \cdot AM\ ; \qquad (2.5)$$

дипольной осевой *AB MN*

$$K = \frac{K_{BMN} \cdot K_{AMN}}{K_{BMN} - K_{AMN}}. \qquad (2.6)$$

Для оценки УЭС грунтов возможно применять также известные дифференциальные и многоэлектродные установки ВЭЗ.

Метод ВЭЗ при определении УЭС грунтов в сравнении с другими электроразведочными методами является самым информативным: он позволяет определить не только обобщённое кажущееся, но и близкое к истинному удельное электрическое сопротивление каждого из слоёв грунта. Главный его недостаток – длительное время исследования на одной точке. Оно при разносах питающей линии *AB* до 80-220 м составляет 10-15 минут. Оценка УЭС грунтов с установкой электропрофилирования требует затрат времени в 10 раз меньше.

Установки ЭП предполагают оценку УЭС грунта в точке на одном или двух разносах питающей линии. ГОСТ 9. 602-2005 рекомендует применение одной из таких установок, где расстояние между приемными и питающими электродами *AMNB* равны одному модулю ***a*** (рис. 2.2**)**. Это так называемая установка Веннера. Коэффициент установки *K* рассчитывается по формуле: $K=2\pi \cdot a$. Она исторически более распространена в зарубежном опыте исследований. В отечественной геофизике чаще применяется симметричная установка Шлюмберже. В ней расстояние между приемными электродами *MN* составляют от 1/20 до 1/4 величины *AB* [4]. При шаге исследований, соизмеримом с величиной разноса *MN*, она более чувствительна к выделению локальных неоднородностей в геоэлектрическом разрезе. Коэффициенты *K* различных установок электропрофилирования рассчитываются по тем же формулам, что в методе ВЭЗ.

Обычно установки ЭП применяют для оценки УЭС на небольшой глубине, равной погружению в грунт верхней и нижней частей проектного сооружения [8]. Расстояние между точками

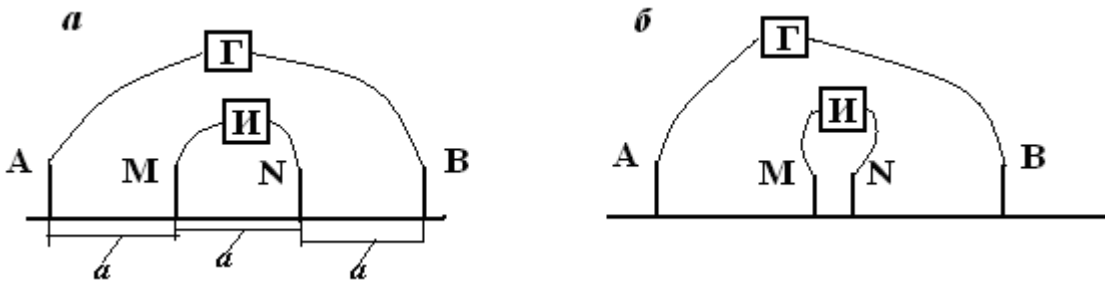


Рис. 2.2. Установки электропрофилирования:
а – Веннера, *б* - Шлюмберже

определения УЭС (10-100 м [8], 50-500 м [1]) может превышать многократно величину разносов установки. При таком виде исследований симметричные четырёхэлектродные установки Веннера и Шлюмберже наиболее технологичны.

При исследовании УЭС грунтов на локальных площадках возможно применять трех- и двухэлектродные установки электропрофилирования.

2.2. Аппаратура и оборудование для измерения УЭС грунтов

Нормативные документы не требуют директивно, но сложилась практика оценки УЭС грунтов на постоянном или низкочастотном (до 5-20 Гц) токе. В этом случае УЭС грунтов, особенно низкоомных, не будет при измерениях искажено индукционными эффектами, возникающими при похождении через грунт переменных токов.

Главное требование к измерительной электроразведочной аппаратуре – высокое (не менее 20 МОм) входное сопротивление милливольтметра в приемной линии. Ток должен проходить только через исследуемый грунт, входная линия приемных заземлений не должна шунтировать природный проводник тока. Потому для измерений входного напряжения линий *MN* электроразведочных установок метода сопротивлений могут быть применены любые милливольтметры с указанным высоким входным сопротивлением. Нет необходимости указывать здесь их типы, так как измерительная техника постоянно совершенствуется и обновляется, а применявшаяся ранее устаревает морально и физически.

Тракт питающей линии в аппаратуре для измерения УЭС грунтов должен содержать миллиамперметр класса не ниже 4-го,

т. е., собственная его погрешность не превышает 4 %. Это обеспечивается низким собственным сопротивлением амперметра, чтобы падение напряжения на нём было ничтожным в сравнении с таковым на электродах заземлений и в грунтах. Современные миллиамперметры имеют, как правило, класс точности 1 или 2.

Для исследования УЭС требуется пропустить через грунт постоянный или низкочастотный ток. Если в аппаратуре есть генератор тока, то для питания генератора применяют промышленные типы батарей или аккумуляторов. При работе на постоянном токе возможно для создания тока в питающей цепи электроразведочной установки использовать специализированные электроразведочные или типовые промышленные сухие батареи или аккумуляторы. Напряжение в батарее может быть порядка 10-100 В, токи – единицы-десятки мА.

Для монтирования цепей питающей и приемной линий установок ВЭЗ и ЭП применяют специализированные электроразведочные сталемедные провода в изоляционном полиэтиленовом покрытии: ГПСМПО, ГПСМП, имеющие сопротивление 10 и 40 Ом/км, или медные изолированные провода.

Для устройства питающих и приемных заземлений используют специальные электроразведочные штыревые электроды. Их изготавливают из стальных прутков диаметром 10-14 мм, они имеют деревянную или пластмассовую ручку, упоры для ноги для задавливания их в почву. При работе на сухих прочных или промерзших грунтах применяют стальные штыревые электроды, которые забивают в землю кувалдой, а извлекают с помощью специальных приваренных или накладных ручек.

Для приемных заземлений целесообразно использовать медные или латунные штыри, так как они имеют меньший потенциал собственной поляризации при контакте с грунтами, чем стальные. Наблюдаемую перед моментом пропускания тока от генератора разность электродных потенциалов в приемной линии *MN* компенсируют с помощью специальной батареи в аппаратуре (АЭ-72, ЭРА и т. п.) или записывают и учитывают при измерении напряжения пропускания тока.

Низкочастотная аппаратура (АНЧ-3, ЭРА-Знак, «Берёзка» и т. п.) автоматическим исключает из измерительного тракта электродную разность потенциалов поляризации.

3. ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

3.1. Методика измерения разности потенциалов блуждающих токов

3.1.1. Измерительные установки, способы регистрации

Блуждающие токи в земле можно обнаружить, измеряя приёмными электродами, расположенными один от другого на определённом расстоянии, разность потенциалов, которая образуется в грунтах с конечным удельным электрическим сопротивлением при прохождении через них тока. В электроразведке [4, 9] такую методику применяют при работах по методу естественного поля (ЕП).

Для обнаружения блуждающих токов обычно применяют ортогональные крестовые или угловые линии с двумя парами приемных неполяризующихся электродов (рис. 3.1).

Размер разносов между парами приемных электродов предписывается различными инструкциями и нормативными документами в 100 или 50 м [9, 10]. Блуждающие токи в грунтах распространяются на расстояния, превышающие сотни и тысячи метров, измерить разность потенциалов, обусловленную этими токами, можно установкой любой величины. Размер измерительной установки в 50 и 100 м принят из соображений надежности измерения разности потенциалов, которая пропорциональна длине линии.

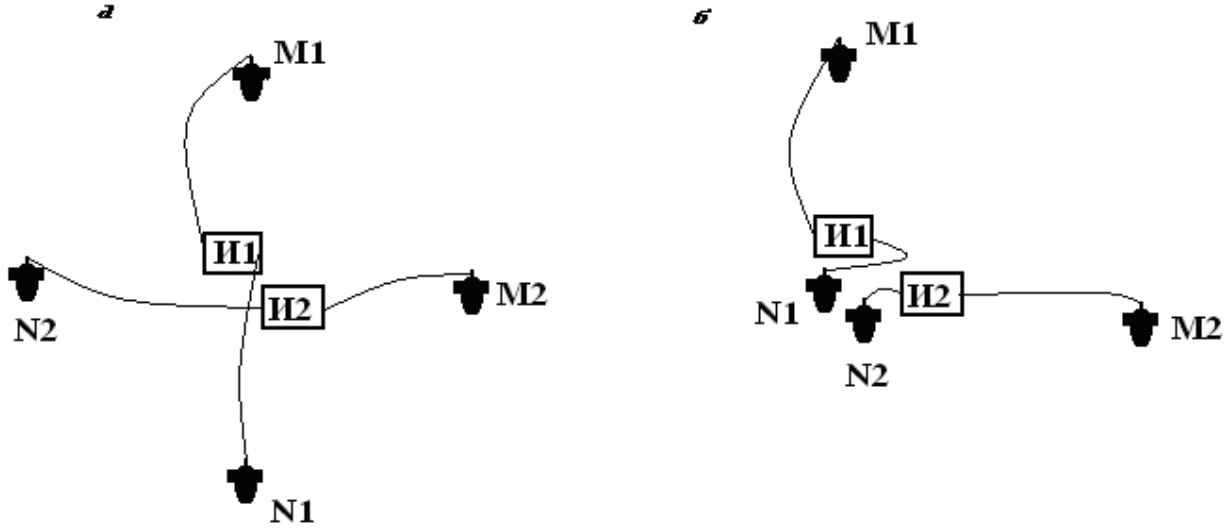


Рис. 3.1. Установки для измерения разности потенциалов блуждающих токов с неполяризующимися приемными электродами:
а – крестовая, *б* - угловая

Угловую установку из двух пар приемных электродов, разнесенных на 50 м, можно рассматривать как часть крестовой с разносами электродов 100 м. При однородном УЭС грунта в районе измерений, плоском фронте блуждающего тока обе установки должны определить ровно в два раза различающиеся значения разностей потенциалов в приемных линиях. Измерения с угловой 50-метровой установкой можно увеличить вдвое и привести их к условиям измерения с крестовой 100-метровой.

В условиях застроенности (непроходимости) территории не всегда возможно разнести приемные электроды на 100 м по ортогональным направлениям. В этих условиях угловая 50-метровая установка оказывается более мобильной. В зависимости от наличия препятствий и свободных для разноса электродов направлений точку измерений можно располагать в углу любого из квадрантов установки, лишь следует всегда оба электрода *N* располагать на западе и юге от электродов *M* (см. рис. 3.1).

Для регистрации разности потенциалов в двух парах приёмных линий ГОСТ 9. 602-2005 предписывает записывать отсчёты милливольтметра через 10 с в течение 10 минут. Причём, сначала в одной паре, затем – в другой (ГОСТ 9. 602-2005, прилож. Д, пункты Д1 и Д2). Это нерациональный приём. Во-первых, раздельная регистрация разностей потенциалов в двух линиях потребует затраты 20 минут рабочего времени на измерения. Во-вторых, при обработке материалов раздельной регистрации невозможно установить направление тока в любой из моментов времени 20-минутной регистрации. Ниже поясним это примерами в разд. 3.2.

Разность потенциалов в двух парах ортогонально расположенных измерительных линий следует регистрировать синхронно. Запись результатов измерений может быть выполнена в полевом журнале, а также на электронных носителях регистраторов. Некоторые из модификаций современных цифровых вольтметров позволяют это делать оперативно и надёжно.

3.1.2. Ориентировка измерительной установки

Ориентировку приемных электродов выбирают по странам света [9] или по простиранию проектируемого или существующего линейного сооружения [1]. В последнем случае это целесообразно

потому, что разность потенциалов на электродах, расположенных параллельно линейному электропроводному объекту, будет близка к нулю, а в линии, перпендикулярной к сооружению, максимальна и иметь знак плюс или минус – в зависимости от явления натекания или стекания тока с сооружения. Последнее и позволит выделить его анодные и катодные зоны.

Проиллюстрируем методику ориентировки электродов угловой установки вдоль электропроводного сооружения примером. Пусть в грунте на глубине 2 м залегает линейный электропроводный объект (рис. 3.2), например, металлическая труба. Нам в методическом плане интересен случай, когда это сооружение не имеет электроизоляции. В ином случае такой объект в электропроводном грунте представлял бы собой линейный изолятор небольшого сечения, который почти не искажает силовые линии тока в сплошной проводящей среде. Электропроводность трубы в десятки-сотни-тысячи раз превышает электропроводность грунта. Например, стальная труба диаметром 325 мм с толщиной стенок 10 мм имеет сечение проводника 0,01 м^2 – равное сечению квадратного бруска стали с гранью 10 см. При удельном электрическом сопротивлении стали ρ, равном $1{,}3 \cdot 10^{-7}$ Ом·м, сопротивление R одного метра трубы составит всего $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ Ом, одного километра – 0,013 Ом.

Такой линейный проводник, во-первых, будет коллектором для любых блуждающих токов, тем или иным путём достигших его. Это может быть ток, стекающий с близкорасположенного анодного заземления станции катодной защиты, с электрифицированного железнодорожного полотна, пришедший по линейному электропроводному тектоническому нарушению, теллурический ток и т. п.

Во-вторых, ток по проводнику от точки ввода потечёт в обе стороны и станет стекать с него в грунт. На расстоянии в сотни метров это будет практически эквипотенциальный проводник. В однородной по электропроводности среде потенциал от линейного проводника в любой точке среды вне проводника определяется выражением [11]:

$$U = \frac{\rho I}{0.434 \cdot 2\pi b} \cdot \lg \frac{y + b_1 + (x^2 + (y + b_1)^2)^{0.5}}{y - b_2 + (x^2 + (y - b_2)^2)^{0.5}}; \qquad (3.1)$$

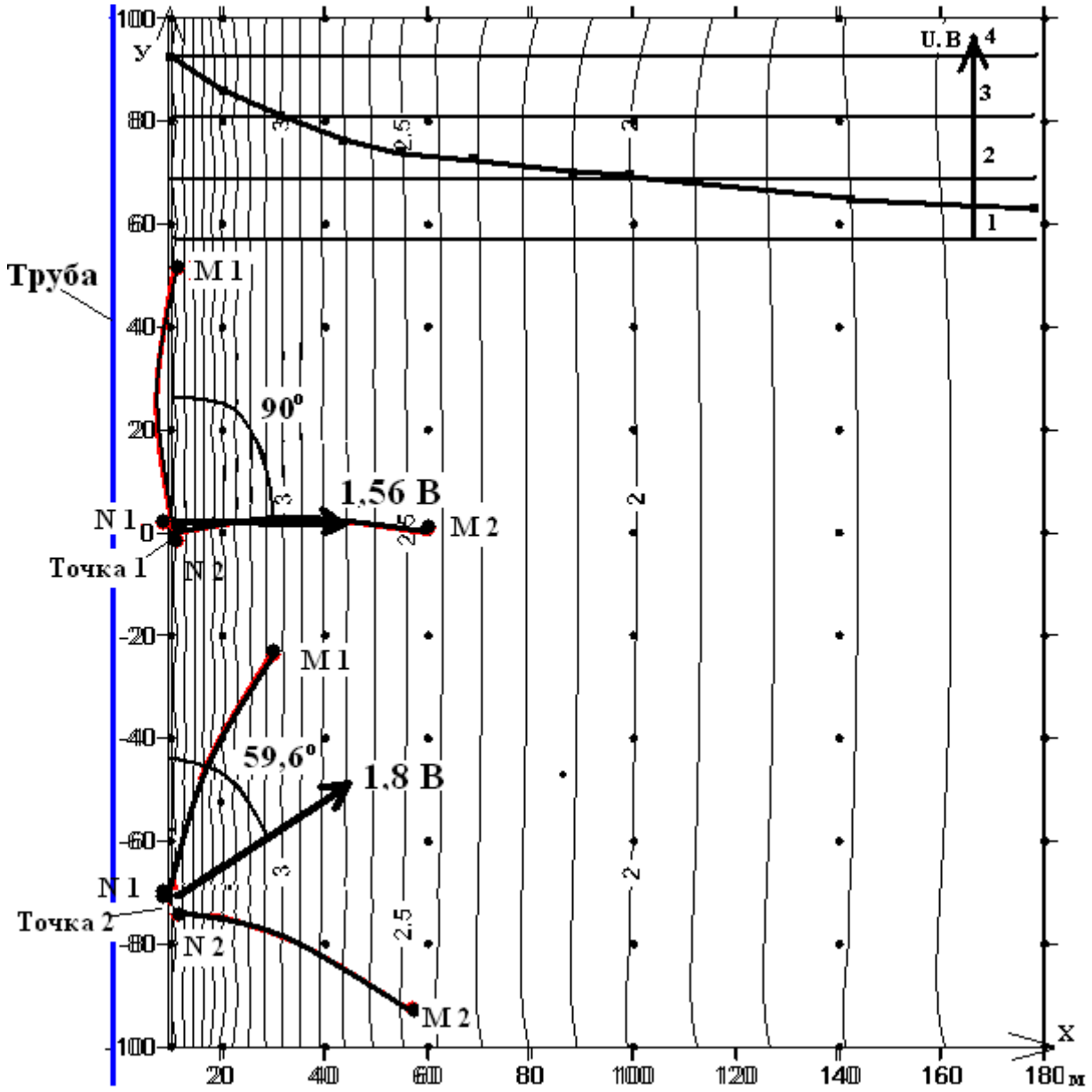


Рис. 3.2. Пример определения наличия блуждающих токов вблизи линейного электропроводного объекта:
точка 1 – параллельное расположение одной из линий *MN* объекту; точка 2 – поворот установки 22°. Стрелка указывает вычисленное направление тока (азимут в градусах) и разность потенциалов, измеренную угловой установкой с длиной приемных линий 50 м. УЭС среды 100 Ом·м. Ток, стекающий с трубы длиной 1000 м, равен 10 А. В верхней части рисунка показана кривая спада потенциала. Остальные пояснения – в тексте

где b – длина проводника, примем её 1000 м; b_1 и b_2 – половинки длины проводника от точки начала координат системы расчета поля; 0,434 – множитель, учитывающий в формуле переход от десятичных логарифмов к натуральным; x и y – координатные оси (см.

рис. 3.2). При расчёте поля ток I принят 10 А, удельное электрическое сопротивление среды ρ – 273 Ом·м, чтобы множитель перед логарифмом был равен 1.

Как видно на рис. 3.2, градиент потенциала вблизи линейного источника больше, чем на удалении от него. Установкой для измерения блуждающих токов в точке 1 будет зарегистрирована разность потенциалов минус 1,56 В в линии, ориентированной перпендикулярно к простиранию среды. Рассчитанный азимут течения тока (см. алгоритм расчета в разд. 3.2.2) составит 90°, как это и есть в модельном примере.

Установка, ориентированная не параллельно (повёрнута на 22° по часовой стрелке от азимута проложения трубы), покажет отрицательную разность потенциалов как в приемной линии $M1N1$(минус 0,94 В), так и $M2N2$ (минус 1,94 В). Суммарный вектор снижения потенциала от источника тока в среду при формальных методах расчёта указал бы направление тока по азимуту 59,6° и величину вектора 1,8 В, фактически завышенную на 15 % – за счет привлечения к расчётам составляющей напряжения в линии $M1N1$, расположенной в области высоких градиентов потенциала от линейного источника.

Отсюда следует вывод о важности строгого учёта расстояния приёмных электродов от исследуемого существующего электропроводного объекта в линии, располагающейся «параллельно» ему. В полевых условиях определить природу возможной разности потенциалов в этой линии возможно таким образом. Во-первых, если она обусловлена стеканием (натеканием) тока на объект, то в приемной линии, ориентированной перпендикулярно к линейному объекту, будет отмечаться разность потенциалов, превышающая таковую в параллельной линии. Во-вторых, перемещение приемного электрода M параллельной линии в точку заземления, располагающуюся несколько ближе или дальше от трубы, обнаружит существенное изменение разности потенциалов, если объект сам является источником или приёмником токов. Впрочем, такие приемы работы не предусмотрены стандартной, по ГОСТ 9.602-2005, методикой определения наличия блуждающих токов и должны регламентироваться по времени и стоимости как специальные исследовательские.

3.1.2. Влияние УЭС грунтов на разность потенциалов

Рассмотрим ещё один аспект определения наличия и направления блуждающих токов вблизи существующих линейных электропроводных объектов. Среда, в которой располагаются проводники, может быть неоднородной по величине УЭС. Потенциал от источника тока в среде прямо пропорционально зависит от величины УЭС. Теория электроразведки позволяет рассчитывать потенциал от точечных и линейных источников в среде, включающей контакты пород с различными УЭС, слои, пачки анизотропных по электропроводности пород, в среде с локальными электропроводными или высокомными объектами [4, 11]. Неоднородное геоэлектрическое строение среды в общем случае усложняет картину изменения потенциала в сравнении с таковой для однородной по электропроводности среде.

На одном простом примере покажем, что при определении наличия и направления блуждающих токов потенциальными установками метода естественного поля фактор влияния УЭС на потенциал от блуждающих токов следует принимать во внимание, по возможности учитывать, чтобы избежать существенных ошибок при решении конкретных исследовательских задач.

Особенно это важно при работах вблизи электропроводных объектов, выступающих источниками или приёмниками токов.

Пусть электропроводный объект (стальная труба) пересекает вертикальный контакт горных пород, УЭС которых различаются в два раза (рис. 3.3). Теорией и практикой электроразведки с линейными электродами установлено, что с эквипотенциального проводника в среду с чередованием пластов различного УЭС стекает одинаковый по интенсивности ток [12]. Одинаковая плотность стекающих токов с эквипотенциального проводника в среду с различными УЭС отдельных блоков обусловлена влиянием на плотность тока самого верхнего, вмещающего проводник, обычно относительно электропроводного (УЭС порядка 20-80 Ом·м), слоя рыхлых пород. Полевые работы по усовершенствованному методу изолиний включали установку дополнительных электродов в среде с низким УЭС, чтобы дополнительный ток вызвал возрастание в этой среде разности потенциалов вровень с таковой в слоях с высоким УЭС (это требовалось для получения прямолинейных изолиний на планшетах при поисках локальных рудных проводников) [13].

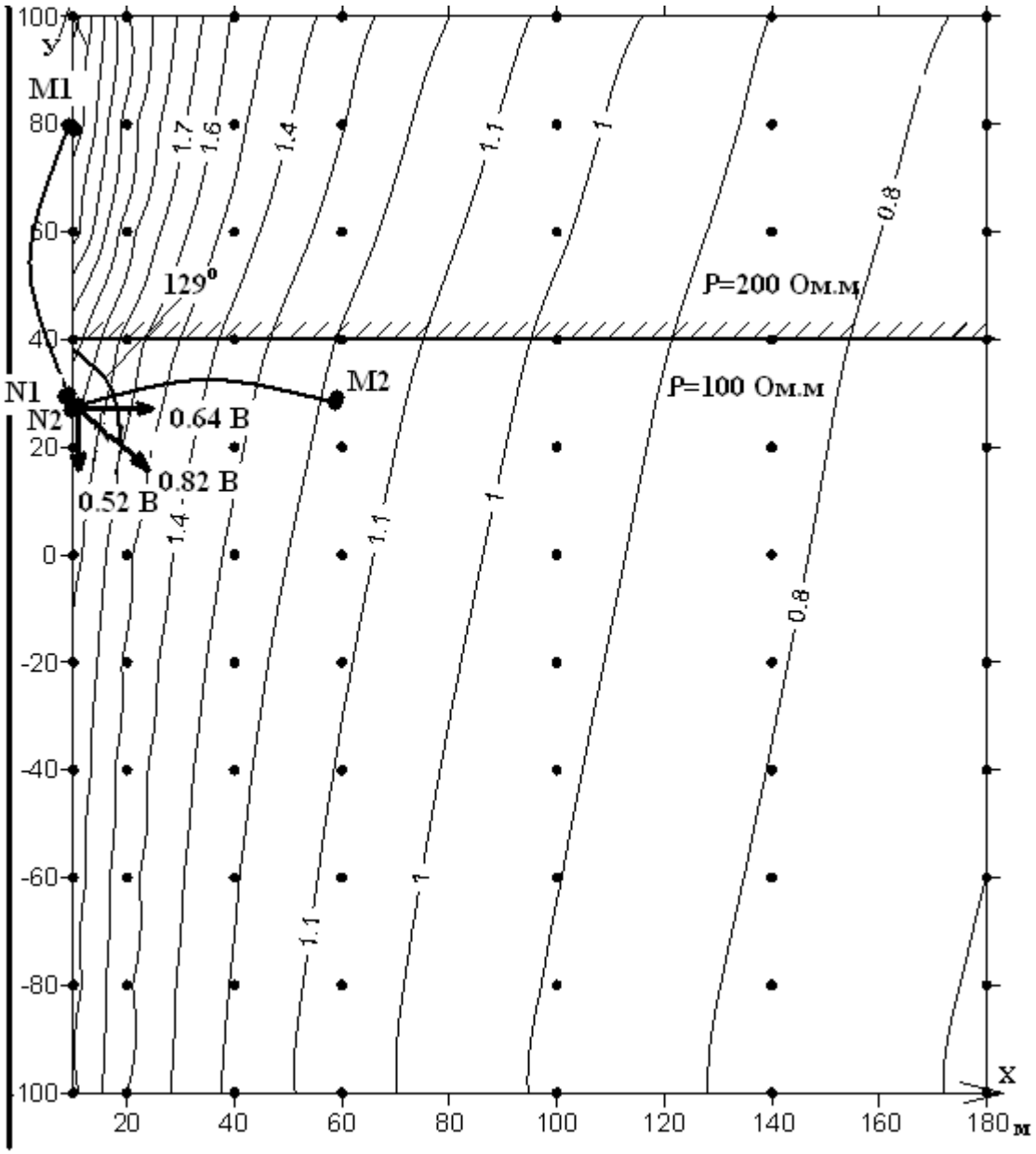


Рис. 3.3. Оценка разности потенциалов (в В) от линейного заряженного проводника в зоне контакта пород различного удельного электрического сопротивления. Длина проводника 1000 м, ток 10 А, угловая установка размером 50 м. Точками указаны места расчёта значений потенциала. Остальные пояснения – в тексте

Различие УЭС блоков вызовет приток электрического тока из среды с высоким УЭС в среду с низким. Это отразится на перекосе изолиний потенциала в районе контакта. (Расчёты потенциалов от линейного заряженного проводника выполнены по формулам, выведенным доцентом УГГУ В. А. Серковым). Угловая установка для определения интенсивности и направления тока, стекающего с проводника, расположенная одной из приемных линий параллельно

ему, зафиксирует разность потенциалов в каждой из измерительных линий. В практике изыскательских работ исследователь не наблюдает всю картину изолиний потенциала вблизи заряженного проводника. Формально по значениям измеренных разностей потенциалов в приведенном примере будет определено течение блуждающего тока в юго-восточном направлении, по азимуту 139° (см. рис. 3.3). В действительности силовые линии тока ортогональны направлению изолиний потенциала – т. е., азимут течения тока в точке измерений около 100°.

Наличие контактов горных пород с различным удельным электрическим сопротивлением приводит к искривлению изолиний потенциала, возникающего в горных породах при прохождении через них блуждающих токов.

На рис. 3.4 приведены значения разностей потенциалов, которые могли бы быть измеренными установками приёмных электродов вблизи заряженного проводника. Такие локальные приемные установки рекомендуются методическими инструкциями [8, 10] для определения наличия и направления электрических токов вдоль подземных сооружений, для определения мест стекания и натекания токов на проводник – анодных и катодных зон.

Если не принимать во внимание истинную причину повышения значений потенциала (повышенное вдвое УЭС грунтов) на отрезке профиля наблюдений в интервале 40-100 м, то по данным измерений с ортогональной проводнику установкой в этой части будет ошибочно выделена область интенсивного стекания тока с проводника – «анодная зона». Но известно, что в обсуждаемом нами примере ток со всего проводника стекает одинаковый, т.е., весь проводник в равной мере находится в анодной зоне.

Точно так же формальное истолкование результатов измерения градиента потенциала вдоль заряженного проводника, пересекающего контакт грунтов с различными УЭС, приведёт к ошибочному выделению в районе отметки 60 м точки (см. рис. 3.4), от которой ток растекается в обе стороны вдоль проводника, в основном, в сторону максимального снижения потенциала, в «южном» направлении. Между тем, неизолированный от контакта с внешней средой проводник является почти эквипотенциальной средой, ток течёт только по нему, стекает с него в среду, но не течёт через высокоомную среду вдоль этого проводника, в 10 м от него.

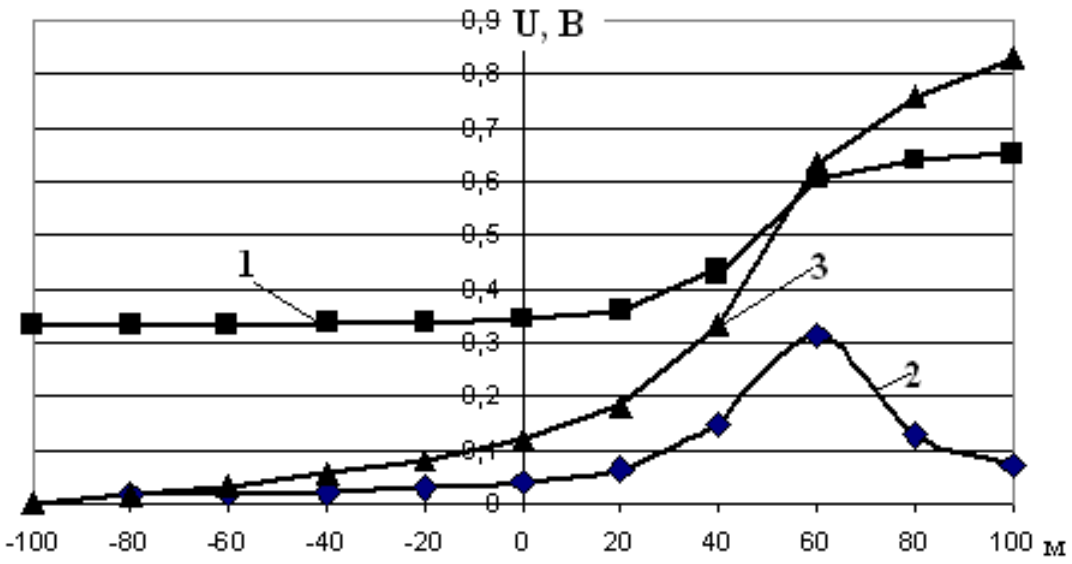


Рис. 3.4. Значения разностей потенциалов вблизи линейного заряженного проводника (см. рис. 3.3):
1 – разность потенциалов, измеренная перпендикулярной к проводнику установкой *MN*=20 м на удалении 10-30 м; 2 – градиент потенциала, измеренный параллельной установкой *MN*=20 м в 10 м от проводника; 3 – кривая суммы градиентов потенциала графика 2

Формальное истолкование особенности кривой потенциала вдоль проводника (см. рис. 3.4), на удалении 10 м от него, не учитывающее различие УЭС грунтов и вызванное этим увеличение потенциала в интервале 40-100 м, привело бы к выделению здесь «анодной» зоны.

Таким образом, наличие грунтов с различными УЭС определяет различие градиентов потенциала от блуждающих токов в них, особенно вблизи электропроводных объектов, которые сами могут являться проводниками, источниками, приемниками токов большой интенсивности. Потому при работах по определению наличия блуждающих токов на площадках и трассах знание УЭС грунтов необходимо для правильного истолкования измеренных значений разностей потенциалов.

В рассмотренном нами примере, иллюстрированном рис. 3.3 и 3.4, УЭС грунтов различаются в 2 раза. При проведении изыскательских работ в горно-складчатых областях соотношения УЭС различных блоков пород может достигать больших величин. Например, УЭС зоны тектонического разлома, заполненного в верхней части линейной глинистой корой выветривания, будет по-

рядка 20-80 Ом·м, УЭС коренных пород различного генезиса, вмещающих эту разломную зону, составит первые сотни-тысячи Ом·м [4]. То есть, градиенты потенциалов в блоках пород с различным электрическим сопротивлением могут отличаться существенно при прохождении через них токов одинаковой интенсивности, источниками которых являются близко расположенные от точек измерений линейные проводники.

В случаях измерения в неоднородной по УЭС среде блуждающих токов от источников любой формы и природы, удалённых от точек измерения, следует сознавать, что ток будет распространяться по путям наименьшего сопротивления, т. е., по зонам разломов, пластов, блоков пород с наименьшими значениями УЭС (в случае присутствия в природной среде неизолированных искусственных электропроводных линейных объектов блуждающие токи будут протекать по ним). Тогда повышенная плотность токов в блоках пород с пониженными УЭС обусловит относительное увеличение разности потенциалов, измеряемой на паре приемных электродов. Чтобы оценить плотность тока в районе точки измерений (а именно ток и определяет опасность и интенсивность электрохимической коррозии подземных сооружений), требуется знать удельное электрическое сопротивление грунтов. Методику расчётов плотности тока изложим в разделе 3.2 (пункт 3). Там же покажем необходимость учёта значений УЭС в точке измерений при вычислении плотности блуждающего тока.

3.2. Обработка результатов измерения разности потенциалов

ГОСТ 9.602-2005 в пункте Д3 рекомендуемого прилож. Д указывает, что если в процессе измерений в линии длиной 100 м зафиксирована разность потенциалов более 0,5 В, то в этой точке следует отметить наличие блуждающих токов. В протоколе измерений на точке отмечается этот факт – и предполагается, что при проектировании защиты сооружения от коррозии это будет учтено наряду с другими факторами (агрессивность вод, коррозионная активность грунтов и др.) для расчетов степени защиты.

Мы полагаем, что при различных видах исследовательских задач, наряду с установлением факта наличия блуждающих токов, важно знать их природу, характер поведения, направление, плотность. Все эти элементы могут быть выявлены при обработке ре-

зультатов наблюдений. Приведём алгоритм обработки результатов по пунктам для удобства восприятия и использования методики.

1. Для оценки интенсивности измеренных разностей потенциалов и характера их поведения за время регистрации следует построить графики разностей потенциалов, измеренных в ортогональных линиях наблюдений (рис. 3.5, 3.6). Анализируя значения разностей потенциалов, приведённые на рис. 3.5, можно сделать заключение об относительно устойчивом характере блуждающих токов в этой точке во время проведения измерений. Среднее значение разности потенциалов в линии «юг-север» составляет плюс 38 мВ/50 м, в линии «запад-восток» – минус 39 мВ/50 м. В линии «юг-север» отмечались кратковременные – на 10-30 с – отклонения разности потенциалов от среднего значения на ±5-12 мВ. В те же моменты времени в линии «запад-восток» разность потенциалов не изменялась. Это указывает на наличие искусственного источника блуждающих токов, расположенного к югу или северу от линий наблюдений.

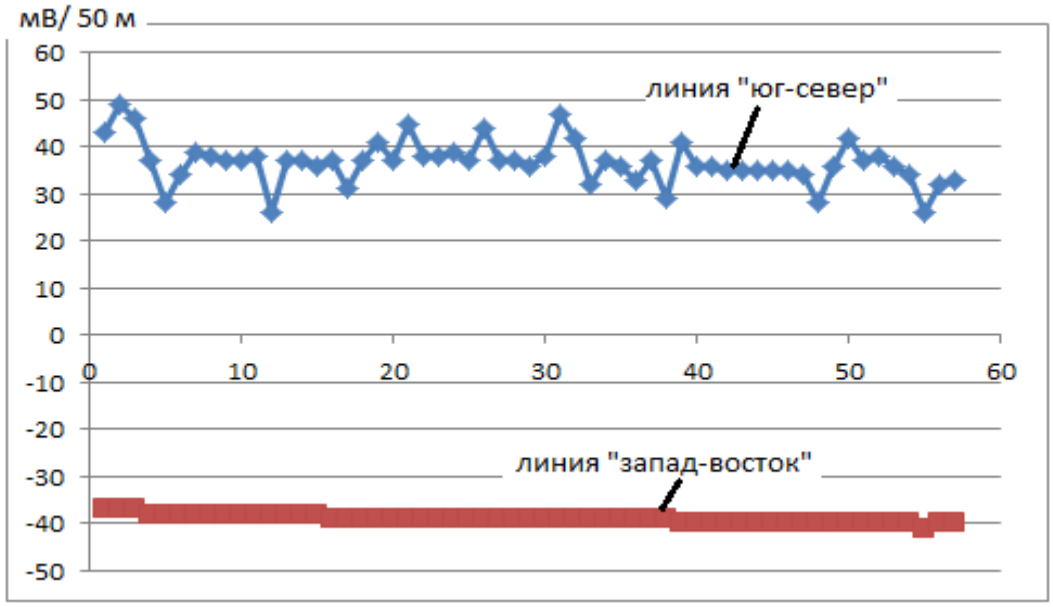


Рис. 3.5. Относительно устойчивые значения разности потенциалов блуждающих токов, измеренные угловой установкой приемных линий длиной 50 м через 10 с в г. Кировграде на перекрёстке ул. Ленина-Кировградская

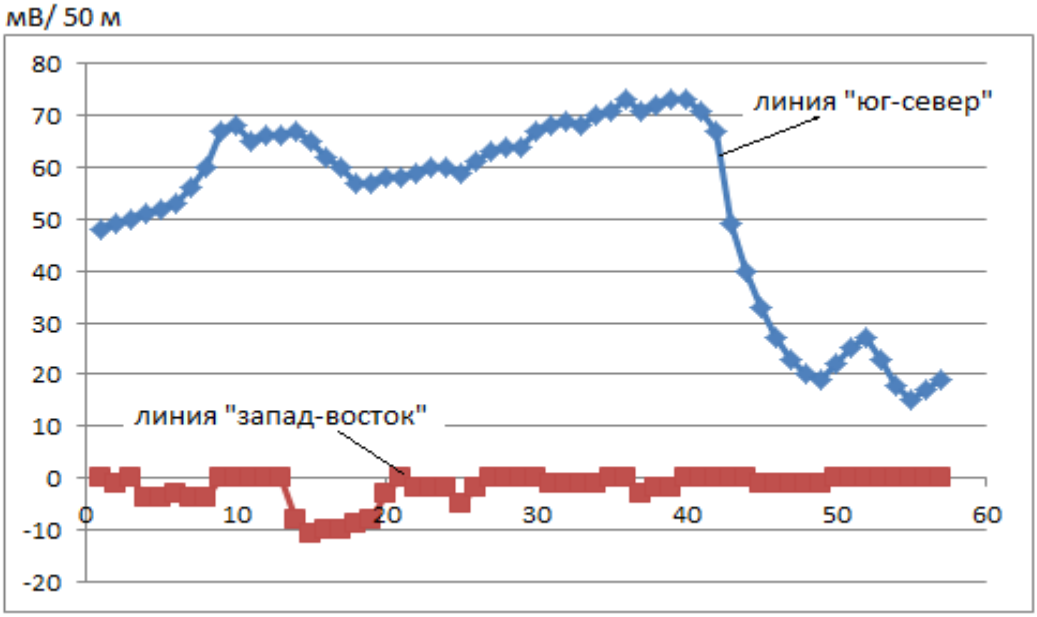


Рис. 3.6. Пример неустойчивых во времени значений разности потенциалов блуждающих токов в г. Кировграде на перекрёстке ул. Ленина-Кирова

Картина поведения измеренных разностей потенциалов, приведённая на рис. 3.6, показывает течение тока за время наблюдения в субмеридиональном направлении, с севера на юг, и изменение его интенсивности втрое в последней четверти интервала наблюдений. Здесь исследователю более интересно максимальное значение тока, характер его спада, новое установившееся значение поведение тока, чем характеристика его среднего значения за период наблюдений. Последнее значение может быть равным и нулю, если ток за время наблюдений сменил направление на противоположное. Такое наблюдается, например, вблизи железных дорог при остановке и отправлении электропоезда со станции: при остановке состав отдаёт ток своих динамомашин в контактную сеть, при наборе скорости – забирает ток.

Максимальное значение тока, его полярность при стекании или натекании на подземные металлические сооружения имеют важное значение при определении опасности коррозии – потому эти сведения и следует отразить в камеральных отчётных материалах по обработке материалов измерений разностей потенциалов.

2. Определение направления тока в районе точек наблюдений. Если за время измерений разности потенциалов в обеих ортогональных линиях были стабильными, то следует, что ток не изменял направления и интенсивности. Проиллюстрируем определение

направления тока графическими построениями векторов разностей потенциалов (рис. 3.7). Рассчитаем среднее значение разности потенциалов. В примере, изображенном на рис. 3.6, в линии «юг-север» она равна 38 мВ/50 м, в пересчёте на базу наблюдения 100 м среднее значение разности потенциалов *U* составит 76 мВ. При измерениях электрод *M* располагался к северу от точки измерений, он и показал повышенное (положительное) значение потенциала именно там. Следуя правилу изображения движения тока от области с повышенным (положительным) потенциалом к области с пониженным, отложим из точки измерений вектор потенциала в направлении с севера на юг.

Потенциал *U* в линии «запад-восток» при пересчёте на базу измерений 100 м составляет минус 78 мВ. Электрод *N* располагался на западе, *M* – на востоке. В зоне электрода *M* потенциал ниже, значит, вектор снижения потенциала направим из точки наблюдений на восток.

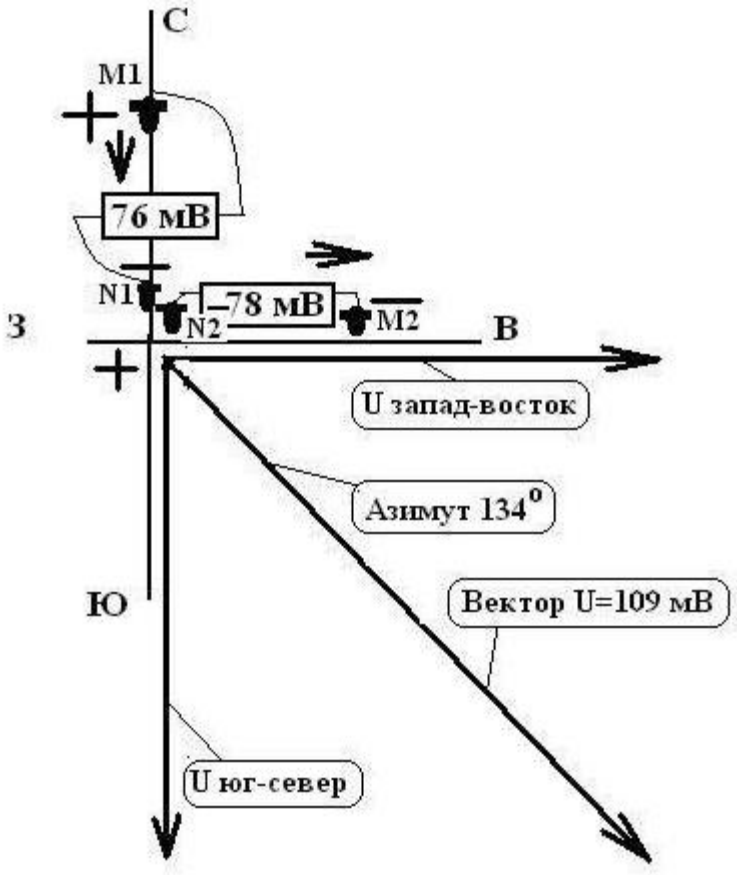


Рис. 3.7. Пример построения вектора разности потенциалов от блуждающего тока в грунте по измерениям с угловой установкой

Суммарный вектор разности потенциала можно построить графически, рассчитать по теореме Пифагора, он составит 109 мВ. Азимут его **А**, отсчитанный вправо от направления на север, можно рассчитать по формуле:

$$\acute{R} = \mathrm{arctg}\frac{U\,\text{çŕďŕä} - \text{âîńňîę}}{U\,\text{ţă} - \text{ńĺâĺđ}}. \qquad (3.2)$$

В этом примере он составит 134°. При использовании формулы (3.2) следует учитывать знаки разностей потенциалов, определяющие номер квадранта, в котором будет расположен суммарный вектор.

В случае, когда за период наблюдений разность потенциалов в каждой из ортогональных линий изменяет величину и даже знак, можно определить интенсивность и направление вектора суммарного потенциала в любой момент времени. Это и будет служить характеристикой поведения блуждающего тока в данной точке в данное время, по которым можно судить об источнике тока, его интенсивности, опасности для защищаемых от коррозии сооружений.

Если ориентировка измерительной установки была привязана к проложению трассы исследований, т. е., одна приемная линия была направлена параллельно трассе, а другая – вкрест, то азимут течения тока можно также привязать к простиранию трассы или привести к полярной географической системе, внеся поправку за ориентировку трассы в каждой точке измерений.

3. Определение плотности блуждающих токов j (в мА/м^2) можно сделать, зная измеренную разность потенциалов U (мВ) в приемной линии MN длиной L (м), удельное электрическое сопротивление ρ (Ом·м = мВ·м/мА) грунта, в котором распространяется ток, по формуле

$$j = \frac{U}{L \cdot \rho}. \qquad (3.3)$$

Удельное электрическое сопротивление грунта определяют электроразведочными методами (см. разд. 2), лабораторными [1], принимают типичные значения, определённые ранее для данного грунта в данном регионе.

Для примера, иллюстрированного рис. 3.5, параметры которого приведены в пункте 2 настоящего раздела, при условии, что УЭС грунта в точке измерений 70 Ом·м, плотность тока составляет 0,016 мА/м^2. Разность потенциалов при расчёте принята 109 мВ, т. е., её полный вектор. Размер установки L=100 м.

Важность учёта УЭС среды, в которой проводится измерение разности потенциалов блуждающих токов и расчёт плотности тока, покажем, используя значения разности потенциалов от тока, стекающего с линейного проводника в среду, включающую контакт грунтов с УЭС 100 и 200 Ом·м (см. рис. 3.3). Если при расчёте плотности тока по формуле (3.3) использовать некое усреднённое, неточное, перенесённое с других точек замеров значение УЭС в точку, где проведена регистрация разности потенциалов блуждающих токов, то это приведёт к ошибкам в определении интенсивности блуждающего тока. На рис. 3.8 показано, что в блоке более высокоомных грунтов плотность тока будет завышена, если в расчётной формуле использовать значения УЭС грунтов, измеренные в соседнем блоке.

Ещё можно отметить завышение значений плотности тока в точках, расположенных в низкоомной среде, но располагающихся вблизи контакта и на контакте с высокоомной средой – за счёт характерной особенности поля потенциала в блоково-неоднородной по электропроводности среде. Потому выбор точек измерения блуждающих токов целесообразно делать после проведения измерений УЭС грунтов, с учётом знания о наличии блоков различного сопротивления, в пределах блоков, не на их границах.

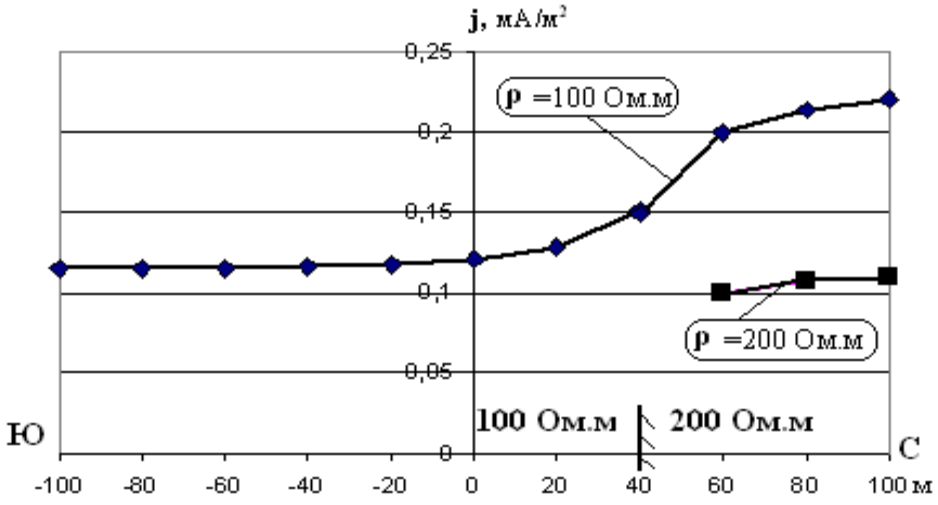


Рис. 3.8. Значения плотности тока *j*, рассчитанные по формуле (3.3), для условий примера стекания тока с линейного проводника в среде с блоками пород, УЭС которых 100 и 200 Ом·м (см. рис. 3.3), по «измерениям» разности потенциалов установкой приемных электродов разносом 50 м, расположенных перпендикулярно к проводнику

При расчёте плотности блуждающих токов в среде, имеющей горизонтально-слоистое строение, с различными УЭС слоёв, следует полагать, что ток наибольшей плотности течёт в слое с наименьшим УЭС. Теорией и практикой рудной электроразведки установлено [4, 11], что в многослойной среде линии потенциала от источника тока на границе слоёв с различными УЭС не испытывают разрыва, а напряжённость поля – испытывает, и плотность тока в этих слоях различная. При расчётах плотности токов в точках, где определяют потенциальную коррозионную активность грунтов, следует использовать УЭС самого низкоомного слоя. Возможно, подземное металлическое сооружение будет залегать не в самом этом слое, а в более высокоомном. Тем не менее, блуждающий ток, распространяющийся на огромной площади по электропроводному слою и преодолевающий природное сопротивление со стороны горной породы своему растеканию, в случае наличия неизолированного металлического проводника, располагающегося в соседнем слое, может преодолеть на небольшом расстоянии сопротивление более высокоомного слоя и перетечь в проводник. К тому же, если проводник протяжённый, потенциал его может существенно отличаться от потенциала среды в районе протекания блуждающего тока. Он может быть нулевым, иметь пониженный потенциал, как в той части пространства, куда течёт ток. В этом случае линейный проводник, имеющий электропроводность, во много раз превышающую электропроводность грунтов, шунтирует блуждающий ток, проведёт его через своё сечение. В любом случае, если потенциал проводника отличен от потенциала среды в данной точке, вблизи проводника создастся высокая напряжённость электрического поля, которая будет влиять на носителей электрического тока и «притягивать» их к проводнику.

Результаты обработки разностей потенциалов блуждающих токов ортогональной установкой можно представить в табличной форме, включающей следующие виды колонок:

Номер точки	Разность потенциалов в линии «юг-север», мВ/100 м	Разность потенциалов в линии «запад-восток», мВ/100 м	Вектор разности потенциалов, мВ/100 м	Азимут тока А, градусы	Плотность тока, мА/м^2	УЭС грунта, Ом·м
6	76	-78	109	134	0,015	70

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНОДНЫХ И КАТОДНЫХ ЗОН БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

Определение в грунтах и на сооружениях зон стекания тока (анодная) и натекания (катодная) требует знания о наличии, направлении токов, объектах, способных проводить ток. Поясним эту терминологию и ситуацию рисунком (рис. 4.1).

Станция катодной защиты подаёт отрицательное напряжение минус 0,8 В на металлический трубопровод с целью его защиты от коррозии. Пластина анодного заземления помещена в нескольких сотнях метров от трубы в тектоническую электропроводную зону. Ток с анода под действием разности потенциалов по грунту будет двигаться к катоду. Последний – заземление линейного типа, потому силовые линии тока будут направлены к нему широким фронтом, составляющим сотни метров. Но и анодное заземление, помещенное в зону с наименьшим электрическим сопротивлением, в данном случае в тектоническую зону, будет фактически не точечным, а, по виду растекания тока, –линейным. Еще более электропроводный стальной водовод, пересекающийся с тектоническим нарушением, примет на себя часть тока анодного заземления. В примере, приведённом на рис. 4.1, водовод располагается в противоположной от катодного заземления стороне, и основные линии напряженности поля дипольной установки располагаются между катодным и анодным заземлениями. Тем не менее, водовод будет заряжен от анодного заземления и сам станет частью анодного заземления, то есть, потенциал его удалённых от анодного заземления частей относительно грунта будет положительным и он будет подвержен опасности электрохимической коррозии.

Картина распределения тока в грунтах может быть установлена в результате системных наблюдений за разностями потенциалов при помощи измерительных установок. Так можно установить положение анодных и катодных зон подземных сооружений и предусмотреть меры защиты от коррозии.

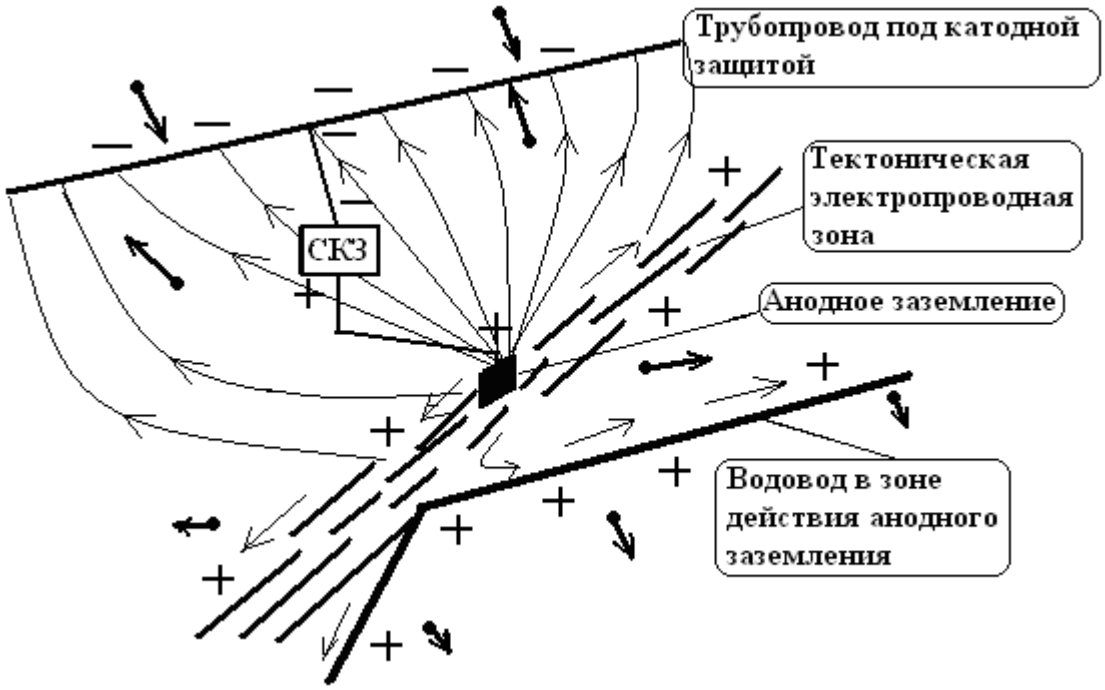


Рис. 4.1. Катодные и анодные зоны на искусственных металлических сооружениях вблизи станции катодной защиты (СКЗ). Тонкие стрелки показывают направление растекания тока от силовой установки СКЗ. В точках показано направление и интенсивность вектора разности потенциалов от токов в грунте

На рис. 4.2 приведён ещё один случай возникновения на линейном проводнике зон натекания и стекания тока, возникших в результате шунтирования этим проводником блуждающего тока, распространяющегося в грунте. Источником блуждающего тока в рассматриваемом примере могут быть токи теллурической природы, фильтрационной, искусственной (стекание с линейного проводника). При плотности 0,01 мА/м^2 ток создаст в грунте с УЭС 100 Ом·м градиент потенциала, линии которого могут быть установлены работами методом естественного поля [3, 9]. Линейный стальной неизолированный проводник (труба водовода от водозаборной скважины) в поле тока выступит эквипотенциальным проводником, около которого изолинии потенциала буду искривлены: в районе скважины пониженный потенциал протяженного проводника, дальний конец которого находится в области «отрицательного» поля, «оттолкнёт» положительные значения потенциала. Здесь потенциал проводника будет на 0,33 В ниже потенциала грунта. Значит, здесь на трубе создастся смещение потенциала в катодную зону, что замедлит скорость коррозии металла.

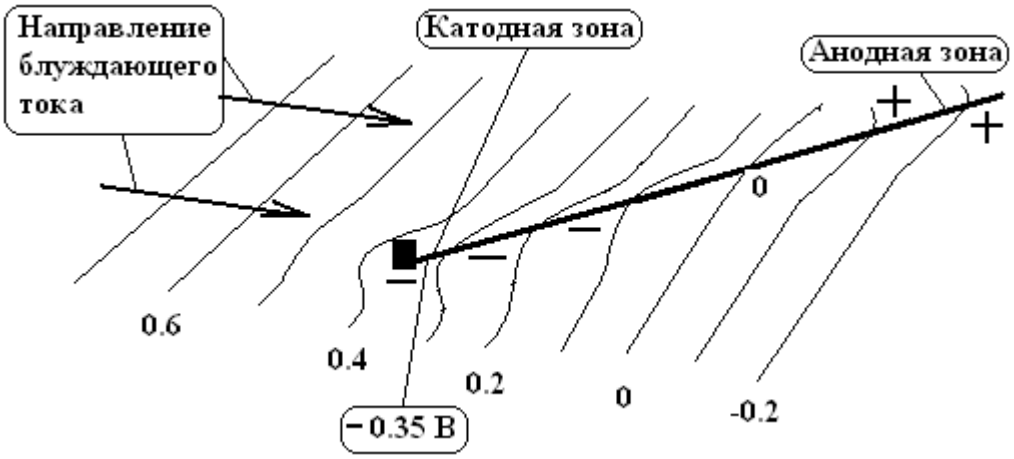


Рис. 4.2. Искажение стальным неизолированным водоводом изолиний потенциала (в В) в грунте с УЭС 100 Ом·м от блуждающего тока плотностью 0,01 мА/м^2

Наоборот, на отрезке трубы, удалённом от скважины, в результате стекания тока с металлического проводника создастся смещение потенциала в положительную сторону, это анодная зона, подверженная электрохимической коррозии. Будь такой проводник расположенным в зоне влияния, например, электрофицированной железной дороги, где токи утечек в момент прохождения составов могут составлять десятки ампер, отдельные его части будут подвергаться интенсивной электрохимической коррозии.

Проведение электроразведочных работ по определению наличия и интенсивности блуждающих токов на участках изысканий позволит установить их источники, характер, выработать меры защиты сооружений от коррозии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Защита подземных металлических сооружений от коррозии – важная технологическая и экономическая задача. В силу наличия многообразных процессов и факторов, влияющих на скорость коррозии, эта задача является и чрезвычайно сложной. Так же как невозможно отменить решение этой задачи, так же невозможно и упростить подход к её решению, особенно на стадии прогнозирования опасности и активности коррозионных процессов. Электроразведочные методы определения характера геоэлектрического разреза, коррозионной активности грунтов, наличия блуждающих токов, их источников, характера, направления, интенсивности должны выступать обязательным и основополагающим этапом исследования и решения задачи защиты сооружений от коррозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ГОСТ 9. 602-2005*. Единая система защиты от коррозии и старения. Подземные сооружения. Общие требования к защите от коррозии
2. *СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства*. Часть I. Общие правила производства работ
3. *СП 11-105-97. Правила производства работ в районах распространения многолетнемёрзлых грунтов.* Часть IV
4. *Якубовский Ю. В., Ренард И. В*. Электроразведка: учебн. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1991. 359 с.
5. *Саковцев Г. П.* Сравнение чувствительности разных методов электропрофилирования к поверхностным и глубинным неоднородностям. // Вопросы разведочной геофизики. Вып. XXXIV. Госгеолтехихдат. М., 1959. с. 36-50.
6. *Кузин А. В.* Трёхэлектродные ВЭЗ вблизи электропроводной линейной помехи. // Известия УГГГА, вып. 18. Серия Геология и геофизика. Екатеринбург, 2003. С. 200-206.
7. *Сапожников В. М., Голиков Ю. В., Петряев В. Е.* О целесообразности вертикального электрического зондирования двухэлектродной установкой в рудных районах. // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. Свердловск, 1980. С. 36-43.
8. *Руководство по эксплуатации систем противокоррозионной защиты трубопроводов.* М., ВНИИГАЗ, 2003. – 163 с.
9. *Инструкция по электроразведке*. Л., Недра, 1984. 352 с.
10. *Озёрская М. Л.* Исследование коррозии подземных металлических сооружений методами электроразведки. Гостоптехиздат. М., Л., 1950. 80 с.
11. *Редозубов А. А.* Электроразведка. Часть 1. Электроразведка постоянным током. Поляризационные методы электроразведки: учебное пособие. Екатеринбург: УГГГА, 2004. 327 с.
12. *Козырин А. К., Косых Е. С., Блинкова Н. В.* Поле линейного электрода в слоистых средах. – Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений. Труды Свердловского горного ин-та, вып. 128. Свердловск, Изд-во СГИ, 1975. С. 76-88.
13. *Серков В. А.* Выбор оптимальной установки в усовершенствованном методе изолиний. // Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений. Труды Свердл. горного ин-та, вып. 128. Свердловск, Изд-во СГИ, 1975. С. 27-35.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ……3
1. ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГРУНТОВ И БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ ……4
2. ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГРУНТОВ……..……8
2.1. Методика работ……8
2.2. Аппаратура и оборудование для измерения УЭС грунтов…….12
3. ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ…..……..14
3.1. Методика измерения разности потенциалов блуждающих токов…….14
3.1.1. Измерительные установки, способы регистрации……...14
3.1.2. Ориентировка измерительной установки……15
3.1.3. Влияние УЭС грунтов на разность потенциалов……19
3.2. Обработка результатов измерения разности потенциалов…….23
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНОДНЫХ И КАТОДНЫХ ЗОН БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ……..……30
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…….……....33
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……...…….34