ОТЗЫВ

на автореферат диссертации *Пригара Андрея Михайловича на тему «Научно-методические основы оценки и прогноза устойчивости природно-технических систем при подземной разработке соляных месторождений»,* представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.6.7 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

В условиях интенсивной эксплуатации соляных месторождений, сопровождающейся формированием сложных природно-технических систем (ПТС), проблема обеспечения их устойчивости приобретает критическое значение. Несмотря на значительный объем накопленных знаний и нормативных требований, на соляных рудниках продолжают происходить аварии, приводящие к утрате подземных сооружений и ценных запасов полезных ископаемых. Это свидетельствует о недостаточной эффективности существующих подходов к прогнозированию опасных инженерно-геологических процессов. Диссертационная работа Пригара А.М. направлена на решение данной проблемы путем разработки новых научно-методических основ оценки и прогноза устойчивости ПТС, базирующихся на применении высокоразрешающих геофизических методов. **Актуальность темы не вызывает сомнений** и обоснована как научной значимостью, так и практическими потребностями горнодобывающей отрасли.

Основными задачами исследования являлись: оценка особенностей геологической среды соляных месторождений и факторов активизации опасных процессов; создание программно-алгоритмического комплекса для численного моделирования волновых полей; формирование методики шахтных сейсморазведочных работ; разработка высокоразрешающего метода шахтной сейсморазведки; получение новых данных об инженерно-геологических условиях; комплексный анализ закономерностей опасных процессов; формирование инженерно-геологических моделей ПТС; разработка методики анализа состояния водозащитной толщи (ВЗТ); создание системы сейсмического мониторинга гидроизолирующих целиков; апробация и внедрение результатов. Поставленные задачи решены автором в полном объеме, что подтверждается содержанием автореферата и перечнем публикаций.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теоретических основ инженерной геологии соляных месторождений, а именно:

– в создании и научном обосновании нового метода инженерно-геологических исследований – шахтной сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений (ПВРО), базирующегося на выявленных закономерностях распространения упругих волн в условиях полного пространства;

– в разработке инженерно-геологических моделей ПТС, учитывающих геологическое строение, геоморфологические признаки и выделяющих структурные элементы по различиям в упругих свойствах горных пород;

– в установлении количественных закономерностей распределения инженерно-геологических характеристик разреза и их связи с риском возникновения опасных геологических процессов в ВЗТ;

– в создании методики детального сейсмического анализа и мониторинга состояния геотехнических массивов с заданными прочностными, деформационными и гидроизолирующими характеристиками.

Практическая значимость работы определяется тем, что разработанные научно-методические основы позволяют повысить безопасность строительства и эксплуатации подземных сооружений при подземной разработке соляных месторождений. Созданный и внедренный в производство метод шахтной сейсморазведки ПВРО обеспечивает изучение геологического строения ВЗТ и состояния гидроизолирующих целиков с разрешающей способностью до 1–2 м. Разработанное программное обеспечение (12 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ) используется при обработке и интерпретации данных. Полученные новые геологические сведения учтены при построении инженерно-геологических моделей участков Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМС), проектировании горных работ и разработке проектов ликвидации участков шахтных полей. Разработанные методики позволяют выделять участки с недопустимым риском активизации опасных процессов. Это предотвращает потери запасов полезных ископаемых на сумму порядка 300 миллиардов рублей на один затопленный рудник (в ценах 2026 года) и снижает затраты на геологоразведочные работы (производительность полевых сейсморазведочных работ выше в 2,6 раза).

Степень достоверности результатов исследований подтверждена сопоставлением результатов теоретических и натурных экспериментов, заверкой итогов оценки и прогноза инженерно-геологических условий контрольным бурением и маркшейдерскими наблюдениями на промышленных объектах, в том числе при изучении участков утраты целостности ВЗТ и гидроизолирующих целиков, а также результатами исследований других научных организаций. Основные положения работы прошли апробацию на многочисленных международных и всероссийских научно-практических конференциях, что также подтверждает их достоверность.

Основными достоинствами работы являются:

Разработка и научное обоснование нового высокоразрешающего метода шахтной сейсморазведки ПВРО, позволяющего оперативно получать детальные структурные, тектонические и физико-механические характеристики массивов горных пород. Новизна

метода заключается в обосновании оптимальной ориентации источника и приемников, разработке двухлинейной системы возбуждения для разделения отражений из верхнего и нижнего полупространств, создании математического аппарата и алгоритмов обработки для подавления интерференции отражений. Выявление ранее неизвестных для ВКМС каньонообразных эрозионных врезов, создание геолого-геомеханической модели их происхождения, что принципиально меняет представления об инженерно-геологических условиях месторождения и позволяет прогнозировать зоны повышенного риска. Разработка трехстадийной технологии построения инженерно-геологических моделей ПТС, обеспечивающей значительное повышение их детальности и объективности за счет последовательного учета данных бурения, горных выработок и результатов шахтной сейсморазведки ПВРО. Установление количественных закономерностей влияния структурных параметров (наличие поднятия, мощность ритмопачек и покрывающей каменной соли, угол падения, расстояние от оси поднятия) на риск возникновения опасных процессов, что позволило создать формализованную методику анализа состояния ВЗТ. Создание методики детального сейсмического анализа и мониторинга гидроизолирующих целиков, обеспечивающей оценку их состояния по комплексу характеристик, включая ширину, упругие константы, предел прочности на сжатие и степень нагружения.

Отмечая высокий теоретический уровень работы и значительный объем полученных результатов, следует высказать некоторые замечания и пожелания.

В автореферате детально представлены результаты применения разработанного метода для изучения ВЗТ и гидроизолирующих целиков. Однако не в полной мере раскрыты возможности метода ПВРО для решения других инженерно-геологических задач на соляных месторождениях, например, для изучения физико-механических свойств вмещающих пород в зонах тектонических нарушений или для контроля состояния подземных выработок в процессе их эксплуатации. Хотелось бы видеть более широкий спектр потенциальных применений разработанного подхода.

В третьем и четвертом защищаемых положениях автор оперирует таким понятием, как «выход сейсмических атрибутов за пределы 2σ». Следует пояснить, какое распределение имеется в виду (нормальное или иное) и каким образом обоснован выбор именно двух среднеквадратических отклонений в качестве порогового значения для выделения аномалий. Этот вопрос является принципиальным, поскольку от выбора порога зависит чувствительность методики и количество ложных срабатываний.

Разработанные методики, безусловно, имеют высокую практическую значимость для Верхнекамского месторождения. Однако в автореферате не указано, проводились ли исследования на других соляных месторождениях, и насколько универсальны предложенные подходы для месторождений с иными геологическими условиями. Ограничение области применения одним месторождением не снижает ценности работы, но для докторской

диссертации желательно показать потенциальную применимость разработок для более широкого круга объектов.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки выполненного исследования и носят, скорее, дискуссионный характер, указывая на направления для дальнейших разработок.

Оформление автореферата соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Автореферат содержит все необходимые структурные элементы, включая общую характеристику работы, содержание глав, защищаемые научные положения, заключение и список публикаций автора.

Диссертация Пригары А.М. соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), а также соответствует научной специальности 1.6.7 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Я, Латыпов Айрат Исламгалиевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Латыпов Айрат Исламгалиевич
Доцент, доктор геолого-мннералогических наук
Специальность 1.6.7 - Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение
Профессор кафедры общей геологии и гидрогеологии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет
42008, г. Казань, ул. Кремлевская д.4/5, тел. +79872973567, airatlat@mail.ru

_____ Латыпов А.И.

02 сентября 2026 г

Подпись профессора Латыпова Айрата Исламгалиевича заверяю: [должность и ФИО заверяющего лица]