

## 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.

Проблема обеспечения устойчивости природно-технических систем (ПТС) при подземной разработке соляных месторождений относится к числу наиболее *актуальных задач* инженерной геологии. Мировая практика эксплуатации соляных рудников свидетельствует о значительном количестве аварийных ситуаций, связанных с активизацией опасных геологических процессов. Только на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей (ВКМС) потеряно два рудника, что сопровождалось уничтожением дорогостоящих подземных сооружений и безвозвратной потерей значительных запасов полезных ископаемых. Существующие нормативные требования и традиционные методы инженерно-геологических изысканий, как показывает практика, не обеспечивают необходимой детальности прогноза и своевременного выявления предпосылок к развитию опасных процессов. Это обусловлено недостаточной информативностью инженерно-геологических моделей и ограниченной эффективностью систем мониторинга. Диссертационная работа Пригара А.М. *направлена на решение указанной научной проблемы* путем разработки новых методических подходов, базирующихся на применении высокоразрешающей шахтной сейсморазведки.

Автором лично выполнен обширный комплекс теоретических и экспериментальных исследований, охватывающий период более 28 лет. Непосредственное участие соискателя проявилось в разработке алгоритмов численного моделирования волновых полей, создании нового метода шахтной сейсморазведки, обосновании методик полевых работ и камеральной обработки данных, разработке инженерно-геологических моделей, методик оценки и прогноза состояния водозащитной толщи и массивов с заданными прочностными, деформационными и гидроизолирующими свойствами, а также во внедрении результатов в производственную деятельность на рудниках ВКМС. Значительный объем фактического материала получен в ходе опытно-методических и промышленных работ, выполненных при участии автора в Горном институте УрО РАН, Пермском государственном университете и АО «ВНИИ Галургии». Итогом работы стало создание программно-алгоритмического комплекса, включающего 12 зарегистрированных программ для ЭВМ, и получение патента на изобретение.



*Научная новизна* представленной диссертации заключается в разработке и обосновании нового высокоразрешающего метода шахтной сейсморазведки на поперечных волнах с разделением отражений (ПВРО). Впервые для соляных месторождений установлены закономерности распространения упругих волн в условиях полного пространства, определяющие оптимальную ориентацию источников и приемников. Автором выявлены неизвестные ранее на ВКМС каньонообразные эрозионные врезы, предложена динамическая модель их формирования. Созданы трехстадийные инженерно-геологические модели ПТС, учитывающие строение, тектонику и упругие свойства пород. Установлены количественные закономерности влияния структурных параметров на риск опасных процессов, разработаны классификации состояний ПТС по комплексу геолого-геофизических признаков. Кроме того, предложена методика детального сейсмического мониторинга состояния гидроизолирующих целиков с определением их упругих констант, предела прочности и степени нагружения.

*Достоверность и обоснованность полученных результатов* подтверждается сопоставлением данных численного и физического моделирования, верификацией прогнозов контрольным бурением и маркшейдерскими наблюдениями на промышленных объектах, включая участки нарушения целостности водозащитной толщи. Использование апробированных методов математического моделирования и корреляционного анализа, а также согласованность полученных выводов с результатами исследований других научных школ свидетельствуют о высокой степени достоверности защищаемых положений.

*Теоретическая значимость* работы состоит в расширении представлений о закономерностях формирования инженерно-геологических условий соляных месторождений, развитии теории ПТС применительно к подземным горным работам и обосновании новых критериев оценки их устойчивости. Разработанные научно-методические основы вносят существенный вклад в инженерную геологию, мерзлотоведение и грунтоведение в части создания детальных геолого-геофизических моделей и методов мониторинга.

*Практическое значение* диссертационного исследования заключается в создании и внедрении в производственный процесс метода шахтной сейсморазведки ПВРО, обеспечивающего изучение строения водозащитной толщи и состояния целиков с высокой разрешающей способностью. Полученные геологические сведения (эрозионные врезы, зоны замещения, характеристики инверсионного рельефа) использованы при построении инженерно-геологических моделей участков ВКМС и проектировании горных работ. Разработанные методики позволяют обоснованно выделять участки с недопустимым риском активизации опасных процессов и корректировать проектные решения, что предотвращает потери запасов полезных ископаемых и повышает безопасность эксплуатации. Согласно



данным автореферата, производительность полевых сейсморазведочных работ повышена в 2,6 раза, а возможности по предотвращению потерь запасов от потери одного рудника (на примере двух затопленных рудников) оцениваются в сумму порядка 300 миллиардов рублей (в ценах 2026 года).

*К достоинствам работы* следует отнести комплексный подход, объединяющий инженерно-геологическое районирование, грунтоведение и высокоразрешающую геофизику. Особого внимания заслуживает адаптация метода ПВРО для решения задач в горизонтальной плоскости и на двух типах волн, что позволило впервые организовать мониторинг геотехнических массивов с заданными свойствами. Созданная система атрибутивного анализа сейсмических записей и формализованный показатель риска наличия опасных процессов являются законченным инструментом для практического прогноза.

#### *Замечания по работе.*

В автореферате, при описании инженерно-геологических моделей ПТС, значительное внимание уделено структурным и тектоническим элементам (эрозионные врезь, инверсионный рельеф, зоны замещения). При этом практически не приведены количественные данные о физико-механических свойствах пород, слагающих эти структурные элементы, что необходимо для полной геомеханической оценки устойчивости и построения прогнозных деформационных моделей.

Предложенная методика прогноза состояния гидроизолирующих целиков основана на корреляционных связях между упругими параметрами и пределом прочности. Однако в тексте не указаны погрешности таких корреляций и не представлены данные о влиянии минералогического состава солей (калийные, магниевые, натриевые) на точность прогноза, что может ограничивать применимость методики для разных типов соляных месторождений.

Разработанные классификации состояний ПТС (таблицы 3 и 5) используют дискретные границы параметров (например, мощность ВЗТ более 70 м, от 70 до 20 м, менее 20 м), однако не приводится обоснование выбора именно этих пороговых значений с учётом возможных вариаций горно-геологических условий.

При описании гидроизолирующих перемычек (стр. 28–29) говорится о невозможности установки контролирующих устройств в ликвидируемой части шахтного поля, однако не рассматриваются возможные альтернативные методы дистанционного контроля (например, электромагнитные или георадарные методы), которые могли бы дополнить сейсмический мониторинг.

Указанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общей высокой оценки выполненного исследования.

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

Я Заалишвили Владислав Борисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Заалишвили Владислав Борисович

Заалишвили Владислав Борисович

д.ф.-м.н., проф.

специальность 04.00.22 «Физика твердой Земли»,

Научный руководитель, заведующий отделом геофизики, инженерной сейсмологии и геоинформатики,

Геофизический институт – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук»

362002, ул. Маркова 93а г. Владикавказ,

тел. 8-8672-764084

e-mail: [vzaal@mail.ru](mailto:vzaal@mail.ru)

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

Заалишвили Владислав Борисович

Подпись Заалишвили В.Б. заверяю:

Начальник общего отдела Геофизического института – филиала Владикавказского научного центра РАН

\_\_\_\_\_  
Л.Г. Крыгина