

Отзыв официального оппонента

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

Сложно переоценить актуальность исследований, направленных на углубленное изучение устойчивости природно-технической системы (ПТС) в условиях подземной разработки соляных месторождений. Диссертационное исследование посвящено установлению закономерностей распространения упругих волн в массиве, находящемся под активным техногенным воздействием, определению признаков наличия опасных процессов и оценке состояния природно-технической системы по степени устойчивости. На территории Пермского края находятся два соляных рудника, потерянных в результате разрушительных геодинамических процессов на месторождениях солей. Определенные сочетания природных и техногенных факторов привели к многочисленным авариям на соляных рудниках, оставаясь при этом слабо изученными в инженерно-геологическом плане.

Личный вклад А.М. Пригары в исследования заключается в сборе, обработке и анализе данных. При непосредственном участии автора выполнены теоретические расчеты, опытные и производственные работы, разработаны и получены патенты на изобретения, программное обеспечение.

Исходные данные не описаны в одном параграфе, где было бы ясно представлен используемый фактический материал по количеству скважин, проб, протяженности профилей. Хотя есть фразы в четвертой главе о 1000 скважинах, которые на стр.183 упоминаются как солеразведочные, на стр. 191 как поверхностные. Появляются вопросы: Это одни и те же скважины? Какой глубины скважины? Какие виды лабораторных работ сделаны по отобранным из скважин образцам пород? Сколько сейсморазведочных профилей было пройдено? Сколько численных моделей было создано?

Публикации и апробация работы. По теме диссертации автором опубликованы 70 статей в научных изданиях, 23 из перечня ВАК РФ, 19 проиндексированы в международных системах цитирования, 4 работы представлены патентами на изобретение, 12 работ являются авторскими свидетельствами на программы для ЭВМ, издана 1 монография. Данные материалы полностью отражают научные положения, представленные в диссертации.

Основные результаты исследований представлялись на многочисленных международных, всероссийских, региональных конференциях и были одобрены научной общественностью.

Научная новизна работы заключается в том, что разработаны научно-методические основы оценки и прогноза устойчивости природно-технических систем при подземной разработке соляных месторождений на базе шахтной сейсморазведки.

Показано, что геологическая среда соляных месторождений является динамичной геомеханической системой. Для снижения риска активизации разрушительных геодинамических процессов (таких как приток флюидов, затопление выработок, обрушение горных пород и др.) предложена схематизация состояний природно-технической системы (устойчивое, неустойчивое, критическое) с перечнем индикаторов для отнесения к той или иной категории состояния.

Сформированы теоретические и практические основы нового метода шахтной сейсморазведки на базе использования поперечных волн с разделением отражений, выполнено его научное обоснование.

Получены новые сведения об инженерно-геологических условиях соляных месторождений, влияющих на состояние природно-технических систем, выявлены

критерии наличия опасных геологических процессов и устойчивости природно-технических систем.

Разработаны модели объекта исследований, учитывающие геологическое строение, геоморфологические признаки и геомеханическую структуру горных массивов.

Предложена методика оценки структурных характеристик геологического разреза и распределения геомеханических свойств в вертикальной плоскости, позволяющая выполнять анализ инженерно-геологического состояния и прогноз гидрогеологических свойств водозащитной толщи;

Создана технология анализа геомеханического состояния и прогноза устойчивости гидроизолирующих целиков, основанная на оценке и мониторинге геометрических и свойств массивов горных пород между подземными сооружениями.

Практическая значимость. Разработанные научно-методические основы оценки и прогноза устойчивости природно-технических систем при подземной разработке соляных месторождений реализованы в программных продуктах и используются в производстве и при подготовке кадров. Полученные новые геологические сведения учтены при проектировании проходческих и закладочных работ, при разработке и реализации проектов на разведку и доразведку различных участков ВКМС, при разработке и реализации проектов по ликвидации отдельных участков шахтных полей.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов обусловлена сопоставлением теоретических результатов и натурных экспериментов, проверкой итогов оценки и прогноза инженерно-геологических условий данными контрольного бурения и маркшейдерских наблюдений на промышленных объектах, в том числе при изучении участков утраты целостности водозащитной толщи и гидроизолирующих целиков, результатами исследований других научных организаций.

Общая характеристика содержания работы

На отзыв представлен текст диссертационной работы объемом 322 страницы. Работа содержит введение, 5 глав, заключение и список литературы из 324 наименований, 129 рисунков, 8 таблиц. Структура диссертации продумана и оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат, изложен на 40 страницах.

Во введении автором обоснована актуальность темы диссертации, проведена оценка степени разработанности темы, определены объект и предмет исследования, сформулированы основная идея и цель работы, методы исследования, защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе «Природно-технические системы и инженерно-геологические условия соляных месторождений» автор приводит сведения по изученности горнопромышленных территорий, отмечая острую потребность в объективной информации об инженерно-геологических условиях и опасных процессах, требующейся для разработки и безопасной реализации проектов строительства и эксплуатации наземных и подземных сооружений. Дана характеристика ПТС Верхнекамского месторождения солей (ВКМС).

Во второй главе детально рассмотрены геофизические модели природно-технических систем горнодобывающих территорий. Вкратце описана роль геофизических исследований при инженерных изысканиях на горнодобывающих территориях, очень подробно на 110 страницах текста представлена характеристика сейсморазведки и шахтной сейсморазведки в частности.

В третьей главе рассмотрены инженерно-геологические модели природно-технических систем и выявление опасных процессов. Вполне обоснованно представлены схемы развития опасных геологических явлений и процессов в пределах ПТС (формирование трещин в сводовой зоне соляных поднятий, эрозионных врезов, инверсионного рельефа, замещение одних солей другими).

В четвертой главе изложена методика прогноза инженерно-геологических условий водозащитной толщи для повышения безопасности эксплуатации подземных сооружений. Отобрано восемь структурных признаков геологического разреза (наличие гипсово-

глинистой шляпы, наличие поднятия по кровле солей, угол падения крыльев поднятия, мощность ритмопачек, мощность покровной каменной соли, наличие понижения рельефа над соляным поднятием, расстояние от оси поднятия, наличие замещения верхних карналлитовых пластов), связанных с риском наличия опасных процессов. Представлено нормирование этих признаков, что позволило автору объединить их в единый комплексный показатель наличия опасных процессов и выполнить районирование ВКМС по этому показателю. Результаты районирования представлены в виде карты (рисунок 98), на которой области с низкими значениями указывают на отсутствие риска наличия опасных процессов, а области с максимальными значениями на максимальный риск. Полученные сведения о риске возникновения опасных процессов стали предпосылкой к разработке классификации состояния ПТС для ранжирования участков строительства подземных сооружений по условиям устойчивости ПТС. В классификацию (таблица 5) включены такие факторы, как риск наличия опасных процессов в ВЗТ, степень нагружения целиков, мощность водозащитной толщи и наличие в ней аномалий по данным бурения и проходки, а также поступление флюидов в подземные сооружения (горные выработки). Далее автор приводит результаты расчета и анализа сейсмических атрибутов, полученных по данным шахтной сейсморазведки, связанных с изменениями условий залегания верхних пластов галогенной формации и уточняет карту районирования по состоянию ПТС (рис. 104, таблица 7).

Пятая глава «Методика оценки и прогноза устойчивости гидроизолирующих целиков» - специально возводимых гидротехнических сооружений - перемычек, которые препятствуют проникновению закладочных рассолов в функционирующие подземные сооружения. Ширина целиков в пределах ВКМС составляет от 5 до 200 м. На основе численного и физического моделирования автором доказана возможность изучения строения и состояния гидроизолирующего целика с помощью отраженных волн, оценки геометрии целика, его сплошности, физико-механических характеристик. Предложена схема оценки степени устойчивости гидроизолирующего целика по пяти условиям безопасности гидроизолирующего целика, в т.ч. четыре определяются с использованием данных шахтной сейсморазведки (таблица 8).

Далее представлен ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов исследования и рекомендации по их дальнейшему использованию.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы.

Диссертация иллюстрирована рисунками и таблицами, которые наглядно представляют результаты проведенных исследований. Автореферат диссертации соответствует содержанию работы, а публикации отражают ее важнейшие выводы.

Анализ обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Автор выносит на защиту четыре защищаемых положения:

1. Создан и научно обоснован новый метод инженерно-геологических исследований - шахтная сейсморазведка на поперечных волнах с разделением отражений (ПВРО), базирующийся на выявленных закономерностях распространения упругих волн в 7 условиях полного пространства. Метод включает согласованные методики полевых работ и камеральной обработки, обеспечивающие выделение отражений от геологических границ с разрешающей способностью до 1–2 м, и позволяет оперативно получать детальные структурные, тектонические и физико-механические характеристики массивов горных пород, взаимодействующих с подземными сооружениями.

Для обоснования этого защищаемого положения автор рассматривает особенности строения, распространения и условия формирования Верхнекамского месторождения магниевых солей. Данное месторождение является одним из крупнейших в мире по

запасам ископаемых солей, в связи с чем, на его примере автор считает возможным оценить сочетания природных и техногенных факторов, при которых происходят разрушительные геодинамические процессы, показать необходимость формирования инженерно-геологических моделей и разработки системы эффективного мониторинга геомеханического состояния горных массивов. Автор справедливо полагает, что наличие аномальных участков отработки месторождения (внутрисоляные деформации (ВСД), инверсионный рельеф, эрозионные врезы (ЭВ) и зоны замещения в сочетании с техногенной нагрузкой, приводит к активизации негативных геодинамических процессов.

Замечания

Разумно привести перечисление разрушительных процессов (притоки, провалы и др.), предложить количественные критерии в сценариях развития моделей. Хотелось бы увидеть привязки моделей к реальности. Сколько площади в реальности занимают аномальные участки от площади ВКМС? Провести ранжирование процессов их по опасности, по объему ущерба от них.

2. Разработаны инженерно-геологические модели природно-технических систем соляных месторождений, основанные на трёхстадийной технологии построения: по данным бурения, с привлечением данных горных выработок и с использованием метода шахтной сейсморазведки ПВРО. Модели учитывают геологическое строение, геоморфологические признаки и выделяют структурные элементы по различиям в упругих свойствах горных пород, что позволило выявить и включить в модели ранее неизвестные для Верхнекамского месторождения каньонообразные эрозионные врезы, и уточнить морфологию инверсионного рельефа.

Для обоснования этого защищаемого положения автор проводит значительный объем численных экспериментов и физического моделирования для различных ИГУ. Эксперименты позволили установить закономерности возбуждения, распространения и приема упругих колебаний в подземных условиях, установить взаимосвязи между характеристиками волнового поля и физическими свойствами грунтового массива. По результатам экспериментальных работ установлено (глава 2), что на продольных волнах отражений от геологических границ в солях практически не наблюдается, при этом на поперечных волнах регистрируются очень четкие отражения, объективно отображающие геологическое строение. Наилучшие результаты при исследованиях верхнего полупространства для оценки состояния и свойств водозащитной толщи, достигаются с использованием горизонтально–ориентированных сейсмоприемников, закрепленных на прижимных креплениях в кровле выработки, совместно с горизонтально–ориентированными ударами в стену выработки. На основании установленных закономерностей автором предложен метод шахтных сейсморазведочных работ на поперечных волнах с разделением отражений (ПВРО), который позволяет строить детальные геофизические модели ПТС. Метод шахтной сейсморазведки ПВРО запатентован и включает в себя методики выполнения полевых работ и их камеральной обработки. Натурные применения модифицированной методики полевых работ, с использованием горизонтальных сейсмоприемников в совокупности с горизонтально–ориентированным источником упругих колебаний, позволили зафиксировать интенсивные и контрастные отражения. Считаю, что разработка этого метода, является большим достоинством диссертационной работы.

Замечания

Результаты численных экспериментов в программах Ansys, Tessleral и FS представлены без верификации данными мониторинга. У каждой модели должен быть реальный прообраз, как на рис. 37. Предполагаю, что геологическое строение месторождения достаточно сложное, поэтому требуется типизация обстановок, геологических разрезов для которых разработаны модели или будут созданы.

3. Установлены закономерности распределения инженерно-геологических характеристик разреза – наличия гипсово-глинистой шляпы, угла падения крыльев поднятия, мощности ритмопачек и покрывающей каменной соли, расстояния от оси поднятия, и их связь с риском возникновения опасных геологических процессов в водозащитной толще. С учетом выявленных закономерностей выполнено районирование территории по риску наличия эрозионных врезов и инверсионного рельефа, а также сформирована классификация состояний природно-технической системы по комплексу геолого-геофизических признаков. На этой основе создана формализованная методика анализа инженерно-геологического состояния и прогноза гидрогеологических свойств ВЗТ для повышения безопасности эксплуатации подземных сооружений.

Наиболее опасными геологическими явлениями на соляных месторождениях с точки зрения устойчивости ПТС являются: инверсионный рельеф, отмечаемый в кровле солей на куполах соляных поднятий, зоны замещения и внутрисоляные деформации, сопровождаемые изменением геомеханического состояния массивов горных пород. Кроме того, в ходе промышленного опробования разработанного метода шахтной сейсморазведки ПВРО, автором были впервые выявлены неизвестные ранее на ВКМС геологические структуры, называемые каньонообразными эрозионными врезами. Все обнаруженные на сегодняшний день ЭВ находятся в области соляных поднятий в пределах участков инверсионного рельефа.

Замечания

Используемые понятия «инженерно-геологический элемент» и «расчетный элемент» не подтверждены статистическими критериями (по ГОСТ 20522) или ссылками на технические отчеты по изысканиям.

Не приведены значения механических характеристик соляных толщ, например, модуля упругости E (табл. 3, уравнения 24-27). Из описания сжатия и растяжения образцов сильвинита и карналлита на стр. 170 непонятно, сколько образцов подверглось испытаниям, чтобы судить о статистической значимости результатов.

4. Разработана методика детального сейсмического анализа и мониторинга состояния геотехнических массивов с заданными прочностными, деформационными и гидроизолирующими характеристиками (гидроизолирующих целиков) на основе адаптированного для горизонтальной плоскости метода шахтной сейсморазведки ПВРО с регистрацией продольных и поперечных волн. Методика обеспечивает оценку, мониторинг и прогноз состояния целиков по комплексу характеристик: ширина, упругие константы (коэффициента Пуассона, модулей упругости и сдвига), предел прочности на сжатие и степень нагружения.

Обоснование этого положения автором приведено в 5-й главе. В ходе анализа условий, сопутствующих внутрисоляным деформациям, эрозионным врезам, зонам замещения и инверсионному рельефу, выявлен ряд закономерностей структурных характеристик геологического разреза, коррелируемых с наличием опасных процессов в водозащитной толще, ее гидрогеологическими свойствами и устойчивостью ПТС (рисунок 12 автореферата). К выявленным закономерностям относятся: наличие гипсово-глинистой шляпы и поднятия по кровле солей, угол падения крыльев поднятия, мощность ритмопачек и покровной каменной соли, наличие понижения рельефа над соляным поднятием, расстояние от оси поднятия, наличие замещения верхних карналлитовых пластов. Представлены карты районирования по этим параметрам (рис. 96, 97 диссертации). Выполнено нормирование признаков наличия опасных процессов (таблица 2). Вычислен итоговый показатель риска наличия опасных процессов и по нему составлена карта районирования (рис. 98) в светофорной раскраске, позволяющая

определить области, в пределах которых проведение геологоразведочных необходимо в обязательном порядке, а также области, где риск наличия опасных процессов минимален, и необходимость проведения детальных работ определяется по усмотрению недропользователя.

С учетом выявленных закономерностей структурных характеристик геологического строения, распределения сейсмических атрибутов в вертикальной плоскости (таблица 4), и критериев устойчивости, разработана классификации физического состояния изучаемой природно-технической системы (таблица 7). Всего выделено три состояния ПТС – устойчивое, неустойчивое и критическое (нарушенное). Отнесение ПТС к тому или иному состоянию выполняется по наихудшему из условий устойчивости. Выполнено районирование месторождения по состоянию ПТС «инженерно–геологический массив – подземные сооружения», и сформирована соответствующая карта (рисунок 104), также в светофорной раскраске. Разница в картах районирования (рис. 98 и 104) связана с результатами расчета и анализа сейсмических атрибутов по верхним пластам галогенной формации.

Представлен алгоритм анализа инженерно-геологического состояния и прогноза гидрогеологических свойств водозащитной толщи, используя три группы признаков: геотехнические, геологические и геофизические (рис. 105).

Автор привлек результаты нового метода шахтной сейсморазведки ПВРО, для контроля гидроизолирующих целиков, обеспечивающих безопасную эксплуатацию как подземных, так и надземных сооружений. Актуальность таких исследований наглядна на примере города-призрака Березняки.

В целом, все защищаемые положения и выводы достаточно четко сформулированы, последовательно связаны друг с другом, подробно и доказательно раскрыты в содержательной части диссертации, хорошо обоснованы, обладают научной новизной и имеют научно-методическое значение.

Некоторые недостатки работы

1. Противоречиво изложены цель работы, объект и предмет исследований, с точки зрения взаимосвязанности входящих в рассмотрение компонентов. Так, в «цели работы: разработка научно-методических основ оценки и прогноза устойчивости природно-технических систем для обеспечения безопасного строительства и эксплуатации зданий и сооружений при подземной разработке соляных месторождений», а в «объекте исследований: природно-технические системы, включающие в себя инженерно-геологические массивы, и взаимодействующие с ними подземные сооружения». Появляется вопрос, включает ПТС только подземные сооружения или также здания и сооружения на поверхности подработанных территорий (как представлено на рис. 5, 6, 7, 12).
2. При характеристике ВКМС, вероятно, был бы уместен сравнительный анализ собственных результатов с другими исследованиями, другими соляными разработками.
3. Недостаточно освещен вопрос изменения инженерно-геологических условий рассматриваемой территории и месторождения в зависимости от регионального фактора – геодинамической (неотектонической) активности и связанной с ней сейсмической активности.
4. Некорректное использование некоторых терминов, например, «геомеханические характеристики массивов горных пород» или природно-техническая система «инженерно-геологический массив – подземные сооружения».
5. Замечания редакционного плана – встречаются опечатки и ошибки согласования слов в предложениях.

Основные выводы по диссертационной работе

Считаю, что высказанные в моем отзыве вопросы и замечания не умаляют достоинств рассматриваемой диссертационной работы. Ее актуальность, научная новизна и практическая значимость несомненны. На мой взгляд, поставленные в диссертационной

работе задачи соискателем выполнены. Диссертация Пригары А.М. является законченной работой, выполненной на достаточно высоком научном уровне, хорошо иллюстрированной. Представленные результаты обладают высокой степенью достоверности.

Диссертационная работа содержит все необходимые элементы, присущие диссертациям на соискание степени доктора наук: теоретические, методические разработки, новизну, практическую значимость, апробацию и др., соответствует специальности 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение. В целом, все пять защищаемых положений, вынесенных автором на защиту, в достаточной мере обоснованы и могут считаться защищенными.

Опубликованные соискателем результаты диссертационной работы известны в научных и производственных кругах, апробированы на международных и российских научно-практических конференциях, и опубликованы в научных изданиях, в том числе журналах списка ВАК.

Заключение

Представленная к защите на соискание ученой степени доктора технических наук диссертация А.М. Пригары на тему «Научно-методические основы оценки и прогноза устойчивости природно-технических систем при подземной разработке соляных месторождений», представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой на основании выполненных автором исследований, решены научные задачи, имеющие значение для инженерной геологии. Диссертация написана единолично, содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для защиты. Содержание диссертации соответствует п.п. 3, 9, 15 области исследований специальности 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение. Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает важные ее положения. Выводы по работе отражают ее содержание, обоснованы и соответствуют основным защищаемым положениям.

Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Андрей Михайлович заслуживает присуждения искомой степени доктора технических наук по специальности 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Доктор геолого-минералогических наук по специальности 1.6.7, профессор,
профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
634050 г. Томск пр. Ленина, 30
www.tpu.ru, E-mail: sla@tpu.ru
тел. +7(3822)-60-63-85

Строкова
Людмила
Александровна

Подпись Л.А. Строковой удостоверяю
Ученый секретарь ТПУ

В. Д. Новикова