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.

Диссертационная работа Пригара Андрея Михайловича посвящена **актуальной проблеме** обеспечения устойчивости природно-технических систем (ПТС) при подземной разработке соляных месторождений. Статистика аварий на соляных рудниках, включая потерю двух рудников на Верхнекамском месторождении солей (ВКМС), свидетельствует о недостаточной эффективности существующих нормативных подходов к оценке инженерно-геологических условий. Причина аварий заключается в неполноте инженерно-геологических моделей и ограниченных возможностях традиционных систем мониторинга. В этой связи разработка научно-методических основ, базирующихся на высокоразрешающих геофизических методах, является своевременной и практически значимой задачей.

Объектом исследования выступают природно-технические системы, включающие литосферный блок в виде инженерно-геологического массива соляного месторождения и взаимодействующие с ним подземные сооружения. *Предметом исследования* являются закономерности формирования инженерно-геологических условий соляных месторождений и условия устойчивости ПТС, определяющие безопасность сооружений. *Цель работы* – разработка научно-методических основ инженерно-геологической оценки и прогноза устойчивости ПТС для повышения безопасности строительства и эксплуатации подземных сооружений.

Автором выполнен значительный объем исследований, включающий численное моделирование волновых полей в программах Ansys, Tesseral и FS, физическое (натурное) моделирование с одноуровневой и двухуровневой схемами наблюдений, статистический анализ и районирование по комплексу геолого-геофизических признаков, а также аналитические и корреляционные методы перехода от упругих параметров к прочностным и деформационным характеристикам. Фактический материал собран в ходе 28-летней производственной и научно-исследовательской деятельности автора в Горном институте УрО РАН, Пермском государственном университете, ООО НИПППИД «Недра», ООО «ППИ-Геофизика» и АО «ВНИИ Галургии».

Основные научные результаты диссертации заключаются в следующем. Разработан и научно обоснован новый метод инженерно-геологических исследований – шахтная сейсморазведка на поперечных волнах с разделением отражений (ПВРО). Метод базируется на выявленных закономерностях распространения упругих волн в условиях полного пространства. Установлено, что при использовании горизонтально-направленного источника упругих колебаний поперечные волны распространяются преимущественно в вертикальной плоскости и обеспечивают четкую регистрацию отражений от геологических границ. На основе численных экспериментов обоснована оптимальная ориентация источника и приемников, разработана полевая система наблюдений для разделения отражений из верхнего и нижнего полупространств. Создан математический аппарат и алгоритмы обработки, позволяющие подавлять интерференцию отражений. Разрешающая способность метода достигает 1–2 м, что обеспечивает возможность значительного увеличения точности инженерно-геологических моделей. На метод получен патент на изобретение РФ, разработано 12 программ для ЭВМ.

Разработаны инженерно-геологические модели ПТС соляных месторождений на основе трехстадийной 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. В ходе апробации метода впервые выявлены на ВКМС каньонообразные эрозионные врезы, неизвестные ранее особенности залегания нижней переходной пачки и пласта МГ, уточнена морфология инверсионного рельефа. Предложена динамическая модель возникновения эрозионных врезов, обоснованная геомеханическими расчетами деформаций в пластинах покрывающей каменной соли, карналлитовой и сильвинитовой пачек. Показано, что расчетные деформации достигают и превышают предельные значения, полученные в лабораторных условиях, что подтверждает гипотезу о связи эрозионных врезов, инверсионного рельефа и зон замещения.

Установлены количественные закономерности распределения инженерно-геологических характеристик разреза, коррелируемых с риском возникновения опасных процессов в водозащитной толще. К таким характеристикам отнесены: наличие гипсово-глинистой шляпы, угол падения крыльев поднятия, мощность ритмопачек и покрывающей каменной соли, расстояние от оси поднятия, наличие замещения карналлитов. На основе анализа данных более 1000 поверхностных скважин выполнено районирование ВКМС по риску наличия эрозионных врезов и инверсионного рельефа. Разработана формализованная методика вычисления показателя наличия опасных процессов, учитывающая литологические,

структурные и морфологические факторы. Сформирована классификация состояний ПТС – устойчивое, неустойчивое и критическое – с учетом геологических, горнотехнических и геофизических параметров. Проведено районирование ВКМС по состоянию ПТС, показавшее, что участки с критическим состоянием сосредоточены в северной части месторождения и охватывают около 25 % площади.

Разработана методика детального сейсмического анализа и мониторинга состояния гидроизолирующих целиков на основе метода ПВРО, адаптированного для горизонтальной плоскости с регистрацией продольных и поперечных волн. Методика обеспечивает оценку ширины целиков, упругих констант (коэффициента Пуассона, модулей упругости и сдвига), предела прочности на сжатие и степени нагружения. Предложена модель оценки состояния целика, учитывающая геометрические характеристики, сейсмические атрибуты, степень нагружения и предел длительной прочности. Реализован прогноз изменения характеристик целика на период до 2050 года на основе линейной регрессии по участку максимальных изменений. Это позволяет своевременно корректировать проектные решения и предотвращать потерю устойчивости ПТС.

Научная новизна работы заключается в следующем. Впервые применительно к соляным месторождениям разработаны научно-методические основы инженерно-геологической оценки и прогноза устойчивости ПТС на базе бурения, горнопроходческих работ и высокоразрешающей шахтной сейсморазведки. Создан новый метод шахтной сейсморазведки ПВРО, обеспечивающий детальность 1–2 м. Впервые выявлены каньонообразные эрозионные врезы на ВКМС, установлены критерии их идентификации и создана динамическая модель их возникновения. Установлены количественные закономерности влияния структурных параметров на риск возникновения опасных процессов. Разработаны инженерно-геологические модели ПТС, включающие структурные элементы по различиям в упругих свойствах пород. Создана технология анализа и прогноза состояния гидроизолирующих целиков на основе мониторинга геометрических и инженерно-геологических характеристик.

Практическая значимость работы подтверждена внедрением метода ПВРО в производственный процесс на рудниках ВКМС. Производительность полевых сейсморазведочных работ выше в 2,6 раза по сравнению с традиционными методами. Полученные новые геологические сведения использованы при построении инженерно-геологических моделей участков ВКМС, проектировании горных работ, разведке и доразведке месторождения, а также при разработке проектов ликвидации участков шахтных полей. Разработанные методики позволяют обоснованно выделять участки с недопустимым риском

активизации опасных процессов, что предотвращает потери запасов полезных ископаемых (сумма потерь на двух затопленных рудниках составляет порядка 300 миллиардов рублей в ценах 2026 года). Результаты рекомендованы к использованию при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений на соляных месторождениях, а также для совершенствования нормативно-технической документации.

Достоверность полученных результатов обеспечена большим объемом экспериментальных и натурных данных, численным моделированием на современных программных комплексах, сопоставлением результатов с контрольным бурением и маркшейдерскими наблюдениями. Выводы обоснованы, противоречий с известными теоретическими положениями не выявлено.

Основные положения диссертации опубликованы в 70 работах, из которых 23 – в изданиях, рекомендованных ВАК, 19 – в изданиях, цитируемых в Scopus, получено 4 патента на изобретение, 12 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ, издана 1 монография. Результаты докладывались на многочисленных международных и всероссийских конференциях, включая конференции EAGE «Инженерная и рудная геофизика» (2004–2024 гг.), «Неделя горняка» (2022 г.), VII Всероссийское научное солевое совещание (2025 г.) и другие.

Замечаний к содержанию и оформлению автореферата нет. Представленная работа является законченным научным исследованием, в котором решена актуальная научная проблема оценки устойчивости природно-технических систем при подземной разработке соляных месторождений, имеющая важное социально-экономическое значение.

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, Морочко Александр Федорович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Морочко Александр Федорович
доктор технических наук,
специальность 20.02.12. «Системный анализ, моделирование боевых действий и систем военного назначения, компьютерные технологии в военном деле»
профессор кафедры геофизики,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, дом 23,
тел. +7 (495) 255-15-10

/Морочко А.Ф./

подпись

Дата 03.09.2026

Подпись Морочко А.Ф. заверяю: