

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ОАО «ВИОГЕМ»

кандидат технических наук

С. С. Серый



«15» апреля 2024 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Акматова Дастана Женишбековича на тему: **«Оценка устойчивости породного массива на основе разработки трехмерной геомеханической модели при захоронении радиоактивных отходов»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

### 1. Актуальность работы

Диссертационная работа Акматова Дастана Женишбековича посвящена разработке трехмерной геомеханической модели участка «Енисейский» Нижнеканского массива для оценки и прогноза развития геомеханических процессов в приконтурной части подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ).

В России, где накоплено огромное количество радиоактивных отходов (РАО), необходимо их удаление из среды обитания человека. Это отражает важнейшую общественную потребность населения страны. Международная практика подтверждает, что начальным этапом захоронения РАО является строительство ПИЛ для уточнения характеристик вмещающей геологической среды.

При создании проекта ПИЛ необходимо аргументировать оптимальный комплекс методов исследований, геомеханические наблюдения и схемы размещения экспериментальных камер. Уникальные характеристики подземного объекта требуют специальной оценки устойчивости горной породы, которая должна гарантировать сохранность изоляционных свойств породы в течение более чем 10 тыс. лет в условиях радиобиологической опасности. Модели напряженно-деформированного состояния горных пород служат основой для этого. Применение трехмерной модели позволяет

увеличить точность расчетов напряженно-деформированного состояния за счет установления граничных условий, наиболее точно отражающих реальные положения.

Важность темы исследования в диссертации подтверждается разделами документа "Стратегии национальной безопасности Российской Федерации", утвержденные Указом Президента РФ от 2 июля 2021 г. N 400. В данном документе указано:

«47. Достижение целей обеспечения государственной и общественной безопасности осуществляется путем реализации государственной политики, направленной на решение следующих задач (*в числе которых*):

19) повышение эффективности мер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Актуальной научной задачей является разработка трехмерной геомеханической модели участка «Енисейский», что позволит повысить достоверность оценки устойчивости породного массива и качество предполагаемых геомеханических экспериментов для прогноза сохранности пород в ПИЛ.

## **2. Структура и основное содержание диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 130 наименований и одного приложения. Работа изложена на 151 страницах текста и содержит 42 иллюстрации и 18 таблиц.

Во введении автором обоснована актуальность работы, сформулированы цель, задачи и идея исследования, а также основные научные положения, новизна и практическая значимость результатов исследования.

В первой главе автором приведен обзор о проблеме изоляции высокоактивных радиоактивных отходов в геологических формациях, рассмотрены современные методы трехмерного моделирования массива на основе механики дискретной среды и рейтинговые классификации по показателю качества горных пород. На основе этого анализа автором были сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе рассмотрены основы теории прочности и модели разломов. Представлена модернизированная классификация для оценки устойчивости геологической среды при захоронении радиоактивных отходов, где на первом этапе осуществляется исключение определенных разломов и их воздействия в пределах возможной площадки, а также снижение влияния других разрывных нарушений. На втором этапе выполняется рейтинговая

оценка на основе индекса  $Q$  Бартона в которой дополнительно включены параметры, влияющие на безопасность захоронения РАО: разрывные зоны, химический состав подземных вод, тепловое воздействие, гидравлическая проводимость, соотношение между прочностью пород и действующими напряжениями.

В результате их анализа автором было принято решение использовать рейтинговую классификацию  $Q^R$  для оценки устойчивости массива в районе строительства ПИЛ. Кроме того, предложена методика анализа напряженно-деформированного состояния массива, которая базируется на энергетическом подходе. Этот подход основан на расчете потенциальной энергии деформации и модуля градиента энергии, что позволяет ранжировать зоны концентрации напряжений по степени опасности.

В третьей главе проведен сбор и анализ информации, полученной в ходе геофизических, геологических и геодезических исследований участка «Енисейский» Нижнеканского массива. В пределах участка было выделено 10 разломов с длиной более 3 км. Ввиду отсутствия необходимых данных об их активности были проведены полевые измерения трещиноватости на выходах скальных пород. Подтверждено, что породы в зоне динамического влияния главных тектонических разломов более нарушены и относительно менее устойчивы, а массивы дайкового комплекса долеритов наиболее устойчивы. Также были собраны и обобщены данные по физико-механическим свойствам пород и по изучению направления действия главных напряжений на основе ГНСС измерений. Кроме этого, направление действия главных напряжений определено неоднозначно в интервале азимутов от  $30^\circ$  до  $60^\circ$ . Это обуславливает необходимость вариационного моделирования.

На основе этих данных была разработана структурно-тектоническая модель для участка «Енисейский». Модель включает систему разрывных нарушений, литологическую структуру, зоны с повышенной трещиноватостью и дроблением, а также зоны динамического воздействия крупных тектонических разломов. Построенная трёхмерная структурно-тектоническая модель участка «Енисейский» позволяет учесть при моделировании НДС такое важнейшее свойство разломов как угол падения.

В четвертой главе представлены расчеты с использованием модернизированной рейтинговой классификации, а также результаты анализа НДС по критерию Хука-Брауна и с использованием энергетического подхода. Установлено наличие локальных потенциально неустойчивых участков, коррелирующих с зонами динамического влияния

Верхнешумихинского, Меркурьевского и Безымянного тектонических разломов.

Результаты моделирования указывают, что площадка ПИЛ во всех сценариях моделирования попадает в относительно устойчивую в геодинамическом отношении зону. Корреляционный анализ показывает высокую степень корреляции между первыми тремя вариантами граничных условий. В четвертом варианте получена пониженная корреляционная связь, что объясняется наличием анизотропных граничных условий по границам участка моделирования.

В итоге автором была разработана блочная геомеханическая модель, интегрирующая разнородные геомеханические, геологические и горнотехнические параметры массива в единое цифровое пространство для оценки устойчивости породного массива участка «Енисейский» Нижне-Канского массива средствами ГГИС.

### **3. Новизна результатов исследования.**

Новизна проведенного автором исследования заключается в следующем:

1. Впервые разработана трехмерная структурно-тектоническая модель участка «Енисейский» Нижне-Канского массива, которая учитывает влияние зон динамического воздействия.

2. Модернизирована система  $Q$  рейтинговой классификации горных пород с учетом комплексной оценки устойчивости пород, окружающих выработки ПИЛ, а также уникальных особенностей данного участка.

3. Впервые разработана трехмерная блочная геомеханическая модель для участка «Енисейский», включающая в себя структурную модель, рейтинговую оценку качества пород и многовариантную модель напряженно-деформированного состояния.

4. Выявлены новые закономерности, определяющие взаимосвязь между напряженным состоянием массива горных пород, структурной нарушенностью и потенциальной опасностью разрушения пород в процессе строительства ПИЛ на основе энергетического подхода.

5. Проведено трехмерное геодинамическое районирование породного массива на участке «Енисейский», что позволило выявить зоны потенциальной неустойчивости пород в областях влияния тектонических разломов, таких как Верхнешумихинский, Меркурьевский и Безымянный.

### **4. Практическая значимость полученных результатов и рекомендации по их дальнейшему использованию**

Полученные результаты имеют высокую практическую значимость для создания пункта глубинного захоронения высокоактивных РАО в Красноярском крае. Результаты исследований автора вошли в Программу геодинамических исследований в ПИЛ, реализуемой в настоящее время ГК «Росатом», по обоснованию долговременной безопасности подземной изоляции высокоактивных РАО. Результаты диссертационной работы следует рекомендовать к практическому использованию в подразделениях научных учреждений и коммерческих компаний, осуществляющих строительство подземных сооружений и в горнорудном производстве.

Разработана трехмерная геомеханическая модель для оценки устойчивости Нижне-Канского 10 породного массива участка «Енисейский» и принята к использованию в рамках научно-исследовательских и производственных работ лаборатории геодинамики Геофизического центра РАН.

**5. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждаются результатами анализа имеющихся литературных источников по исследованию взаимодействия региональных, местных, локальных тектонических структур с происходящими геомеханическими процессами; корректным использованием сертифицированного программного обеспечения для моделирования; совпадением полученных зон концентрации напряжений с результатами геодезических наблюдений и моделями, разработанными другими авторами.

**6. Соответствие работы требованиям, предъявляемых к диссертациям.**

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что по актуальности, научной новизне и практической значимости диссертационная работа заслуживает высокой оценки и соответствует требованиям положения «О порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСИС».

**7. Публикации и апробация результатов работы.**

Основные результаты исследований опубликованы в 8 научных работах, из которых 3 - в научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 5 – в изданиях, индексируемых наукометрической базой Scopus.

Содержание диссертационного исследования, полученные результаты и основные научные положения докладывались на всероссийских и международных научных конференциях, симпозиумах, форумах и семинарах: V Техническом совете по геомеханике в рамках Международного

симпозиума «Неделя горняка-2023»; Международном Форум-конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2021, 2023 гг.). Научной конференции молодых ученых и аспирантов Института Физики Земли РАН (Москва, 2023 гг.).

**8. По диссертационной работе имеются ряд замечаний, которые заключаются в следующем:**

1. В разделе 2.2 автором приведено теоретическое описание о существовании трех типов моделей тектонических разломов: в виде упругой модели, в виде диспергированной модели и в виде фрактальной среды. Однако в дальнейшем разломы по этим типам модели не анализируются и не используются при проведении классификации, моделировании или каких-либо расчетов.

2. В разделе 3.2 проведено исследование трещин и динамических зон разломов на 15 геологических площадках с выполнением геотехнической документации по скальным обнажениям. Однако, для более наглядного представления результатов исследований было бы полезно отобразить данные участки на карте с обозначением структурных нарушений.

3. В таблице 3.3 «Сводные физико-механические свойства горных пород на участке «Енисейский» раздела 3.3 содержится ошибка в значениях модуля упругости и модуля деформации горных пород (гнейс и метадолериты). В числе  $7,0 \times 10^4$  упущена возведенная в степень цифра 4 по четырем позициям.

4. В разделе 4.1 на страницах 100-101 автор исследовал определение химического индекса подземных вод в общей рейтинговой классификации устойчивости породного массива. Однако, для получения более детальной информации, было бы полезно провести оценку химического индекса по интервально (по глубине).

5. В тексте диссертации не соблюдается единообразие терминологии в части моделирования НДС. В тексте встречаются «многовариантное» и «вариационное» моделирование, что сути одно и то же. Автору следовало бы использовать единый термин.

6. Некоторые рисунки имеют мелкий слабочитаемый шрифт.

### **Заключение**

Диссертационная работа Акматова Дастана Женишбековича выполнена на актуальную тему, отличается новизной и практической реализацией. Достоверность полученных результатов и выводов не вызывает сомнений. Научные положения, содержание работы и выводы соответствуют паспорту

специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Диссертационная работа Акматова Дастана Женишбековича на тему: «Оценка устойчивости породного массива на основе разработки трехмерной геомеханической модели при захоронении радиоактивных отходов» соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а автор диссертационной работы – Акматов Дастан Женишбекович, заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

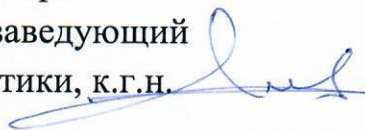
Отзыв ведущей организации по диссертационной работе Акматова Дастана Женишбековича заслушан и обсужден на заседании Научно-технического совета ОАО «ВАОГЕМ», протокол № 3 от 23.04.2024 г.

Отзыв подготовлен:

Заместитель генерального директора  
по научной работе и промышленной безопасности,  
заведующий отделом геомеханики, геологии и  
геоинформатики, к.т.н.

 А.В. Киянец

Заместитель генерального директора  
по научной работе и развитию, заведующий  
отделом геологии и геоинформатики, к.г.н.

 Е.Б. Яницкий

Подпись Киянца А.В. и Яницкого Е.Б. удостоверяю

Начальник отдела кадров  
ОАО «ВАОГЕМ»





Хмеленко Н.А.

Согласен на обработку персональных данных

 А.В. Киянец

Согласен на обработку персональных данных

 Е.Б. Яницкий

Открытое акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу» (ОАО «ВИОГЕМ»),

г. Белгород, пр.Б.Хмельницкого, д.86,

Телефон: +7 (4722) 73-25-15

E-mail: [info@viogem-sp.ru](mailto:info@viogem-sp.ru)