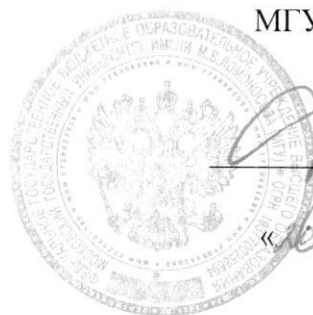


УТВЕРЖДАЮ

Проректор - начальник
Управления научной политики
МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор физ.-мат. наук,



А.А. Федянин

«12» мая 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» на диссертационную работу Казакова Константина Сергеевича на тему: «Разработка метода определения анизотропии фильтрационных свойств массива скальных пород, предназначенного для захоронения радиоактивных отходов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

Диссертационная работа Казакова Константина Сергеевича посвящена разработке геофизических методов исследования фильтрационных свойств скальных пород.

Актуальность исследований. На сегодняшний день мировым научным сообществом признано, что наиболее безопасным решением проблемы окончательной изоляции долгоживущих и высокоактивных РАО является их размещение в пунктах глубинного захоронения (ПГЗРО), сооружаемых на глубинах не менее 300-500 м. В Российской Федерации начиная с 1980 годов ведутся работы по поиску наиболее благоприятных площадок для размещения таких объектов, а основными рассматриваемыми геологическими формациями являются скальные, расположенные на Новой земле, Кольском полуострове, Челябинской области и Красноярском крае. При этом наиболее вероятным механизмом возможного выхода радионуклидов из ПГЗРО, сооружаемого в скальных породах, является их перенос подземными водами по системам трещин. В связи с этим рассматриваемые в диссертационной работе вопросы развития методов и оборудования, обеспечивающих получение показателей неоднородности структуры и водопроводящих свойств слабопроницаемых массивов скальных пород, необходимых для прогнозного гидрогеологического моделирования, безусловно являются актуальными.

Целью работы является выделение с использованием скважинных методов водопроводящих интервалов массива горных пород, предназначенного для сооружения ПГЗРО, и оценка анизотропии их фильтрационных свойств. Для достижения этой цели автором был решен **ряд задач**, в число которых входили: разработка оборудования, позволяющего получать количественные характеристики систем трещин, проведение полевых исследований характеристик систем трещин в массиве скальных пород на потенциально пригодном для подземного захоронения РАО участке (участок Енисейский).

Структурно диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и двух приложений. Текст диссертации содержит 145 страниц, в том числе список литературы из 154 наименования.

Во введении приводится обоснование актуальности работы, формулируется цель, задачи, научная новизна и практическая значимость проводимого исследования. Приведены положения, выносимые на защиту, апробация работы и список публикаций автора.

В **первой главе** представлен аналитический обзор применяемых методов изучения трещиноватости, включая подходы к определению основных параметров систем трещин массивов скальных пород в натурных условиях и прогнозированию их влияния на водопроводящие свойства массивов. Сформулированы основные задачи диссертационного исследования.

Во **второй главе** представлена разработка, лабораторные и полевые испытания каротажного программно-аппаратного комплекса, позволяющего фиксировать количественные параметры трещин, оказывающие наибольшее влияние на водопроводящие свойства, и необходимые для выполнения расчётных оценок фильтрационной анизотропии трещиноватых зон в массивах скальных горных пород. Результаты лабораторных и полевых испытаний позволили сделать вывод о пригодности разработанного исследовательского оборудования, подготовить алгоритм выполнения видеокаротажных обследований и определить перечень требований к пригодности скважин для исследований.

В **третьей главе** проводится исследование параметров сети трещин на участке планируемого создания ПГЗРО (участок Енисейский). Исследования параметров сети трещин в разведочных скважинах, пробуренных на данном участке, выполнялись с применением разработанного каротажного программно-аппаратного комплекса. Результаты изучения показали, что на целевых интервалах глубин, в вышележащих породах и на глубинах более 500 распространены различные нарушения однородности

геологической среды, включая участки повышенной концентрации трещин, приуроченные к контактам различных типов пород. В результате обработки панорамных изображений получены статистические данные о количественных характеристиках и пространственном положении трещиноватых зон в массиве на разных глубинах. Определено, что выполненная ранее оценка трещиноватости по керну, представляющая собой подсчёт количества трещин на погонный метр керна (модуль трещиноватости, Мтр), является завышенной в сравнении с результатами видеокаротажных обследований. С учётом выявленных расхождений значений Мтр установлено, что определение положения потенциально водопроводящих трещиноватых зон в массиве, а также их границ с задействованием результатов видеокаротажных обследований скважин является предпочтительным вариантом.

В **четвёртой главе** определяется состав комплекса дополнительных скважинных методов, необходимого для выделения и оценки зон возможной водопроводимости. Был проведен совместный анализ результатов видеокаротажных и скважинных геофизических исследований (ГИС), а также поинтервальных опытно-фильтрационных работ, выполненных на участке Енисейский. Установлена приемлемая сходимость по совокупному объёму исследований результатов видеокаротажных обследований, акустического каротажа (АК) в части снижения скоростей распространения продольных волн - 83%, гамма-каротажа (ГК) – 91%, плотностного гамма-гамма каротажа (ГГК-П)- 89%. При этом отмечено, что ГК менее результативен для выделения потенциально водопроводящих трещин и основной методикой ГИС, верифицирующей результаты видеокаротажных обследований, является АК. ГГК-П, в силу его меньшей чувствительности к слаботрещинноватым зонам, отводится роль дополнительного. В главе также обозначены критерии для надежного выявления потенциально водопроводящих интервалов.

В **пятой главе** изучаются закономерности формирования анизотропии фильтрационных свойств трещиноватых водопроводящих интервалов на основе расчётных методов - метода определения тензора трещинной проницаемости. Исходными данными для вычисления тензора трещинной проницаемости являются получаемые по итогам ориентированных видеокаротажных обследований незакреплённых стволов разведочных скважин с задействованием разработанного в ходе диссертационного исследования оборудования количественные параметры трещин: азимуты падения и залегания, а также углы падения, величины раскрытия и интенсивность трещиноватости. Определено, что необходимые для вычисления тензора трещинной проницаемости исходные данные могут быть получены как по итогам обработки результатов видеокаротажных обследований

стволов скважин, так и по итогам обработки результатов исследований ориентированного керна. Также показана возможность использования результатов замеров параметров трещин на породных обнажениях в горных выработках. Показано, что вычисление тензора трещинной проницаемости на основе количественных параметров трещинной сети позволяет оценить неравномерность трещинной проницаемости и оценить анизотропию значений коэффициента фильтрации и водопроводимости.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, результаты которой достаточно полно освещены в научных изданиях.

Научная новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций

Новизна проведенного автором исследования заключается в разработке метода определения анизотропии фильтрационных свойств массива скальных пород, предназначенного для захоронения радиоактивных отходов, повышающего достоверность исходных данных для оценок долговременной безопасности захоронения РАО и формирующего таким образом доверие к получаемым результатам.

Составляющими научной новизны являются:

- обоснование перечня методов каротажных исследований, позволяющих выделять потенциально водопроводящие трещиноватые зоны в незакрепленных стволах скважин;
- формирование критериев отнесения трещиноватых зон в массиве скальных горных пород участка Енисейский к водопроводящим, основанных на величинах раскрытия, плотности и пространственного положения трещин, а также степени ослабления интенсивности поглощения искусственного гамма-излучения и параметрах распространения упругих волн в массиве;
- обоснование возможности использования расчётного метода определения тензора трещинной проницаемости для оценки анизотропии фильтрационных свойств водопроводящих интервалов с использованием данных, полученных по результатам проведения комплекса скважинных исследований.

Также определена недостаточная эффективность изучения трещиноватости исключительно на основе анализа кернового материала и рекомендовано применение разработанного в рамках диссертационной работы каротажного программно-аппаратного комплекса, позволяющего выполнять количественную характеристику трещин в их природном состоянии, что безусловно обеспечит получение более точных количественных

параметров трещиноватости - исходных данных для расчётных оценок анизотропии фильтрационных свойств водопроводящих интервалов предложенным методом определения тензора трещинной проницаемости.

Практическая значимость полученных результатов диссертационной работы и рекомендации по их дальнейшему использованию

По результатам диссертационного исследования автором разработано исследовательское оборудование, а также «Методика определения анизотропии фильтрационных свойств водопроводящих интервалов скальных пород скважинными методами».

Полученные результаты следует рекомендовать к использованию горно-геологическим предприятиям, выполняющим поиск и разведку участков возможного захоронения радиоактивных отходов в скальных массивах, а также организациям – разработчикам программного обеспечения, в т.ч. выполняющим прогнозные модельные расчёты долговременной безопасности глубинного захоронения РАО в массивах скальных пород.

Следует также отметить, что разработанная автором методика уже используется АО «Красноярскгеология» в рамках работ из состава утверждённой руководством Госкорпорации «Росатом» «Комплексной программы исследований в обоснование долговременной безопасности захоронения РАО и оптимизации эксплуатационных параметров», что дополнительно подтверждает практическую значимость результатов диссертационной работы.

Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати

Основные научные и практические результаты диссертационной работы опубликованы в 7 научных работах, в том числе 4 - в изданиях, включенных в перечень Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки Российской Федерации, и в статьях, индексируемых наукометрической базой Scopus.

Результаты работы докладывались и обсуждались на всероссийской конференции с Международным участием, посвященной 90-летию ИГЕМ РАН «Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований» (Москва, 05-09 апреля 2021), VI международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» ТПУ (Томск, 20-24 сентября 2021 г.), международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (Москва, 2022, 2023).

Замечания по диссертации

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Разработки диссертации направлены в основном на оценку влияния трещиноватости в рамках модели эквивалентной пористой среды (модели Ромма). Для использования их в модели дискретных трещин (DFN) в работе не хватает определений формы трещин и характерных размеров трещин. Вероятно, определение их предложенными автором методикой и оборудованием затруднительно.

2. В работе отсутствуют количественные сопоставления фильтрационных свойств, полученных на основе расчетов, основанных на измерении геометрии трещин, и опытно-фильтрационных работ (ОФР).

3. Измеренные геометрические характеристики трещин могут быть использованы для определения полного тензора проницаемости трещиноватого массива. Однако в работе отсутствует опыт или рекомендации по определению и использованию полного тензора проницаемости для обоснования геофильтрационных моделей.

Высказанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы, имеющей научную новизну и практическую значимость при обосновании моделей геофильтрации и геомиграции в скальных массивах. Работа хорошо оформлена, изложена грамотным языком, разделы диссертации логически связаны.

Заключение

Диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научно-технической задачи в области изучения гидрогеологических особенностей массивов скальных пород, рассматриваемых для захоронения радиоактивных отходов.

Работа является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной, обоснованы на современном научном уровне, описывают законченный этап исследований. Достоверность изложенных в диссертации результатов подтверждается использованием современных методик исследования, применением статистической обработки.

Диссертационная работа соответствует специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и в необходимом объеме отражает ее основные результаты и выводы. Результаты работы достаточно полно освещены в научных изданиях.

Текст диссертации не содержит заимствованного материала без ссылки на автора или источник заимствования.

Таким образом, диссертационная работа «Разработка метода определения анизотропии фильтрационных свойств массива скальных пород, предназначенного для захоронения радиоактивных отходов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные решения в области влияния показателей трещиноватости массивов скальных пород на неоднородность их фильтрационных свойств, что соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней» (Постановление правительства РФ №842 от 24.09.2013, ред. от 22.09.2022 г.) и п.2. «Положении о порядке присуждения учёных степеней в НИТУ МИСИС», а ее автор Казаков Константин Сергеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.3 «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Доцент

кафедры гидрогеологии

МГУ им. Ломоносова, к.т.н.



Расторгуев Александр Владилинович

Профессор

кафедры гидрогеологии

МГУ им. Ломоносова, д.г-м. н.



Лехов Алексей Владимирович

Отзыв рассмотрен и обсужден на заседании кафедры гидрогеологии Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, одно из основных направлений научно-исследовательской деятельности которой является развитие методов определения фильтрационных свойств трещиноватых скальных массивов, 15 мая 2024 г., протокол № 10, и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации.

Заведующий кафедрой гидрогеологии

Геологического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова,

д.г-м.н , профессор

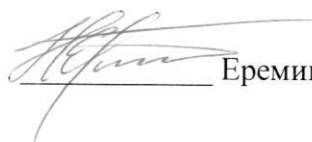


Поздняков Сергей Павлович

Декан Геологического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова,

чл.-корр. РАН



Еремин Николай Николаевич