

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 002.070.01 на базе Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного
развития атомной энергетики Российской академии наук

ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21 сентября 2022 года № 13

О присуждении Неуважаеву Георгию Дмитриевичу, гражданство – Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и параметрическое обеспечение расчетных моделей для обоснования долговременной безопасности пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (участок «Енисейский»)» по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» принята к защите 18 июля 2022 года, протокол № 11, диссертационным советом Д 002.070.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (далее – ИБРАЭ РАН), расположенного по адресу: 115191, Москва, ул. Большая Тульская, д. 52. Диссертационный совет создан приказами Минобрнауки России 15 февраля 2013 г. № 75/нк, от 3 июня 2016 г. № 626/нк, от 12 июля 2017 г. № 748/нк, от 26 января 2018 г. № 92/нк.

Диссертация посвящена актуальной задаче в области обоснования долговременно безопасности и экологической приемлемости пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО) как объекта ядерного топливного цикла (в соответствии с НП-016-05 «Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла»). Основа соответствующего анализа – разработка и исследование расчетных моделей закономерностей, сопутствующих жизненному циклу ПГЗРО, и выполнение

прогнозных расчетов на период потенциальной опасности радиоактивных отходов.

Соискатель Неуважаев Георгий Дмитриевич 1992 года рождения. В 2015 году окончил Московский государственный университет, в 2021 году - аспирантуру ИБРАЭ РАН по направлению подготовки 20.06.01 «Техносферная безопасность», направленность 05.26.02 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (по отраслям)». В период с 25 марта 2022 года по 6 июля 2022 года был прикреплен экстерном к аспирантуре ИБРАЭ РАН, где сдал кандидатские экзамены по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации». В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории геомиграционного моделирования ИБРАЭ РАН, где и была подготовлена диссертация.

Научный руководитель – доктор технических наук Уткин Сергей Сергеевич, заведующий отделением анализа долгосрочных рисков в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности ИБРАЭ РАН.

Официальные оппоненты:

Кузьмин Евгений Викторович, доктор технических наук, главный специалист федерального государственного унитарного предприятия «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» Госкорпорации «Росатом»;

Расторгуев Иван Александрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник национального исследовательского центра «Курчатовский институт»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Акционерное общество «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» (далее - АО «ВНИПИПромтехнологии») Госкорпорации «Росатом», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном начальником научно-исследовательской лаборатории сейсмобезопасности и геофизических методов контроля, к.ф.-м.н. Б.Г. Лукишовым и ученым

секретарем, д.г.-м.н. профессором Е.Н. Камневым и утвержденном генеральным директором А.В. Гладышевым, указала, что диссертация Г.Д. Неуважаева соответствует требованиям, установленным Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации, в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 01.10.2018 г. с изменениями от 26.05.2020 г. и от 20.03.2021 г. № 426), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Неуважаев Георгий Дмитриевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 - «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Соискатель имеет 24 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации – 11 работ; опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 5 работ, в том числе 5 из перечня ВАК. Из 24 опубликованных работ по теме диссертации – 3 в научном журнале «Радиоактивные отходы» (тираж – 300 экз.), 1 – в научном журнале «Вопросы радиационной безопасности» (тираж – 1000 экз.), 1 – в научном журнале «Известия РАН. Энергетика» (тираж – 1000 экз.), 13 - в сборниках докладов российских и международных научных конференций (тираж – 100 экз.).

В опубликованных работах приведены и детализированы следующие основные результаты, полученные как автором лично, так и при его непосредственном участии:

- разработан алгоритм анализа гидрогеологических условий с применением численного моделирования (на основе плановой и профильной геофильтрационных моделей) для определения значимых для обоснования долговременной безопасности основного барьера безопасности ПГЗРО – геологической среды (характеристик потока подземных вод коэффициенты фильтрации даек, зон дробления, разрывных нарушений), позволяющий оценить влияние структурных элементов геологической среды;
- разработаны трехмерные модели, которые позволили более детально учесть условия трещиноватой среды и дать оценку фильтрационным свойствам вмещающей среды.

Наиболее значительные работы:

- 1) Neuvazhaev G. et al. 3D hydrogeological modeling of Deep Geological Disposal in the Nizhnekansky Rock massif //EGU General Assembly Conference Abstracts. – 2020. – С. 21509.
- 2) Разработка геофильтрационной модели для участка «Енисейский» и оптимизация ее параметров при помощи гибридного оптимизационного алгоритма. Д.К. Валетов, Г. Д. Неуважаев, В. С. Свительман. // Известия РАН. Энергетика, 2020, № 1, стр. 128-137.
- 3) Неуважаев Г. Д., Гупало В. С., Казаков К. С., Коновалов В. Ю., Озерский Д. А. Анализ подходов к консервации и ликвидации скважин на участке недр «Енисейский» (Красноярский край, Нижнеканский массив) // Радиоактивные отходы. 2020. № 4 (13). С. 30—41. DOI: 10.25283/2587-9707-2020-4-30-41.
- 4) Неуважаев Г. Д., Савельева Е. А., Свительман В. С. Вариационный метод оценки чувствительности миграционной модели // Радиоактивные отходы. — 2019. — № 1(6). — С. 69—76.
- 5) Неуважаев Г.Д., Богатов С.А., Коновалов В.Ю. К вопросу выбора инженерных барьеров пунктов приповерхностного захоронения РАО на примере сценария переполнения. Вопросы радиационной безопасности. 2019. № 3 (95). С. 3-14.

На автореферат диссертации поступили отзывы из 6 организаций.

1. Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН.

Отзыв подписал д.г.-м.н. главный научный сотрудник Б.Т.Кочкин.

Отзыв положительный. Замечания:

Как недостаток автореферата можно указать на отсутствие объяснения в выборе одной интерпретации направления потока подземных вод, притом, автор сам указывает (стр. 9) на то, что сегодня в этом существует неопределенность. Черно-белая печать рисунков снижает их читаемость и иллюстративную ценность.

2. АО «Русбурмаш».

Отзыв подписал руководитель проекта отдела анализа и экспертиз к.т.н. С.Н. Федянин.

Отзыв положительный. Замечания:

В разделе автореферата «Основные результаты диссертации» следовало перечислить хотя бы выбранные в итоге параметры, в порядке иерархии их важности при построении геофильтрационно-геомиграционных моделей которые были использованы и являлись ключевыми в составе проведенных исследований, но они лишь обобщенно указаны в разделе «Научные

положения, выносимые на защиту» в п. 3: - Перечень гидрогеологических параметров кристаллической среды, наиболее значимых для обоснования долговременной безопасности пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов.

3. ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» Ростехнадзора.

Отзыв подписал начальник отдела безопасности предприятий топливного цикла А.В.Понизов.

Отзыв положительный. Замечания:

- Определение терминов «ближняя зона» и «дальняя зона», которые используются в автореферате, не соответствуют п. 52 РБ-003-21, согласно которому:

«К ближней зоне ПГЗРО относятся подземные сооружения и конструкции ПГЗРО, горные выработки, включая нарушенную зону горных выработок, ячейки захоронения РАО и инженерные барьеры безопасности, включая упаковки РАО;

К дальней зоне ПГЗРО относится геологическая среда, в которой прогнозируется миграция радионуклидов, вышедших из ближней зоны ПГЗРО».

- Автором при разработке миграционной модели не учитывались инженерные барьеры ПГЗРО, что является существенным недостатком при оценке долговременной безопасности.
- Автором отмечается, что «В ходе нормальной эволюции ПГЗРО ожидается изменение гидрогеологических условий объекта и параметров среды преимущественно за счет изменения различных климатических и тектонических условий», при этом в работе не показано, как учитывались изменения климатических и тектонических условий.
- Автором в работе не указано, с чем связан выбор значения начальной активности ^{129}I , равного 10^{10} Бк. Соответствует ли это значение активности данного радионуклида в РАО, планируемых к захоронению в ПГЗРО?
- Автор указывает, что «время миграции несорбируемого радионуклида до потенциальной зоны разгрузки составляет 36 000 лет», при этом не раскрыто является ли это время достижения уровней вмешательства или какого-то другого допустимого значения.
- В автореферате в качестве преимущества разработанных моделей указывается обеспечение существенного снижения консерватизма, при этом для выполнения расчетов миграции несорбируемого радионуклида автор использует консервативные значения коэффициента диффузии в слоях геомиграционной модели.

4. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна ФМБА России.

Отзыв подписал ведущий научный сотрудник к.т.н. А.А.Болотов.

Отзыв положительный. Без замечаний.

5. Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии РАН.

Отзыв подписали директор член-корреспондент РАН В.Г.Румынин и заведующий лабораторией экспериментальной гидрогеологии и геомеханики к.г.-м.н. А.М.Никуленков.

Отзыв положительный. Замечания:

Рецензенты вынуждены отметить некоторую ограниченность использованных математических моделей и недостатки предпосылок схематизации гидрогеологических условий участка. В частности:

1. При создании двухмерной плановой модели на аналитических элементах автор подробно описывает преимущества и недостатки данного подхода (АЕМ). В качестве недостатка автор справедливо отмечает, что при использовании АЕМ модели задача фильтрации может быть решена в однослойной постановке для стационарных условий. Это ограничивает возможности применения АЕМ моделей применительно к участку «Енисейский». Хорошо известно, что на данном участке верхняя часть разреза является проводящей, а с глубин более 200 м коэффициенты фильтрации вмещающей среды резко уменьшаются. В таких условиях, при наличии инфильтрационного питания и дренирующих рек (зон разгрузки) происходит разделение потоков подземных вод. Структура потока в верхней более проницаемой части разреза контролируется рельефом поверхности и дренируется мелкими реками, а структура потока на глубинах более 200 м определяется уже региональными факторами. Таким образом, вполне вероятно, что на исследуемом участке направление потока в верхней части разреза может контролироваться р. Шумиха, а на целевом интервале будет определяться р. Енисей и движение будет направлено в другую сторону. Использование однослойной модели не позволяет корректно воспроизвести эффекты разделения потока, поэтому вывод автора на стр. 47 диссертации о том, что: "...проведенные расчеты позволяют считать, что основное направление подземных вод – на северо-северо-восток в сторону р. Шумиха" является не вполне убедительным и принципиальным образом может повлиять на оценку долговременной безопасности. Для справки: длина пути миграции от целевого интервала до зоны разгрузки в р. Шумиха составляет несколько сотен метров, а до р. Енисей несколько километров.

2. При описании профильной двухмерной модели автор указывает на то, что во время калибровки, помимо фильтрационных параметров, также подбирался расход на левой границе для каждого элемента. В этой связи, нам не вполне понятно, каким образом удалось получить фактические данные расходов на левой границе, использованные автором при калибровке модели.

3. Принятый автором методический подход, основанный на отождествлении элементов геологической структуры с зонами фильтрационной неоднородности при построении геофильтрационной модели с последующей ее калибровкой для каждого элемента, представляется рецензентам не вполне оправданным. Хорошо известно, что коэффициенты фильтрации в скальных

породах, как правило, не контролируются петрографическим составом пород. Гораздо более существенное влияние оказывает фактор трещиноватости, глубины заложения, пересечения нескольких структур в одном месте, тензор тектонического напряжения и многие другие. Именно поэтому при исследовании трещиноватых массивов так важно выявить главные признаки, которые определяют и могут помочь предсказать облик фильтрационной неоднородности массива.

Некоторые частные положения диссертационной работы также представляются авторам отзыва дискуссионными.

1) На стр. 51 диссертации ее автор утверждает, что “по опытно-фильтрационным работам коэффициенты фильтрации могут изменяться на несколько порядков, в основном это зависит от степени трещиноватости горных пород”. Это не всегда так, довольно часто отмечается слабая зависимость этого параметра от модуля трещиноватости пород. Например, на участке «Енисейский», по нашим представлениям, зоны повышенной трещиноватости плохо коррелируют с результатами поинтервальных откачек. Отмечается лишь общий тренд – резкое уменьшение проницаемости массива с глубиной.

2) На стр. 42 автор пишет: “Изучение гидрогеологических условий в районе ПИЛ, которые представлены на гидрогеологической карте и разрезе (см. рисунок 2.1.15), позволяет считать, что основные структурные элементы имеют северное простирание и крутое падение (около 70°) на восток”. Наш анализ разреза на рис 2.1.15, показывает, что, наряду с выделенными автором, существуют структурные элементы, имеющие и значительно более пологие углы падения.

3) На стр. 40 диссертации автор утверждает, что “полученные результаты показывают, что направление потока подземных вод коррелирует с простиранием основных тектонических структур участка, ориентировано в плане на северо-северо-восток, а его разгрузка приурочена к локальной дрене — р. Шумиха”. Это находится в некотором противоречии с ранее высказанным мнением, о том, что расположение и ориентировка тектонических структур участка, также как и структура потока подземных вод, на данный момент, изучена крайне слабо и не может быть однозначно интерпретирована. Таким образом, вывод автора о разгрузке потока в р. Шумиха следует признать в качестве одной из возможных гипотез, требующей дальнейшего подтверждения.

4) Отдельный раздел в диссертации Г.Д. Неуважаева посвящен поинтервальному опробованию глубоких скважин для изучения профиля фильтрационной неоднородности массива по глубине. Автор приводит подробное описание методики проведения подобных работ в других странах на объектах-аналогах. К сожалению, использованная автором методика проведения работ и интерпретации результатов на участке «Енисейский» отличается от апробированной ранее в других странах. В частности, в использованном автором решении Б.С. Шержукова есть несколько недостатков: отсутствие вертикального расстояния, показывающего положение фильтра в

разрезах, и наличие комплексного параметра (обобщенное сопротивление скважины). Нам кажется, что автору было бы полезно выполнить обработку опытных откачек по другим не менее известным решениям, которые математически более точно описывают экспресс-опробование в несовершенной по степени и характеру вскрытия скважине. Хотя, справедливости ради, необходимо отметить, что, в силу технических причин геологоразведочного процесса, не зависящих от автора, и весьма низкой проницаемости пород, из всего массива данных поинтервальных исследований однозначной интерпретации поддается только незначительная часть из них, преимущественно, это данные о восстановлении уровня в стволе скважины, объединяющем несколько фильтрующих интервалов, или в «надпакерной» зоне. Таким образом, следующие этапы гидрогеологического изучения участка строительства ПГЗРО должны учитывать недостатки полевых опытов, выявленные в рамках данной диссертационной работы.

6. Проектный офис «Формирование единой государственной системы обращения с РАО» Госкорпорации «Росатом»

Отзыв подписал руководитель Проектного офиса «Формирование единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами» к.т.н. А.Н.Дорофеев.

Отзыв положительный. Замечания:

1. При разработке миграционной модели отсутствует учет инженерных барьеров безопасности.
2. Из текста автореферата не ясно, возможно ли проводить расчеты не только для несорбируемого радионуклида ^{129}I , но и в отношении всего перечня радионуклидов, значимых в контексте долговременной безопасности захоронения РАО.

По всем замечаниям соискателем были даны детальные разъяснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что д.т.н. Е.В. Кузьмин и к.ф.-м.н. И.А. Расторгуев являются известными учеными и признанными специалистами в области различных аспектов обоснования долговременной безопасности пунктов хранения РАО и радиоактивных веществ.

АО «ВНИПИпромтехнологии» Госкорпорации «Росатом» с середины 1960-х гг. является одной из ведущих организаций атомной отрасли в области теоретических и практических работ по безопасности захоронению РАО. В частности, с применением методов математического моделирования для прогнозирования распространения химических и радиоактивных веществ с

подземными водами. В период 2008-2016 гг. АО «ВНИПИпромтехнологии» возглавлял работы по обоснованию выбора участка «Енисейский» для захоронения РАО класса 1, проводя комплексные многолетние исследования, часть результатов которых легла в основу диссертационного исследования Г.Д. Неуважаева.

ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» ведет работы по созданию подземной исследовательской лаборатории (первый этап создания ПГЗРО) на рассматриваемом в работе Г.Д. Неуважаева участке «Енисейский» и является единственной организацией в Российской Федерации, уполномоченной на захоронение РАО.

НИЦ «Курчатовский институт» имеет масштабный опыт ликвидации хранилищ РАО (более 3 тыс. м³) и реабилитации загрязненных территорий. Прецизионные работы в густонаселенном районе г. Москвы потребовали обоснование применения технологий дезактивации с использованием методов математического моделирования. В частности, специалистами института была создана комбинированная численная модель фильтрации и переноса вещества с подземными водами в районе площадки НИЦ «Курчатовский институт» для оценки миграции ⁹⁰Sr.

Кроме этого, выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается списком публикаций оппонентов и сотрудников АО «ВНИПИпромтехнологии», подготовивших заключение по диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Разработаны модели для обработки и интерпретации результатов опытно-фильтрационных работ (откачек и опытных нагнетаний в скважинах, пакерных поинтервальных исследований).
- Разработан алгоритм анализа гидрогеологических условий с применением численного моделирования для определения значимых для обоснования долговременной безопасности характеристик потока подземных вод, учитывающий особенности параметризации для различных элементов геологического строения
- Приведен перечень гидрогеологических параметров кристаллической среды, наиболее значимых, в соответствии с федеральными нормами и правилами Ростехнадзора, для обоснования долговременной

безопасности пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов как объекта использования атомной энергии.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработаны и обоснованы расчетными, аналитическим и экспериментальными методами трехмерные модели, обеспечивающие возможность дальнейшего развития обоснования долговременной безопасности первого в России пункта глубинного захоронения РАО на примере участка «Енисейский».

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработан алгоритм по определению геофильтрационных параметров массива горных пород как основного барьера безопасности ПГЗРО, позволяющий повысить степень обоснованности расчетов на период потенциальной опасности РАО;
- результаты, полученные на основе специально разработанных моделей, уже используются в рамках лицензионной деятельности ФГУП «НО РАО» по обоснованию долговременной безопасности ПГЗРО на участке «Енисейский»;
- путем применения новых методов исследований автор получил новые данные о проницаемости пород массива Енисейского участка, что существенным образом развивает уверенность в возможности обоснования его безопасности;
- полученные результаты диссертационной работы могут применяться для планирования поинтервальных исследований в скважинах на иных объектах использования атомной энергии и промышленности.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты и выводы, полученные в рамках диссертационного исследования, подтверждаются верификацией модельных результатов по фактическим данным и применением стандартных современных методов расчета для геофильтрационных и геомиграционных задач, а также общепризнанных международных программных средств.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке профильной геофильтрационной и геомиграционной модели в пределах участка «Енисейский»;

- разработке трехмерной геофильтрационной модели на основе блоковой структуры массива в рамках концепции пористой среды;
- разработке трехмерной геофильтрационной модели на основе концепции дискретной среды;
- разработке трехмерной модели в пределах двух кустов скважин 2Ц – Р-2 – 2-2 и 7Ц – Р-7 – 7-2 для несовершенных скважин и моделировании кустовой откачки в трещиноватой среде;
- планировании и отладке оборудования, поиску корректных эксплуатационных режимов пакерной установки, поддающихся корректному анализу, выполненным на участке «Енисейский» и анализу, отбраковке и коррекции полученных результатов.

На заседании 21 сентября 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Неуважаеву Г.Д. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного электронного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.14.03, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета
д.т.н.



Линге И.И.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н.

Калантаров В.Е.

27 сентября 2022 года.