

Отзыв

официального оппонента на диссертацию Неуважаева Георгия Дмитриевича на тему: **Разработка и параметрическое обеспечение расчетных моделей для обоснования долговременной безопасности пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (участок «Енисейский»)**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

В соответствии с законодательством, захоронение РАО 1 и 2 классов необходимо проводить в глубоких геологических формациях с соблюдением принципа многобарьерной защиты. Это позволит обеспечить долгосрочную изоляцию радионуклидов. В Российской Федерации ведутся научно-исследовательские и проектные работы по строительству подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ) на участке «Енисейский», расположенном в пределах ЗАТО г. Железногорска в Красноярском крае.

Процессы проектирования, сооружения, эксплуатации и закрытия ПГЗРО сопровождаются обязательными обоснованиями эксплуатационной и долговременной безопасности – процедурами анализа возможных факторов, которые могут повлиять на безопасность системы захоронения радиоактивных отходов. Анализ долговременной безопасности выполняется с помощью прогнозных модельных расчетов на период потенциальной опасности радиоактивных отходов.

Качество прогноза фильтрационных процессов в горных массивах в значительной степени определяется параметрическим обеспечением моделей описания происходящих процессов, которые обусловлены количеством и качеством исходных параметров информации, а также методиками параметризации.

В основу гидрогеологических моделей закладывается разработка методических подходов к выбору математических основ описания среды, а также состав учитываемых процессов. Результаты, полученные в период выполнения полевых работ на участке размещения ПГЗРО, позволяют выполнить и обосновать параметризацию гидрогеологических моделей.

В соответствии с поставленной целью: разработка и параметрическое обеспечение расчетных моделей обоснования безопасности ПГЗРО в части оценки динамики переноса радионуклидов до зоны разгрузки на примере участка «Енисейский», тема представленной диссертационной работы является актуальной.

Достоверность полученных результатов и выводов диссертации подтверждается: применением стандартных современных методов расчета для геофильтрационных и геомиграционных задач, признанных международных программных средств при создании гидрогеологических моделей (Groundwater Modeling System, Modflow 6); использованием при проведении миграционного моделирования расчетного средства GeRa/V1, аттестованного для использования при обосновании безопасности ОИАЭ; организацией и тщательностью выполненных полевых экспериментальных работ, результатами анализа чувствительности разрабатываемых моделей к их параметрам.

Наиболее значимыми результатами исследований автора, вынесенными на защиту, являются **научные положения**, в которых заявляются новые:

- геофильтрационные модели обработки и интерпретации результатов опытно-фильтрационных работ (откачек и опытных нагнетаний в скважинах, пакерных поинтервальных исследований), с учетом элементов геологического строения породного массива исследуемого участка,

- алгоритм анализа гидрогеологических условий с применением численного моделирования для определения значимых для обоснования долговременной безопасности характеристик потока подземных вод, учитывающий особенности параметризации различных элементов геологического строения породного массива, с выявлением зон наибольшей и наименьшей фильтрационной способности, переноса радионуклидов,

- существенно дополнен перечень гидрогеологических параметров кристаллической среды, наиболее значимых для более точного расчета достижения радионуклидами точек мониторинга, и обоснования долговременной безопасности пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов.

Научная новизна выполненных автором исследований:

- при разработке геофильтрационной модели использована детальная геологическая модель с включением дополнительных параметров – элементов геологического строения, установленных по результатам бурения скважин на участке «Енисейский»;

- разработан алгоритм оценки влияния структуры разрывных нарушений на направление потока подземных вод, фильтрационные характеристики потоков;

- разработана методика определения геофильтрационных параметров сложного многослойного массива горных пород участка «Енисейский» с

помощью численного моделирования, для улучшения качества и достоверности получаемых результатов;

- расчеты долговременной миграции радионуклидов в пределах участка «Енисейский» выполнены с учетом разрывных нарушений, что позволило оценить влияние их наличия и местоположения на безопасность ПГЗРО. При выполнении расчетов использовались 3D модели на основе различных концепций описания геологической среды: дискретной среды (DFM – Discrete Fracture Matrix) и пористой среды (EPM – Equivalent Porous Medium).

В работе выполнена схематизация гидрогеологических условий и приводится решение задачи плановой фильтрации методом аналитических элементов. Приведены результаты сравнения оценки роли различных геологических структурных элементов, в том числе даек, зон дробления, разрывных нарушений, а также их совместного влияния на поток подземных вод.

Приведены основные результаты моделирования переноса радионуклидов на профильной модели в дальней зоне.

Разработанный метод параметризации фильтрационной модели позволил:

- на основе использования плановой геофильтрационной модели, выявить существенное влияние структурных элементов на поток подземных вод;

- обнаружить закономерности для значений проницаемости для различных структурных элементов, связанные с уровнем трещиноватости.

- на основе использования плановой геофильтрационной модели выявлено существенное влияние структурных элементов на поток подземных вод.

- параметрами, в наибольшей степени влияющими на интенсивность переноса загрязнителя из области размещения РАО, являются: коэффициенты фильтрации трех тектонических нарушений Шумихинского, Безымянного, Верхнешумихинского и показатели инфильтрационного питания.

- основная миграция происходит в пределах трех тектонических нарушений, знания о фильтрационных характеристиках которых являются важными для долговременной безопасности. Время миграции (пиковые значения) несорбируемого радионуклида до потенциальной зоны разгрузки составляет около 36 000 лет;

- основное движение приурочено в направлении р. Шумиха вдоль Шумихинского разлома, а основная разгрузка происходит в русло р. Енисей.

- основное направление движения подземных вод связано с региональной дренажной р. Енисей и локальной – р. Шумихой;

В работе приведено трехмерное моделирование опытно-фильтрационных работ. Для моделирования использовался модуль Multi-Node Well (MNW2) программы Groundwater Modeling System 10.41.

По результатам моделирования установлен набор параметров, при котором рассчитанные на модели изменения уровня подземных вод в скважинах при откачке максимально совпадали с наблюдаемыми в натурном исследовании.

Автором установлено:

- численное моделирование позволяет более детально учесть условия трещиноватой толщи, с более детальным заданием структурных элементов, чем при аналитической обработке. Коэффициент фильтрации матрицы в 2-3 раза меньше;

- графики водопонижений, рассчитанные на модели и при выполнении откачек в целом идентичны, что показывает высокую сходимость результатов.

Трехмерное численное моделирование позволяет определить фильтрационные свойства основных структурных элементов, которые являются наиболее важными гидрогеологическими характеристиками массива, они необходимы для построения геофильтрационных моделей, являющихся, в свою очередь, основой для последующих геомиграционных прогнозов.

Трехмерная фильтрационная модель разработана на основе кода GeRa/V1, с возможностью использования неортогональной дискретизации объекта. Модель, разбита на 16 слоев для более детального отображения геологических особенностей участка «Енисейский». Расчетная область соответствует границам водосборных бассейнов, включая р. Байкал, р. Шумиха, р. Плоский, по западной границе проходит русло р. Енисей.

Область трехмерной модели разбита в соответствии со схемой разрывных нарушений на относительно монолитные блоки, имеющие низкие фильтрационные свойства, дренируемые каналами, имеющими повышенную проницаемость. Для соответствия модели фактическим данным была проведена калибровка модели.

В работе приведена трехмерная геомиграционная модель участка «Енисейский» с расчетами миграции несорбируемого радионуклида ^{129}I .

Начальная активность была взята равной $1 \cdot 10^{10}$ Бк.

Коэффициент диффузии для всех слоев модели принят равным 10^{-5} м²/сут для консервативности расчетов, т.к. в реальности он ниже.

В результате выполнения работы автором установлено:

- в пределах кустов скважин 2Ц – Р-2 – 2-2 и 7Ц – Р-7 – 7-2 коэффициент фильтрации вмещающей среды (гнейсов) оценивается величиной от 2 до 3 раз

меньшей, по сравнению со значениями, полученными на основе традиционной аналитической обработки.

- время миграции несорбируемого радионуклида ^{129}I до потенциальной зоны разгрузки по результатам выполненных расчетов составляет (начало) 10 000 лет, пиковые значения – 36 300 лет, при этом удельная активность значительно ниже 0,1 УВ для ^{129}I . Время снижения активности в потенциальной зоне разгрузки – 45000 лет.

- для параметрического обеспечения расчетных моделей и последующего обоснования безопасности ПГЗРО необходимо применять трехмерное моделирование.

Практическая значимость работы. Разработаны и обоснованы расчетными, аналитическими и экспериментальными методами трехмерные модели, обеспечивающие возможность получить сведения для более точного обоснования долговременной безопасности пункта глубинного захоронения РАО на участке «Енисейский». Разработана методика определения геофильтрационных параметров массива горных пород с более высокой степенью их обоснованности при решении задач оценки безопасности ПГЗРО.

Результаты, полученные на разработанных моделях, используются для оценки долговременной безопасности (ОДБ) ПГЗРО на участке «Енисейский».

Личный вклад автора заключается в:

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

- разработке трехмерной геофильтрационной модели на основе блоковой структуры массива в рамках ЕРМ (Equivalent Porous Medium) подхода;

- разработке трехмерной геофильтрационной модели на основе DFM (Discrete Fracture Matrix) подхода;

- 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, анализе и коррекции полученных результатов;

Автор принимал участие в планировании и проведении полевых работ, организовывал эксперименты и обрабатывал полученные результаты.

В работе описаны характерные особенности использованного оборудования и разработанная методика с участием автора, с помощью которой были выполнены исследования.

При сравнении полученных результатов с ранее проводимыми исследованиями установлено:

- коэффициент фильтрации для горных пород, залегающих в интервале от 250 до 700 м на порядок меньше по сравнению с аналитической обработкой, выполненной на оценочной стадии;

- двухпакерный снаряд в кристаллических породах обеспечивает надежную изоляцию изучаемых интервалов, что исключает перетоки подземных вод и даёт наиболее достоверную величину при определении фильтрационных характеристик каждой конкретной зоны по разрезу скважины.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 24 научных работы, из них 11 статей в специализированных изданиях, включая 5 статей в научных журналах, включенных в перечень ВАК рецензируемых научных изданий и 13 докладов на российских и международных конференциях и семинарах.

Структура и объем работы. Работа написана технически и литературно грамотным языком, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 107 библиографических ссылок. Общий объем работы составляет 101 страниц основного текста, включая 17 таблиц и 76 рисунков, в том числе графики.

По материалам диссертации имеются замечания:

- при добавлении в модель структурных элементов коэффициент фильтрации в дайках задан в 10 раз ниже, чем в окружающих породах, а в зонах повышенной трещиноватости – в 2 раза выше; эти значения необходимо было обосновать,

- стр.65,66 – графики изменения уровня подземных вод на рис. 3.2.1 и 3.2.2 аппроксимированы прямыми линиями, следовало подобрать более точные зависимости,

- не представлены сравнительные исследования геофизическими методами, хотя упоминаются в тексте,

- стр. 97, угол наклона структурных элементов при моделировании следовало учесть, введя коэффициент для каждого случая, модель могла бы быть точнее,

- на рис. 5.2.8 строительную площадку пересекает локальный разлом Безымянный, а на рис. 5.2.9 площадку ПГЗРО пересекает разлом, проходящий через ручьи Меркурьев и Шумиха;

- коэффициент диффузии для всех слоев модели принят равным 10^{-5} м²/сут для консервативности расчетов, хотя в реальности он может быть значительно ниже. В исследованиях следовало принимать значения, соответствующие определенным слоям;

- расчет долговременной безопасности приведен для одного радионуклида I^{129} , без рассмотрения других несорбируемых нуклидов

(например, Tc^{99} , Cl^{36} , у каждого нуклида свой УВ), что представляет большой интерес,

- рассматривая в модельных расчетах геологически значимые периоды времени (тысячи лет), следовало учесть силы инерции массы воды р. Енисей, подмывающей правый берег (силы Кориолиса), подвижку берега; река на выбранном участке имеет меридианальное направление течения.

Исходя из анализа материалов, представленных в работе, несмотря на высказанные замечания, диссертация **Разработка и параметрическое обеспечение расчетных моделей для обоснования долговременной безопасности пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (участок «Енисейский»**), вполне соответствует требованиям п. 9-14 Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, а ее автор, Неуважаев Георгий Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Главный специалист службы
главного геолога ФГУП «НО РАО»,
профессор, доктор технических наук
e-mail: EVKuzmin@noraо.ru,
тел.+7-915-043-9179.

Кузьмин Евгений Викторович


Научная специальность, по которой защищена диссертация 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная).

ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами», 119017, Москва, Пятницкая ул., д. 49А, к.2.

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

22.08.2022г.

Подпись профессора, д.т.н. Кузьмина Е.В. удостоверяю:
Начальник управления по работе с персоналом

22.08.2022



Короткова В.С.