

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора геолого-минералогических наук

**Спешилова Сергея Леонидовича на диссертационную работу
Сускина Виктора Викторовича «Разработка и обоснование расчетной
модели анализа безопасности пункта глубинного захоронения жидких
радиоактивных отходов «Полигон «Северный», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая
проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»
в диссертационный совет Д 002.070.01**

Актуальность работы

Темой диссертационного исследования Виктора Викторовича Сускина «Разработка и обоснование расчетной модели анализа безопасности пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов «Полигон «Северный», результаты которого представлены в работе на соискание ученой степени кандидата технических наук, является важная и актуальная проблема обоснования безопасности объектов атомной энергетики, – разработка модели, учитывающей широкий спектр моделируемых процессов, верифицированная по натурным фактическим данным с обоснованием расчетных параметров.

Практика глубинного захоронения жидких РАО в Российской Федерации реализуется уже около 60 лет – с 1963 года, и заключается в их контролируемом нагнетании через скважины в глубокозалегающие пласты-коллекторы, которые изолированы от поверхности земли толщей водоупоров. При этом, обязательным является наличие буферного водоносного горизонта (горизонтов).

В настоящее время эксплуатируются три пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов (ПГЗ ЖРО): в городах Северск, Димитровград и Железногорск.

Такая практика захоронения радиоактивных отходов существует только в Российской Федерации, является уникальной, и требует обоснования, как лучшая практика на международном уровне.

Около 10-15 лет назад произошли принципиальные изменения в обосновании безопасности рассматриваемой технологии. Эксплуатирующая организация и инициированная в 2013 г. Российской Федерацией миссия МАГАТЭ предусматривают необходимость разработки так называемых постоянно действующих геофильтрационных-геомиграционных моделей для ПГЗ ЖРО. На решение данного вопроса и направлено диссертационное исследование В.В. Сускина, что делает **актуальным его тему.**

Целью диссертационных исследований В.В. Сускина является обеспечение безопасности и экологической приемлемости ПГЗ ЖРО «Полигон «Северный» на стадиях его эксплуатации и закрытия путем разработки современной геофильтрационной-геомиграционной модели и обоснования ее параметров., включая:

- анализ ранее созданных моделей объекта для выбора подходов к моделированию и разработке новой модели, снижению консерватизма и расширению границ модели для последующих оценок дозовых нагрузок;
- сбор, систематизацию и анализ данных о территории расположения пункта захоронения, данных мониторинга и создание единой базы фактических данных для верификации разработанной модели, а также - для возможности ее дальнейшей актуализации и верификации по вновь полученным данным;
- разработку трёхмерной геофильтрационной-геомиграционной модели, включающую обоснование границ, условий и параметров модели, в том числе - оценку пространственной изменчивости фильтрационных параметров геологических слоёв, а также учет модели массопереноса в среде с двойной пористостью и обоснование ее геомиграционных параметров;
- калибровку фильтрационных параметров и параметров двойной пористости модельных слоев и фильтрационных свойств Правобережного

тектонического нарушения, а также верификацию разработанной модели по всей совокупности фактических данных.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списков сокращений и условных обозначений и литературы. Работа изложена на 133 страницах машинописного текста и содержит 65 рисунков и 23 таблицы. Библиография включает 85 наименований.

Во **Введении** В.В. Сускиным обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее основная цель, задачи, научная новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту, степень достоверности, личный вклад автора, апробация и публикации результатов работы.

В **первой главе** диссертации представлен опыт применения технологии закачки отходов в глубокие геологические слои в России и за рубежом, и приведен обзор предшествующих работ по моделированию полигона «Северный». Результаты и выводы по предшествующим моделям сделаны и систематизированы, выделены сильные и слабые места: отсутствие протяженности границ моделей до естественных дрен, что позволило бы проводить полный комплекс обоснования безопасности, вплоть до оценок дозовых нагрузок в местах потребления воды, а также выполнять оценки долговременной безопасности; отсутствие применения модели двойной пористости и, как следствие, отсутствие обоснования миграционных параметров; отсутствие прозрачной и наглядной верификации моделей по фактическим скважинным данным (в первую очередь фильтрационной модели), подтверждающей корректность моделей и выполненных на их основе расчетов; отсутствие понятного обоснования принятых в моделях фильтрационных и миграционных параметров (не описанная в достаточной степени калибровка и отсутствие анализа чувствительности моделей).

На основе сделанных выводов по результатам аналитического обзора В.В. Сускин сформулировал требования к будущей разрабатываемой модели,

предназначенной для обоснования безопасности ПГЗ ЖРО «Полигон «Северный».

Вторая глава диссертации посвящена анализу природных условий местоположения объекта, которые могут влиять на безопасность: географические, геологические, гидрографические и гидрогеологические условия.

Также приведено описание режима и типов захораниваемых отходов. Далее В.В. Сускиным определен и сформирован перечень необходимых процессов, подлежащих учёту в разработанной модели, и приведено математическое описание моделей: напорно-безнапорной фильтрации, адвективно-дисперсионно-диффузионного переноса с сорбцией по линейной изотерме и радиоактивным распадом, а также модели массопереноса в среде с двойной пористостью, впервые применяемой на объектах такого типа.

Расчетная разрабатываемая модель имеет расширенные границы, по сравнению с предыдущими моделями объекта, и ограничивается не горным отводом недр, а местами выхода коренных пород фундамента, считающихся непроницаемыми, на поверхность, и протягивается до естественных дрен – рек Енисей и Кан.

Также в рамках диссертационного исследования создана карта неоднородного инфильтрационного питания, построенная с учетом нескольких факторов: экспозиции склонов, углов наклона склонов, растительности территории размещения объекта. Неоднородная инфильтрация была задана в качестве граничного условия на верхней границе модели, что в дальнейшем позволило откалибровать модель по фактическим данным.

Фактические данные за почти полвека эксплуатации полигона «Северный» В.В. Сускиным были найдены, систематизированы и помещены в специальную базу данных, которая использовалась для верификации, и которую в дальнейшем удобно пополнять новыми мониторинговыми данными.

Третья глава диссертации посвящена разработке фильтрационной модели и модели массопереноса в среде с двойной пористостью. Исследования в этой главе направлены на обоснование параметров вышеупомянутых моделей. Ввиду сложности геологического строения территории расположения полигона «Северный», диссертантом была предпринята попытка точного учета всех литологических разностей, встречающихся в буровых колонках скважин, и обоснования коэффициента фильтрации каждой из разностей. В конечном итоге В.В. Сускиным были получены неоднородные коэффициенты фильтрации слоев модели, однако, по ряду причин, диссертант отказался от их задания в модели, предпочтя задавать зоны неоднородности вручную, сообразно со знаниями о перетоках и питании эксплуатационных горизонтов, которые почерпнул в многочисленных отчетах об эксплуатации полигона. В конечном итоге, ручной способ задания неоднородностей позволил с приемлемой точностью откалибровать фильтрационную модель. Далее в третьей главе диссертант приводит результаты исследований, направленных на обоснование параметров модели массопереноса в среде с двойной пористостью. Данная модель на объектах такого типа применяется впервые, параметры мобильной и немобильной пористости и коэффициента массообмена были получены путем калибровки модели, и сопоставления с фактическими данными по скважинам, добиваясь минимума расхождения. Однако далее, выбранные путем калибровки модели значения подтверждаются проведенным исследованием, направленным на вычисление мобильной пористости с использованием фактических скважинных замеров концентрации нитрат-иона и известного дебита закачки в нагнетательные скважины по механизму оценки радиуса влияния нагнетательной скважины. В результате диссертант показал, что значение мобильной пористости, выбранное путем калибровки модели, и значение, выбранное путем аналитического расчета, совпадают.

Завершает главу описание разработанной в диссертационном исследовании трехмерной модели территории расположения полигона «Северный».

В результате анализа данных, составления базы данных, обоснования границ модели и ее параметров, и построения самой модели в **четвертой главе** В.В. Сускиным приведен анализ неопределенностей и достоверности фактических данных и рекомендации по организации мониторинга, а также приведены верификация разработанной модели и результаты моделирования эпигнозной задачи.

В **Заключении** диссертации сформулированы основные результаты работы.

По диссертационной работе в целом, следует отметить:

Достоверность полученных В.В. Сускиным результатов обоснована верификацией модельных результатов по фактическим данным и прошедшей процедурой аттестации ПС в Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) с положительным заключением и выданным аттестационным паспортом.

Полученные В.В. Сускиным в процессе диссертационного исследования результаты имеют несомненную **практическую ценность**, которая заключается в разработке и аттестации расчетной модели, предназначенной для решения задач обоснования безопасности ПГЗ ЖРО полигона «Северный» на эксплуатационном и постэксплуатационном этапах, включая аварийные сценарии. Разработанная модель и полученные на ее основе результаты устраняют часть замечаний и учитывают рекомендации миссии МАГАТЭ к обоснованию безопасности технологии удаления ЖРО в глубокозалегающие пласты-коллекторы; позволяют выполнять условия действия лицензии на эксплуатацию объекта, получать необходимые исходные данные для обоснования работ по закрытию данного объекта и проводить оценку долговременных последствий аварийных ситуаций различного генезиса.

В.В. Сускиным при выполнении диссертационной работы были получены новые научные результаты (**научная новизна работы**), среди которых стоит отметить следующие:

- расчетная область расширена до природных границ – мест естественной разгрузки подземных вод (региональных дрен и др.) по сравнению с предыдущими моделями объекта ввиду необходимости проведения на модели полного комплекса обоснования безопасности, вплоть до предоставления данных для оценки дозовых нагрузок в местах потребления воды;

- объединены моделируемые ранее в разных моделях процессы геофильтрации и геомиграции;

- определены и обоснованы неоднородные фильтрационные параметры слоев модели (пластов-коллекторов и водоупорных горизонтов), основанные на гидродинамических скважинных исследованиях с последующей калибровкой модели, позволившие с приемлемой точностью воспроизвести стационарные условия и историю эксплуатации объекта;

- впервые применена модель массопереноса в среде с двойной пористостью на объекте такого типа, и определены и обоснованы ее параметры;

- проведен анализ неопределенностей и достоверности фактических данных с отбраковкой вероятно некачественных замеров, который позволил получить параметры модели, а также осуществить калибровку фильтрационной модели и выполнить эпигнозный расчет геофильтрационной-геомиграционной модели;

- впервые путем комплексного учета предшествующих исследований, создания модели, ее калибровки и верификации по фактическим данным сформировано отдельное программное средство (ПС) ГЕОПОЛИС.

Основные положения и результаты диссертационной работы **опубликованы** В.В. Сускиным в открытой печати, в том числе в трех статьях в журналах из перечня ВАК Минобрнауки России.

Отдельно стоит отметить **личный вклад** В.В. Сускина в получение результатов научной работы, который в течение длительного времени собирал и систематизировал разрозненные фактические данные и сведения о территории расположения полигона «Северный», обосновал параметры разработанной модели и провел верификацию модели, подтвердившую ее корректность и консерватизм.

По диссертационной работе В.В. Сускина есть несколько **замечаний** принципиального характера:

1. Рекомендации по организации мониторинга (в тексте раздела 4.1) не приведены диссертантом в полном объеме. Замечания к мониторингу приводятся вперемишку с анализом неопределенностей и достоверности данных фактических скважинных замеров. Корректнее было бы вынести все рекомендации в отдельный абзац.

2. Графические иллюстрации, с геологическими данными (разрезы и т.п.) представляют собой сканированные рисунки низкого качества.

3. Полученные диссертантом результаты расчета миграционной задачи показали ее излишний консерватизм (в особенности для стронция-90). В разделе 4.3.3 приведено сопоставление полученных на модели ореолов нитрата для обоих эксплуатационных горизонтов с фактическими данными по скважинам на 2010 год; для стронция-90 такое сравнение не приведено.

4. Из текста раздела 2.3 не понятно, учитывалась ли эвапотранспирация при создании карты с распределенным инфильтрационным питанием, принятым в расчетной модели.

5. В заключении диссертационного исследования сказано, что с помощью разработанной модели возможно проведение исследований долгосрочных последствий аварийных ситуаций. Требуется пояснения, какая природа аварий может быть смоделирована.

Несмотря на отмеченные замечания, диссертационная работа В.В. Сускина, безусловно, оставляет положительное впечатление и

заслуживает высокой оценки. Диссертацию и автореферат отличает четкий и ясный стиль изложения.

Диссертационная работа представляет собой законченное оригинальное исследование, сочетающее аналитические методы исследования с расчетно-экспериментальными, что имеет важное научное и прикладное значение. Диссертация В.В. Сускина удовлетворяет требования, установленные «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, паспорту специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации», а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент,
главный геолог ФГУП «НО РАО»,
доктор геолого-минералогических наук



30.05.2022

С.Л. Спешилов

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами»
Адрес: Пятницкая ул., 49А, стр. 2, Москва, 119017
Электронный адрес: slspeshilov@noraо.ru
Телефон: + 7 (915) 462-95-68

Подпись автора отзыва Спешилова С.Л. заверяю,
Начальник управления по работе с персоналом



Вера Сергеевна Короткова