



## Заключение

Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Институт проблем безопасного развития атомной энергии Российской академии наук  
(ИБРАЭ РАН)

Диссертация «Разработка и обоснование расчетной модели анализа безопасности пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов «полигон «Северный» выполнена в Лаборатории геомиграционного моделирования (лаб. № 12) ИБРАЭ РАН, где в период подготовки диссертации соискатель Сускин Виктор Викторович последовательно работал на должностях инженера-исследователя и младшего научного сотрудника.

В 2014 г. В. В. Сускин с отличием окончил Московский государственный университет по направлению «Геология».

В 2018 г. закончил аспирантуру ИБРАЭ РАН, где ему выдано удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов.

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

По итогам обсуждения на семинаре сотрудников лаборатории геомиграционного моделирования ИБРАЭ РАН, состоявшегося 24.12.2021 г., принято следующее решение:

Диссертация Сускина В. В. «Разработка и обоснование расчетной модели анализа безопасности пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов «полигон «Северный» выполнена на высоком научном уровне, является научной-квалификационной работой, в результате выполнения которой:

- Проанализирован опыт предшествующих разработок и сформированы требования к новой геофильтрационной-геомиграционной модели объекта.
- Проведен сбор, систематизация и анализ данных о территории расположения пункта захоронения, сбор данных мониторинга; создана единая база фактических данных, используемая для верификации разработанной модели, а также пригодная для дальнейшей актуализации и верификации по вновь полученным данным.
- Разработана трехмерная модель полигона «Северный», включая обоснование ее параметров и границ модели.
- Проведена верификация разработанной модели по фактическим данным: подтверждена приемлемость фильтрационной модели и консерватизм миграционной модели.

### Актуальность работы

Практика закачки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) в глубокозалегающие пласты-коллекторы в нашей стране реализуется более 50 лет. Фундаментальные подходы к обоснованию безопасности, сформулированные в период становления данной технологии, постоянно поддерживались и развивались силами научных подразделений АО «ВНИИпромтехнологии», ИФХЭ РАН и эксплуатирующих организаций (АО «СХК», ФГУП «ГХК», АО «ГНЦ НИИАР»). Деятельность в отношении пунктов глубинного захоронения ЖРО (ПГЗ ЖРО), равно как и вопросы обоснования безопасности, в открытой литературе широко не описывались. Однако наличие закрытых

обоснований, выполненных, в том числе с применением расчетных методов программными средствами, позволяло считать проблему в определенной мере решенной.

Принципиальные изменения в оценке актуальности проблемы обоснования долговременно безопасности рассматриваемой технологии произошли в последние 15 лет. Их инициировали: ратификация в 2005 г. Россией «Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами», вступление в силу в 2011 г. нового российского закона по обращению с РАО; ужесточение условий действия лицензии на ПГЗ ЖРО в отношении необходимости наличия так называемых постоянно действующих геофильтрационных-геомиграционных моделей; заключение специальной миссии МАГАТЭ, инициированной Российской Федерацией в 2013 г., сформулировавшей замечания к расчетному моделированию и рекомендации к обоснованию безопасности данной технологии удаления ЖРО.

Во всех случаях разработка современных расчетных моделей и развернутое обоснование долгосрочной безопасности пунктов глубинного захоронения после их закрытия стали условием допустимости дальнейшей эксплуатации объектов захоронения. Современный уровень при этом диктовал многомерность компьютерных моделей, комплексный учёт максимального спектра существующих процессов, должное обоснование параметров и границ моделей, и минимальное количество допущений.

К настоящему времени на трех действующих объектах захоронения ЖРО изолировано свыше 60 млн м<sup>3</sup> ЖРО. При этом еще в 2000 году (проект IASA) и позже в 2012-2013 гг. (миссия МАГАТЭ) в качестве референтного объекта оценки безопасности технологии удаления ЖРО в глубокозалегающие пласты-коллекторы был выбран полигон закачки ЖРО «Северный».

Таким образом, с учетом уже размещенных на захоронение объемов ЖРО и текущих объемов закачки, тема создания современных расчетных моделей для обоснования безопасности объектов захоронения ЖРО, является актуальной, а её практическая реализация для референтного объекта имеет значение также и для ПГЗ ЖРО «Северский» и «Димитровградский».

Как и в большинстве случаев обоснования безопасности пунктов захоронения РАО, ключевую роль играют процессы геофильтрации и геомиграции РАО в подземных водах, а также сорбция радионуклидов. Вышеуказанные обстоятельства стали отправной точкой для начала работ над диссертационным исследованием.

### **Научная новизна работы**

- 1 Разработана геофильтрационная-геомиграционная модель для анализа и обоснования безопасности ПГЗ ЖРО полигон «Северный», в которой впервые:
  - 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 некачественных замеров, который позволил получить параметры модели, а также осуществить калибровку фильтрационной модели и выполнить эпигнозный расчет геофильтрационной-геомиграционной модели.

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

### **Практическая значимость работы**

Разработанная расчетная модель в составе ПС ГЕОПОЛИС аттестована Ростехнадзором для решения задач обоснования безопасности ПГЗ ЖРО полигона «Северный» на эксплуатационном и постэксплуатационном этапах, включая аварийные сценарии.

Современная расчетная модель обеспечивает:

1 выполнение условия действия лицензии: проводит численные оценки уже имеющегося объема ЖРО в геологической среде (совместно с верификацией расчетов по фактическим замерам в скважинах) и предоставляет исходные данные для оценки остаточной емкости пластов-коллекторов;

2 получение необходимых исходных данных для обоснования работ по закрытию данного объекта:

– проведение прогнозных расчётов на длительный период (долговременная безопасность);

– оценку времени достижения загрязняющими компонентами мест разгрузки подземных вод;

– расчет значений максимальной концентрации загрязнителей в подземных водах в любой точке модели и в местах разгрузки подземных вод в естественные дренажи (исходные данные для проведения оценок дозовых нагрузок на население в местах естественного потребления воды и нахождения у водоемов);

– оценку долговременных последствий аварийных ситуаций различного генезиса (внешние и внутренние воздействия) на данном объекте и, возможно, аналогичных объектах (заколонные перетоки по стволам скважин, образование горизонтальных каналов ускоренной миграции, засуха/наводнение и др.).

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.

Личный вклад автора заключается в:

– проведении сбора, систематизации и анализа всей совокупности фактических данных, в том числе отбраковка некачественных замеров по скважинам;

– создании модели, выполнении анализа чувствительности модели к модельным параметрам, калибровке и верификации модели по фактическим данным, подтвердившим корректность модели и ее консерватизм;

– обосновании параметров разработанной геофильтрационной-геомиграционной модели: проведение оценки пространственной изменчивости фильтрационных параметров геологических слоёв, применение комплексного метода систематизации фактических данных и обоснование параметров массопереноса модели двойной пористости;

– проведении эпигнозного расчета на разработанной модели, в том числе верификационных расчетов для аттестации ПС в Ростехнадзоре.

**Достоверность** разработанной геофильтрационной-геомиграционной модели и ее результатов расчета в составе ПС «ГЕОПОЛИС» для использования при обосновании безопасности ПГЗ ЖРО полигон «Северный» подтверждается верификацией модельных

результатов с фактическими данными и прошедшей процедурой аттестации ПС в Ростехнадзоре с положительным заключением и выданным аттестационным паспортом. Результаты диссертации неоднократно докладывались на российских и международных конференциях.

Диссертация Сускина В. В. является завершенной научно-квалификационной работой, соответствует специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» и отрасли наук «технические науки». Все положения и результаты работы, выносимые на защиту получены автором лично или при непосредственном участии автора, отражены в 3 работах, опубликованных соискателем в рецензируемых изданиях из перечня ВАК Минобрнауки России (всего по теме диссертации опубликовано 15 научных работ). Основные результаты были представлены Сускиным В. В. на 10 научных конференциях и семинарах.

Диссертация «Разработка и обоснование расчетной модели анализа безопасности пункта глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов «полигон «Северный» Сускина Виктора Викторовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Заключение принято на объединенном семинаре отделения анализа долгосрочных рисков в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности ИБРАЭ РАН и отделения информационного обеспечения программ в сфере ЯРБ ИБРАЭ РАН.

Присутствовало на заседании 36 чел. Результаты голосования: «за» – 36 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел.

Заведующий лабораторией  
геомиграционного моделирования,  
к.ф.-м.н.



Капырин Иван Викторович

Заместитель директора  
по научной работе  
и координации  
перспективных разработок,  
д.т.н.



Линге Игорь Иннокентьевич

01.02.2022