

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата химических наук Родионовой Анастасии Андреевны
на тему: «Относительная эффективность сорбции Cs, Sr, Ra, Am, Pu, Np
и U на минералах при глубинном захоронении радиоактивных отходов»
по специальности 1.4.13. – радиохимия**

В настоящее время международный консенсус относительно безопасного обращения с тепловыделяющими высокоактивными и долгоживущими среднеактивными РАО – их захоронение в глубоких геологических формациях. В Российской Федерации ПГЗРО планируется к сооружению в Красноярском крае на участке «Енисейский». В настоящее время развёрнут мощный комплекс научно-практических работ, направленных на обоснование безопасности эволюции этого объекта в течение сверхдлительного периода времени (до 1 млн лет), определяемого потенциальной опасностью отходов, которые будет венчаться прикладными исследованиями в так называемой подземной лаборатории. Фундаментальной научной проблемой, лежащей в основе необходимости реализации такого широкомасштабного подхода к организации, выполнению и интерпретации результатов работ, является принципиальная ограниченность прогностической способности моделей.

Как правило, в основе оценок безопасности ПГЗРО лежит разработка моделей переноса радионуклидов из источника. Одна из важных составляющих, которая традиционно становится своего рода заложником консервативного подхода, связана с механизмами взаимодействия радионуклидов с твёрдыми минеральными фазами зоны миграции.

Учитывая объективную тенденцию последнего десятилетия на максимально полный учёт неравновесных процессов при обосновании долговременной безопасности захоронения РАО, актуальность диссертационного исследования Анастасии Андреевны Родионовой, целью которого является определение количественного вклада отдельных минералов вмещающих пород участка «Енисейский» в сорбцию радионуклидов с различным химическим поведением, очевидна. При этом особо актуальным выглядит исследование сорбционно-задерживающих свойств образцов трещиноватых пород, так как именно по трещинам будет происходить основной перенос загрязнителя из источника.

В ходе работы Анастасией Андреевной решался ряд задач:

✓ разработка методического подхода количественного анализа микрораспределения Cs, Sr, Ra, Am, Pu, Np и U на минеральных фазах пород участка «Енисейский» с использованием цифровой радиографии и программ обработки изображений;

- ✓ установление параметров относительной эффективности сорбции (ОЭС) исследуемых радионуклидов на минеральных фазах цельных образцов пород участка «Енисейский» на основе разработанного методического подхода;
- ✓ проведение сравнительной оценки коэффициентов распределения Cs, Sr, Ra, Am, Pu, Np и U на порошках отдельных минералов и параметров ОЭС радионуклидов для цельных образцов пород;
- ✓ проведение сорбции Cs, Sr, Am на образцах трещиноватых пород участка «Енисейский» в условиях влияния различных температур и установление параметров ОЭС представленных радионуклидов на отдельных минералах пород с помощью разработанного методического подхода

Обоснованность и достоверность диссертационного исследования Анастасии Андреевны выглядят достоверными как с точки зрения использованных методов обработки данных, так и полученных результатов - полученные в ходе диссертационного результаты исследования находятся в русле современных исследований современных и отечественных и зарубежных авторов.

Структура и основное содержание работы. Диссертационная работа оформлена традиционно. Текст диссертации изложен на 119 страницах печатного текста и включает в себя Введение, литературный обзор сорбционно-осадительных свойств рассмотренных элементов в подземном пространстве (Первая часть) и соответствующей экспериментальной базы (Вторая часть). Результаты и их обсуждение представлены в Третьей части. Работа содержит 44 рисунка и 14 таблиц. Список цитируемой литературы обширен - 215 наименований. Содержание диссертации соответствует автореферату.

Диссертационное исследование Анастасии Андреевны прошло достаточную апробацию: материалы опубликованы в 4 статьях в научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, а также в 2 статьях в рецензируемых научных изданиях и 9 тезисах докладов на тематических отечественных и международных конференциях.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в получении количественных параметров сорбции и микрораспределения радионуклидов на минеральных фазах цельных пород участка «Енисейский» с целью проведения дальнейшего прогнозного моделирования поведения радионуклидов в условиях будущего захоронения ВАО. На основе полученных данных по сорбции радионуклидов и проведения моделирования была определена глубина проникновения растворов, содержащих Cs, Sr, Am, в толщу трещиноватого образца породы участка «Енисейский». Параметр ОЭС может быть применен для определения поверхностных коэффициентов распределения радионуклидов на отдельных минералах цельного образца породы.

Полученные результаты работы обладают **научной новизной:**

1. Впервые разработан методический подход количественного анализа микрораспределения радионуклидов на различных минеральных фазах кристаллических пород с использованием цифровых радиограмм и изображений, полученных методом растровой электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом (РЭМ с РСМА).

2. Впервые предложено использовать параметр относительной эффективности сорбции (ОЭС) радионуклидов на минеральных фазах кристаллических пород для количественной оценки микрораспределения Cs, Sr, Ra, Am, Pu, Np и U.

3. На основе разработанного методического подхода впервые установлен количественный вклад вторичных минералов зон трещиноватости в сорбцию Cs, Sr, Am в условиях влияния различных температур путём получения значений ОЭС радионуклидов на отдельных минеральных фазах пород.

Достоверность результатов работы определяется использованием современных экспериментальных методов исследования и сопоставимостью результатов, полученных независимыми методами. Результаты исследования базируются на обширном материале, представленном образцами нескольких кернов трёх скважин участка «Енисейский».

Выносимые на защиту **положения и выводы** подтверждены экспериментальными данными и результатами расчётов. Основные результаты и выводы диссертации полностью соответствуют поставленным задачам.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Вопросы и замечания. После ознакомления с текстом диссертационного исследования возник ряд замечаний. Обращает на себя внимание некоторая академичность диссертационного исследования Анастасии Андреевны, при этом несомненно, что практическое применение работы будет найдено дальнейшем, однако следующие вопросы следует осветить более подробно:

- Каким образом подготавливались образцы индивидуальных твёрдых минеральных фаз для сорбционных экспериментов?
- Применяемый подход по переносу свойств минералов аналогов минералам пород массива Енисейский (Подраздел 3.3) требует более полного описания и обоснования.
- Как автор объясняет обнаруженный им важный интересный результат увеличения сорбции стронция и америция с ростом температуры, в то время как сорбция цезия не изменяется? Каким может быть на практике влияние этого эффекта?
- Как Анастасия Андреевна видит дальнейшее применение полученных результатов?

Временами на себя обращает внимание некоторая терминологическая вольность. Например, на стр. 24 указано, «В узлах решетки находятся атомы

кислорода и гидроксид ионы, в центрах октаэдров могут присутствовать Al, Fe, Mg, а в центрах тетраэдров Si^{4+} , хотя если используется термин «алюмосиликат», то алюминий обязательно должен быть в тетраэдрической позиции, замещая Si, в противном случае, если Al только в октаэдрах, это – алюмосодержащий силикат. Также наблюдаются некорректности минералогической терминологии, например, на стр. 24 в 3м абзаце «Слоистые алюмосиликаты (слюды), к которым относятся такие минералы, как мусковит, биотит, хлорит.», хотя сам *хлорит представляет собой группу минералов различного состава, корректно ли общее название группы приводить в списке индивидуальных алюмосиликатов?* Вообще хлорит часто в диссертации назван слоистым силикатом (например, на стр. 90, 2 абзац), хотя он – алюмосиликат.

- Стр. 35. 1 абзац. «Максимум сорбции достигается при pH 8, а значения K_d в точке pH 7,2 составляет 10^4 мл/г, что согласуется с работами Алларда». *Комментарий: целесообразно дать ссылки на работы.*
- Страница 79. Таблица 3.8. *Комментарий - в шапке таблицы 3.8 следовало бы написать «Удельная поверхность»*

Следует отметить, что указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования, которое отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Общее впечатление от диссертации Анастасии Андреевны - весьма положительное.

Среди важных результатов диссертации отметим следующее: отмечено высокое сродство америция, плутония, урана по отношению к апатиту, что особенно важно для оценки безопасности ПЗРО при прогнозировании миграции радионуклидов при выщелачивании алюмофосфатных стекол матриц РАО, так как прогнозируется, что гидроксиапатит является одним из продуктов, образующихся при выщелачивании АФС-матриц в присутствии бентонита.

Защищаемые положения изложены непротиворечиво, ясно и чётко. Работу отличает большой объём и высокое качество экспериментального исследования и обработки результатов.

Диссертация Родионовой Анастасии Андреевны отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода.

Содержание диссертации соответствует специальности 1.4.13. – Радиохимия (химические науки), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертация оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата химических наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель **Родионова Анастасия Андреевна** заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.13. – Радиохимия.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук,

заведующий отделением анализа долгосрочных рисков в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН)

УТКИН Сергей Сергеевич

05.03.24

подпись

Дата подписания

Контактные данные:

тел.: +7(926)571-3221, e-mail: uss@ibrae.ac.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

05.14.03 - Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

Адрес места работы:

115191, г. Москва, ул. Большая Тульская ул., д. 52,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН), Отделение анализа долгосрочных рисков в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности

Тел.: +7-495-955-23-77; e-mail: uss@ibrae.ac.ru

Подпись сотрудника ИБРАЭ РАН Уткина С.С. удостоверяю:
руководитель/кадровый работник

И.О. Фамилия

