

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

Диссертационная работа Родионовой А.А. связана с проблемой безопасного обращения с радиоактивными отходами (РАО), подлежащими захоронению в глубокие геологические формации. Работа направлена на изучение поведения радионуклидов в условиях Нижнеканского массива участка «Енисейский», где предполагается сооружение подземной исследовательской лаборатории и размещение пункта глубинного захоронения РАО 1 и 2 класса (ПГЗРО). Таким образом **актуальность работы** не вызывает сомнений.

Важной задачей при оценке безопасности ПГЗРО является оценка сорбционных свойств вмещающих горных пород по отношению к радионуклидам. Получение количественных параметров сорбции является одним из основных составляющих набора исходных данных для долгосрочного геомиграционного моделирования. Оценка вклада отдельных минералов и минеральных ассоциаций в горных породах необходима для изучения сорбционных характеристик горных пород и установления основных сорбционно-эффективных минеральных фаз по отношению к радионуклидам, где особую значимость представляют минеральные компоненты трещин, по которым, как предполагается, будет происходить миграция радионуклидов. Таким образом автор адекватно сформулировал **цель исследования**: определение количественного вклада отдельных минералов вмещающих пород участка «Енисейский» в сорбцию радионуклидов с различным химическим поведением.

Для достижения поставленной цели автором были решены теоретические и практические задачи. Полученные результаты работы обладают **научной новизной**, так как впервые был разработан методический подход для количественной оценки вклада фаз полиминеральной системы в сорбцию радионуклидов на примере реальных монолитных образцов пород участка «Енисейский» и использован новый параметр относительной эффективности сорбции. Применение нового параметра, учитывающего полиминеральность системы, позволило установить вклад вторичных минералов-заполнителей трещин в сорбцию радионуклидов, что является немаловажной частью работы.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы (раздел 1), экспериментальной части (раздел 2), результатов и их обсуждения (раздел 3), выводов, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, отражена новизна работы и область применения, приведены положения, выносимые на защиту.

Обзор литературы (раздел 1) состоит из трёх частей. В первой кратко описана проблема обращения с РАО, рассмотрены концепция окончательной изоляции РАО в среде вмещающих пород и проект по размещению будущего хранилища. Вторая часть посвящена: описанию химических процессов, которые могут оказывать влияние на миграцию радионуклидов в среде подземных вод, рассмотрению основных механизмов и моделей, характеризующих сорбцию радионуклидов на минералах, обзору основных исследований по изучению сорбционных свойств кристаллических пород, проводимых как за рубежом, так и в России, а также установлению закономерностей сорбции радионуклидов на отдельных минералах. В третьей части автор делает заключение, из которого следует необходимость в получении параметра, характеризующего сорбционные свойства минералов пород в условиях их конкуренции.

В экспериментальной части работы автором были охарактеризованы образцы пород/минеральных фаз, условия проведения сорбционных экспериментов и основные методы исследования.

Раздел результатов и их обсуждения состоит из шести подразделов и заключения. Первый посвящен разработке методического подхода для определения параметра относительной эффективности сорбции радионуклидов на минералах на примере образца породы участка «Енисейский» с использованием метода цифровой радиографии и программ обработки изображений. В результате автором было предложено использовать два метода количественной оценки сорбции, преимущества и недостатки которых описаны в работе.

Во втором подразделе приводятся результаты по параметрам относительной эффективности сорбции Cs, Sr, Ra, Am, Pu, Np и U на отдельных фазах полиминеральной системы, на основании чего установлены наиболее сорбционно-эффективные минералы по отношению к каждому изученному радионуклиду.

Далее в третьем подразделе рассматривается сорбция радионуклидов на порошках минералов, входящих в состав изученных пород с получением параметров коэффициентов распределения. Здесь же автор проводит сравнение двух параметров, полученных в полиминеральной системе (относительная эффективность сорбции) и мономинеральных системах (коэффициенты распределения). В результате автор отмечает согласованность данных, полученных в разных системах, что подчеркивает достоверность разработанного методического подхода.

Четвертый подраздел посвящен изучению сорбционных свойств трещиноватого образца породы участка «Енисейский», где основное внимание уделено микрораспределению радионуклидов на минералах-заполнителях трещин. Автор отметил, что преимущественно радионуклиды локализируются в трещинах, заполненными вторичным минералом – хлоритом,

что также подтверждается значениями относительной эффективности сорбции.

В пятом подразделе рассматривается сорбция цезия на порошках минералов-заполнителей трещин, представленных одно- и двухфазными системами. Здесь автор отмечает, что распределение цезия на порошках минералов отличается от его распределения по минералам монолитного образца породы, что подтверждается разницей в сорбции между минеральными фазами, обладающими различной сорбционной эффективностью. Таким образом автор подчеркивает важность исследований направленных на изучение монолитных образцов пород.

Шестой подраздел направлен на изучение микрораспределения радионуклидов в условиях влияния повышенных температур, которые могут наблюдаться в ближней зоне хранилища с РАО. Автором получены интересные результаты, где показано что сорбция стронция и америция увеличивается с ростом температуры, тогда как сорбция цезия не изменяется. Здесь же автор ещё раз подчеркнул ключевую роль вторичных минералов и показал, что сорбция радионуклидов контролируется единственной минеральной фазой – Ca(Sr)-цеолитом вне зависимости от температуры.

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 соответствует содержанию диссертации. Основные результаты работы отражены в 15 публикациях, в том числе 4 статьи в

журналах, индексируемых Web of Science и Scopus, 2 статьи в рецензируемых научных изданиях и 9 тезисов докладов.

В ходе ознакомления с текстом работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. В п.1.1.1 литературного обзора написано: «По истечению достаточно длительного срока хранения РАО наибольшую опасность для окружающей среды будут представлять долгоживущие радионуклиды: $^{239-240}\text{Pu}$, $^{241,243}\text{Am}$, ^{237}Np , ^{129}I , ^{99}Tc , ^{135}Cs , поэтому необходимо в полной мере изучить возможность их миграции с подземными водами», что является правомерным и возникает вопрос, с какой целью автор исследует сорбционные характеристики Sr при этом не рассматривает йод и технеций?

2. В разделе 2.2 указаны концентрации радионуклидов в модельных растворах, но если речь идет о радиоактивных элементах, логичнее было бы указывать их исходную активность.

3. На рисунках 3.12-3.14, 3.24 на оси ординат отложен параметр Сорбция,%. Сорбция это процесс, у которого есть разные характеристические оценки: степень сорбции, коэффициент распределения и т.д. Таким образом, является некорректным данное обозначение и остается непонятным, что за величина отложена на оси Y.

4. Что представляет собой параметр ОЭС, являются ли его значения относительными величинами? Как может измениться значение данного параметра, если в породе будет присутствовать фаза, на которой сорбируется порядка 90% радионуклида?

5. В массиве пород могут существовать зоны с различной зернистостью, но схожим минеральным составом. Будет ли удельная поверхность минеральных зёрен влиять на величину параметра ОЭС?

6. Как учитывалась шероховатость поверхности монолитных образцов пород при изучении на них сорбции радионуклидов?

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация 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:

Кандидат технических наук,

доцент кафедры химии высоких энергий и радиозэкологии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева"

ТЮПИНА Екатерина Александровна



подпись

«06» марта 2024 г.