

«Утверждаю»

Проректор Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова»



А.А. Федянин
_____ А.А. Федянин
«12» *июля* 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» на диссертационную работу **Куликовой Светланы Анатольевны** на тему "Иммобилизация актинидсодержащих радиоактивных отходов в магний-калий-фосфатную матрицу", представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.14 – Радиохимия (1.4.13)

Актуальность темы исследования. Диссертационная работа Куликовой Светланы Анатольевны посвящена решению проблемы обращения с радиоактивными отходами (РАО), образующимися при переработке отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и содержащими долгоживущие актиниды. Так как общепринятым подходом считается отверждение жидких РАО, работа была направлена на исследование возможности использования минералоподобной магний-калий-фосфатной матрицы (МКФ) матрицы для иммобилизации актинидсодержащих РАО. В настоящее время сведения о способах иммобилизации актинидсодержащих РАО в МКФ матрицу крайне ограничены. В этой связи тема диссертации Куликовой С.А. является обоснованной и, несомненно, актуальна. Одновременно актуальными являются задачи по выяснению формы нахождения и распределению актинидов в компаунде, скорости и механизму их выщелачивания из компаунда при возможном контакте с подземными водами, а также определению характеристик образующегося компаунда и сравнение их в соответствии с действующими требованиями к отвержденным актинидсодержащим РАО.

Научная новизна работы достаточно значительна. Показано, что актиниды и другие катионы компонентов РАО при отверждении их азотнокислых растворов-имитаторов актинидсодержащих отходов включаются в состав компаунда на основе МКФ матрицы в виде малорастворимых фосфатных соединений. Прочность

на сжатие компаунда, в том числе после 30 циклов замораживания/оттаивания и облучения до дозы 1 МГр, составляет не менее 9 МПа, что соответствует нормативным требованиям к отвержденным отходам. Показано, что термическая устойчивость компаунда до 450 °С достигается путем введения в компаунд минеральных модификаторов – волластонита или цеолита в количестве 23-29 или 17-23 масс.% соответственно. Прочность на сжатие компаунда после термообработки составляет около 15-20 МПа, что соответствует нормативным требованиям к отвержденным отходам. Установлена высокая устойчивость компаунда к выщелачиванию актинидов, соответствующая требованиям к отвержденным РАО. Так, скорость выщелачивания ^{239}Pu из компаунда с иммобилизованным имитатором ВАО составляет около 10^{-9} г/(см²·сут). Подтверждено отсутствие изменений структуры и водостойкости компаунда после облучения до дозы 1 МГр, что указывает на его радиационную устойчивость.

Все выдвинутые на защиту положения научно обоснованы.

Теоретическая значимость работы заключается в изучении поведения и форм нахождения актинидов и РЗЭ(III) в компаунде на основе МКФ матрицы при отверждении азотнокислых растворов-имитаторов актинидсодержащих РАО.

Практическая значимость работы. Полученные результаты работы могут быть использованы для оптимизации методов и подходов к иммобилизации РАО на радиохимических предприятиях атомной отрасли и атомных электростанциях.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы, содержащего 151 наименование. Материал работы изложен на 113 страницах печатного текста, включает 34 рисунка и 11 таблиц. Все главы диссертации написаны логично, а полученные результаты имеют обоснованную интерпретацию.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цель, поставленные задачи и основные защищаемые положения, отмечены ее научная новизна, практическая и теоретическая значимость, представлены апробация работы, ее структура и объем.

В обзоре литературы (**глава 1**) приведены краткие сведения о классификации и составе РАО. Рассмотрены используемые и перспективные матричные материалы для иммобилизации актинидсодержащих РАО, предъявляемые действующие нормативные требования к отвержденным РАО и подходы к их хранению/захоронению.

В методической (**глава 2**) части описаны методики синтеза образцов синтеза компаунда на основе МКФ матрицы и проведения экспериментов по исследованию состава, структуры, прочности на сжатие, водостойкости, термической и радиационной устойчивости компаунда и определению его теплофизических характеристик.

Глава 3 посвящена определению формы нахождения актинидов в компаунде и характеристик (скорость, степень и механизм) их выщелачивания.

В главе 4 представлены результаты исследования свойств компаунда с иммобилизованным имитатором актинидсодержащих САО, содержащих азотную и серную кислоты, актиниды до 10^8 Бк/л, ионы аммония и железа. В работе определены показатели качества (механическая прочность, устойчивость к термическим циклам замораживания/оттаивания, водоустойчивость и радиационная устойчивость) полученного компаунда в сравнении с нормативными требованиями к цементному компаунду как компаунду для отверждения САО.

Глава 5 посвящена исследованию свойств компаунда с иммобилизованным имитатором ВАО после переработки ОЯТ реакторных установок ВВЭР-1000. В работе определены показатели качества (механическая прочность, водоустойчивость, термическая и радиационная устойчивость) полученного компаунда в сравнении с нормативными требованиями к стеклоподобному компаунду как компаунду для отверждения ВАО.

К каждой главе имеются выводы. В заключении отмечено, что в результате выполненных исследований показано соответствие показателей качества компаунда на основе МКФ матрицы нормативным требованиям к материалам, используемым для отверждения САО и ВАО в России, что подтверждает перспективность применения МКФ матрицы при иммобилизации различных типов ЖРО.

Особый интерес представляют результаты исследований, полученные с использованием имитаторов реальных ЖРО различного состава, т.к. это позволяет уже на практике оценить перспективы использования МКФ матрицы.

Диссертация и автореферат написаны хорошим языком. Автореферат в полной мере отражает цели, задачи, основные положения диссертации, полностью соответствует ей по содержанию и выводам.

О замечаниях по работе.

1. В работе изучена радиационная устойчивость МКФ компаунда после облучения электронами до дозы 10^6 Гр, в то время как в соответствии с нормативные требования к отвержденным ВАО эта дозы должна составлять 10^8 Гр. Чем обусловлен выбор дозы?

2. С чем связана низкая скорость выщелачивания урана и неодима из образцов при повышенной температуре в соответствии с тестом РСТ?

3. Из текста неясно, какое было наполнение компаунда солями РАО?

4. В работе указано, что в процессе отверждения нитрата уранила в МКФ матрице образуются собственные фосфатные фазы урана. Можно ли оценить, какова граница растворимости урана в самом струвите? И какова структура образующихся твердых растворов?

5. В работе использованы микроконцентрации плутония и америция. Что будет при переходе к их макроконцентрациям? Будут ли данные актиниды

образовывать собственные фосфатные фазы, какова граница растворимости в струвите и какие степени окисления плутония ожидаются?

6. Какова механическая прочность образцов после выщелачивания аммония как структурообразующего компонента?

7. Наблюдается ли химическое взаимодействие прочностных модификаторов с материалами матрицы?

Существенных замечаний, способных повлиять на общую и, безусловно, положительную оценку диссертационной работы – нет.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 18 статьях, 10 из которых опубликованы в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах Web of Science, Scopus, RSCI и рекомендованных ВАК при Минобрнауки России для публикации основных научных результатов диссертации; один патент РФ.

Апробация. Основные результаты диссертации были представлены международных и российских конференциях и опубликованы в 19 тезисах докладов в сборниках трудов этих конференций.

Заключение.

В диссертационном исследовании Куликовой С.А. решена научная задача о возможности иммобилизации различных типов жидких радиоактивных отходов в магний-калий-фосфатную матрицу, а полученные результаты могут быть направлены на повышение безопасности обращения с такими отходами и, таким образом, на повышение общего уровня безопасности радиохимических технологий, при использовании которых образуются жидкие РАО.

Тема и содержание диссертационной работы Куликовой С.А. соответствуют паспорту специальности 02.00.14 – радиохимия (1.4.13), конкретно следующим областям исследований, предусмотренных паспортом этой специальности: 2. Состояние и распределение радионуклидов в различных фазах. Процессы фазообразования и коллоидообразования; 7. Определение радиоактивных элементов и изотопов. Методы радиохимического анализа. Авторадиография. Аналитический контроль радиохимических производств. Радиохимические аспекты радиационной безопасности; 8. Химия ядерного топлива. Научные основы радиохимической технологии и проблемы обращения с радиоактивными отходами. Радиохимические аспекты ядерной трансмутации.

Диссертационная работа Куликовой С.А. по своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований, практической значимости полученных результатов является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842 "О порядке присуждения ученых степеней" (в редакции Постановлений правительства РФ от 01.10.2018 № 1168 и 26.05.2020 № 751), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор **Куликова Светлана Анатольевна** заслуживает присуждения ей искомой

ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.14 – Радиохимия (1.4.13).

Отзыв ведущей организации подготовил **Петров Владимир Геннадиевич**, кандидат химических наук по специальности 02.00.14 – Радиохимия, доцент, заведующий лабораторией дозиметрии и радиоактивности окружающей среды.

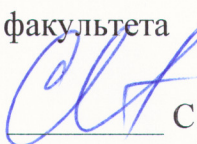
«8» июля 2021 г.

 В.Г. Петров

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
Адрес: 119991 Москва, Ленинские горы, д. 1 стр. 3
<https://www.msu.ru>
E-mail: vladimir.g.petrov@gmail.com
Тел.: +7 (495) 939-32-20

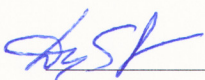
Отзыв заслушан и утвержден на заседании кафедры радиохимии Химического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, протокол заседания №116_3 от «17» июня 2021 г.

Заведующий кафедрой радиохимии Химического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова,
чл.-корр. РАН

 С.Н. Калмыков

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1 стр.3
Телефон: +7-495-939-31-86
Электронная почта: info@radiochemistry-msu.ru

Секретарь заседания
ст.преп.

 О.В. Дубовая

Зам. декана Химического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова по научной работе
д.х.н.

 М.Э. Зверева