

## ОТЗЫВ

официального оппонента Жемжурова Михаила Леонидовича на диссертационную работу Леонтьевой Татьяны Геннадьевны «Алюмосиликатные сорбенты, полученные на основе отходов ОАО «Беларуськалий», для безопасного обращения с жидкими радиоактивными отходами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 - Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

**Соответствие диссертации специальностям и отрасли науки, по которым она представлена к защите, со ссылкой на область исследования паспорта соответствующей специальности, утвержденного ВАК**

Представленная Леонтьевой Т.Г. диссертационная работа полностью соответствует п. 10 паспорта специальности 05.14.03 - Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации, а именно;

-«Снятие АЭС с эксплуатации, обращение с радиоактивными отходами и их захоронение».

- «Разработка экологически безопасных методов, способов и технологий переработки, очистки, утилизации, хранения и захоронения радиоактивных отходов».

### **Актуальность темы диссертации**

Согласно Стратегии обращения с радиоактивными отходами, утвержденной постановлением совета Министров Республики Беларусь от 15.02.2023 № 128 одним из основных направлений совершенствования национальной системы обращения с радиоактивными отходами является разработка новых и совершенствование существующих технологий по обращению с радиоактивными отходами, что позволит исключить дальнейшую миграцию радионуклидов в объекты окружающей среды.

Развитие атомной энергетики в Республике Беларусь является приоритетным стратегическим направлением, нацеленным на долгосрочную перспективу. Введена в эксплуатацию Белорусская АЭС мощностью 2,4 ГВт и заявлено о возможном строительстве второй атомной электростанции.

Для извлечения радионуклидов из водных растворов на АЭС используются различные методы, среди которых можно выделить сорбционный метод, заключающийся в применении различных видов сорбентов: природных, синтетических, комплексообразующих, модифицированных, композиционных и т.д. Следовательно, весьма актуальным является поиск доступных и эффективных материалов, использование которых будет экономически целесообразно при переработке и дальнейшем использовании полученных продуктов в качестве сорбентов радионуклидов.

В представленной работе промышленные отходы – глинисто-солевые шламы, которые образуются при переработке селвинитовой руды на ОАО

«Беларуськалий» (г. Солигорск, Минская обл.) и представляют собой нерастворимый глинистый осадок, рассматриваются в качестве потенциальных алюмосиликатных сорбентов для дальнейшего использования для очистки жидких радиоактивных отходов и иммобилизации радионуклидов в цементной матрице.

Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности в Беларуси на 2021–2025 гг. в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156, а именно п. 3. Энергетика, строительство, экология и рациональное природопользование: атомная энергетика, ядерная и радиационная безопасность; техника и технологии в сфере сбора, обезвреживания и использования отходов. Диссертационная выполнена в рамках заданий государственных программ научных исследований (ГПНИ).

**Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту.**

В представленной работе:

- приведены новые данные о химическом, минералогическом и гранулометрическом составе образцов глинисто-солевых шламов ОАО «Беларуськалий», содержащих  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , и полученных алюмосиликатных сорбентов на их основе. Установлено, что основой мелкодисперсных частиц глинисто-солевых шламов является минерал иллит, содержание которого в зависимости от вида сорбента составляет от 42 до 89,2 %, и который обладает высокими сорбционными свойствами;

- установлены закономерности сорбции радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{85}\text{Sr}$ , параметры селективной сорбции  $^{137}\text{Cs}$  при очистке модельных растворов, имитирующих жидкие радиоактивные отходы АЭС, в зависимости от состава, pH раствора, продолжительности контакта сорбента с модельным раствором и соотношения сорбент – раствор;

- показано, что сорбция  $^{85}\text{Sr}$  протекает по механизму ионного обмена и наличие в очищаемых растворах конкурирующих ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и других существенно снижает эффективность сорбентов на основе глинисто-солевых шламов;

- разработан и научно обоснован способ получения алюмосиликатных сорбентов для безопасного обращения с низко- и среднеактивными жидкими радиоактивными отходами;

- разработаны технические условия ТУ ВУ 190341033.006-2024 «Сорбент алюмосиликатный»;

- получен патент № 031515 на изобретение «Способ получения алюмосиликатного сорбента радионуклидов».

**Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Научные положения, заключения и выводы, сформулированные в представленной работе, основаны на конкретном и достоверном материале,

полученном с применением экспериментальных и статистических методов анализа полученных данных, и представляют собой научно установленные факты.

Для изучения физико-химических и сорбционных свойств в диссертации использованы экспериментальные методы исследований: рентгенофазовый, микрорентгеноспектральный, аналитической сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, лазерного анализа размера частиц, низкотемпературной адсорбции азота, сорбционный, гамма-спектрометрического анализа содержания радионуклидов.

Обоснованность и достоверность полученных экспериментальных результатов подтверждается результатами рассмотрения и обсуждения на ряде национальных и международных конференций: Междунар. науч. конф. «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI-го века» (Минск, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017); Междунар. молодежном науч. форуме «Ломоносов-2015» (Россия, Москва, 13–17.04.2015); Междунар. научно-технич. конф. «Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления» (Минск, 19–21.10.2016); III Всерос. конф. с междунар. участием «Актуальные проблемы адсорбции» (Москва, 17–21.10.2016); Междунар. (Региональной) науч. конф. «Техногенные системы и экологический риск» (Обнинск, 2017, 2018); 4th International Conference on Environmental Radioactivity «Radionuclides as Tracers of Environmental Processes (ENVIRA2017)» (Vilnius, Lithuania, 29.05–02.06.2017); 82-ой научно-технич. конф. профес.-препод. состава, науч. сотруд. и аспирантов (с междунар. участием) (Минск, 01–14.02.2018); Междунар. конф. «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии XXI века» (Минск, 2018, 2020); научно-практич. конф. «Современное состояние и направления развития технологий, машинного и аппаратного обеспечения, эколого-безопасного природопользования и переработки промышленных отходов горнопромышленных комплексов на территории Евразийского экономического пространства» (Минск, 5–6.09.2019); VI Рос. совещании по глинам и глинистым минералам «ГЛИНЫ-2023» (г. Санкт-Петербург, 13–16.06.2023).

Экспериментальные исследования проводились по методикам, установленным в государственных стандартах (ГОСТ).

Лабораторные эксперименты по изучению сорбционных свойств сорбентов проводились в трехкратной повторности.

Измерения производились на приборах и оборудовании, прошедших метрологическую поверку.

**Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию.**

Автором работы получены новые экспериментальные данные о минералогическом, химическом, гранулометрическом составе и структурных особенностях глинисто-солевых шламов ОАО «Беларуськалий», которые свидетельствуют о наличии в их составе глинистого минерала иллита.

Слоистая структура иллита со значительным количеством мелкодисперсных фракций обеспечивают высокий уровень отношения поверхности минерала к массе, а его химический состав – возможность практического использования данных шламов для получения алюмосиликатных сорбентов.

Физико-химические и сорбционные свойства алюмосиликатных сорбентов, полученные в результате водной, кислотно-водной обработок и обогащения, были изучены на предмет их эффективности сорбции радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{85}\text{Sr}$  из водных растворов. При извлечении радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{85}\text{Sr}$  из модельных растворов, имитирующих жидкие радиоактивные отходы АЭС, были оценены свойства алюмосиликатных сорбентов для дальнейшего практического использования.

Разработка способов получения алюмосиликатных сорбентов путем водной, кислотно-водной обработки глинисто-солевых шламов, позволила усовершенствовать метод их обогащения и подготовить технические условия на сорбенты радионуклидов. Сравнительный анализ сорбционных свойств алюмосиликатных сорбентов с известными глинистыми материалами показал высокую эффективность их использования для очистки от  $^{137}\text{Cs}$  низко-и средне-активных жидких радиоактивных отходов.

Выполненная технико-экономическая оценка финансовых затрат технологии получения алюмосиликатных сорбентов на основе глинисто-солевых шламов ОАО «Беларуськалий» представлена с приемлемым результатом по сравнению со стоимостью применяемых на практике природных сорбентов.

Кроме того, большие объемы накопившихся на промышленной площадке ОАО «Беларуськалий» глинисто-солевых шламов позволяют считать данные отходы весьма перспективным источником техногенного сырья для производства алюмосиликатных сорбентов радионуклидов, что позволит иметь в дальнейшем и значительный экологический эффект.

#### **Опубликованность результатов диссертации в научной печати.**

По теме диссертации опубликовано 41 научная работа, из них 9 статей (4,8 авторских листа) – в рецензируемых журналах в соответствии с требованиями пункта 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, в том числе 6 статей в зарубежных научных изданиях, включенных в перечень ВАК России, индексируемых в Scopus, Web of Science и 2 статьи в других зарубежных изданиях, 29 тезисов докладов и материалов международных конференций, получен патент на изобретение. Общий объем опубликованных по теме диссертации материалов составляет 5,9 авторских листов.

#### **Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК**

Диссертация и автореферат диссертации оформлены в соответствии с требованиями пп. 24, 26 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий (в ред. Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 №190). Работа выполнена на современном научно-техническом уровне и представляет собой законченное научное исследование.

***По диссертационной работе имеются следующие замечания:***

1) На стр. 8 диссертации и на стр. 4 автореферата в перечисленном списке использованных в работе экспериментальных методов исследований отсутствует гамма-спектрометрический метод определения содержания радионуклидов.

2) На стр. 12 диссертации приводятся данные по объемам РАО в мире отдельно по классам РАО для целей захоронения, рекомендованным МАГАТЭ. Далее на стр. 13, 14 приводятся данные по объемам РАО в разрезе ОНАО, НАО, САО и ВАО в соответствии с категоризацией РАО по суммарной удельной активности без указания ее принципиального отличия от внешне совпадающей классификации, рекомендованной МАГАТЭ.

3) В разделе 1.1 диссертации при рассмотрении проблематики обращения с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО) на Белорусской АЭС не показано, для каких конкретно технологических операций переработки ЖРО на станции целесообразен поиск новых сорбционных материалов и почему.

4) В разделе 2.4.2 диссертации приводится описание гамма-спектрометрической методики исследований сорбции в отношении  $^{137}\text{Cs}$ . Вместе с тем методики выполненных измерений для  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  не представлены.

5) В работе выполнены исследования сорбционных свойств в отношении  $^{85}\text{Sr}$ . Однако не приведено обоснование того, что полученные данные применимы в отношении  $^{90}\text{Sr}$ , который является основным дозообразующим продуктом деления ядерного топлива.

6) В разделе 4.1 диссертации не представлена схема экспериментальной установки, использованной для определения скорости выщелачивания радионуклидов из цементных компаундов.

7) На стр. 14 диссертации словосочетание «захоронение в хранилище» некорректно.

Отмеченные недостатки существенно не влияют на представленные выводы и результаты и не снижают высокий научный уровень исследований диссертанта.

**Соответствие (несоответствие) научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует**

По своей актуальности, научной и практической значимости, объему выполненных исследований и полученным результатам считаю, что диссертационная работа Леонтьевой Татьяны Геннадьевны соответствует требованиям ВАК Беларуси, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Считаю, что соискатель Леонтьева Татьяна Геннадьевна безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 - ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации за совокупность полученных научных результатов, включающих:

– новые данные о физико-химических свойствах глинисто-солевых шламов ОАО «Беларуськалий» как источника техногенного сырья для получения на его основе алюмосиликатных сорбентов радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и дополнительно  $^{85}\text{Sr}$  (аналог  $^{90}\text{Sr}$ ),  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ , эффективных для обеспечения безопасного обращения с жидкими радиоактивными отходами;

– разработку способов обработки глинисто-солевых шламов для получения различных алюмосиликатных сорбентов, подобранных для различных солевых составов и содержания радионуклидов в растворе. Способы заключаются в постадийной водной обработке глинисто-солевых шламов для удаления водорастворимых солей (до  $< 1$  г/л) и последовательной модификацией сорбентов для увеличения доли минерала иллита в составе сорбента;

– исследование эффективности сорбции полученных сорбентов в отношении  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ;

– экспериментальное подтверждение высокой эффективности полученных сорбентов для очистки ЖРО в сравнении с другими известными сорбционными материалами: клиноптилолитом, цеолитом NaA, бентонитовой глиной из ряда месторождений России, Казахстана и Азербайджана;

– результаты экспериментов, обосновывающие использование алюмосиликатных сорбентов в качестве перспективного материала для эффективной очистки низкосолевых низко- и средне-активных ЖРО от  $^{137}\text{Cs}$ ;

– результаты исследований по выщелачиванию  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{85}\text{Sr}$  из цементных компаундов с внесением алюмосиликатных сорбентов. Скорости выщелачивания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{85}\text{Sr}$  из цементных компаундов с разработанными сорбентами соответствуют нормативным требованиям (ГОСТ Р 51883-2002), предъявляемым к цементным компаундам, в том числе и по механической прочности;

– разработку технических условий (ТУ ВУ 190341033.006-2024), содержащих практические рекомендации по использованию алюмосиликатных сорбентов для безопасного обращения с жидкими радиоактивными отходами.

Доктор технических наук, доцент

Жемжуров М.Л.

*Отзыв получен  
06.10.2025  
И.А. Макавецка*