

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Савкина Александра Евгеньевича «Переработка радиоактивных отходов с селективным извлечением радионуклидов и кондиционирование отработавших сорбентов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

Проблема накопления радиоактивных отходов (РАО) растет по мере увеличения использования радиоактивных материалов во всем мире. Существенный вклад в формирование пула отходов такого типа вносит не только развитие ядерной энергетики, но также и развитие медицины, в частности, ядерной медицины, материаловедения (дефектоскопия), разработка технологий выделения редкоземельных элементов из некондиционных месторождений. Большую часть РАО составляют жидкие радиоактивные отходы среднего и низкого уровня активности. Хотя накопление высокорadioактивных отходов находятся под пристальным постоянным вниманием общественности, большую экологическую опасность представляет накопление средне- и низкоактивных отходов (САО и НАО), главным образом из-за их гигантского объема и высокой суммарной активности. Проблема их переработки и/или захоронения является чрезвычайно актуальной для уменьшения общего экологического вреда, наносимого в процессе их хранения. В некоторых случаях проблема обращения с такими отходами критична, особенно когда их хранилища носят ландшафтообразующий характер. Работа Савкина А.Е. посвящена решению технологических проблем, возникающих при переработке отходов среднего и низкого уровня активности. Основная цель работы заключалась в разработке методов селективного извлечения радионуклидов при переработке РАО среднего и низкого уровня активности. Основное массовое содержание в САО и НАО приходится на нерадиоактивные соли, поэтому подход автора к их переработке, заключающийся в селективном отделении радиоактивных компонентов, представляется обоснованным. Однако на этом пути встает ряд сложных научных и технологических проблем, решению которых посвящена данная диссертация. Из-за гигантского объема накопленных САО и НАО необходимо создание высокопроизводительного оборудования для их переработки. Сложный химический состав отходов обуславливает необходимость гибкого подхода к технологическому процессу выделения активных изотопов. Требование по безопасности персонала установок ограничивает возможности концентрации отходов. Необходимость последующего захоронения концентрата накладывает ограничения на типы используемого оборудования и конкретные формы технологических аппаратов. Все эти задачи были успешно решены Савкиным А.Е. при создании технологий переработки кубовых остатков АЭС и их плавов, отработанных ионообменных смол и других РАО.

Основные пункты **научной новизны** диссертации:

1. Впервые определены количественные характеристики сорбции Cs из высокосолевых растворов.
2. Разработаны методы осаждения радионуклидов Cs и d-элементов из высокосолевых растворов.
3. Исследован и успешно внедрен метод окислительной деструкции органических веществ и восстановления хроматов в высокосолевых растворах, мешающих эффективной сорбции и осаждению радионуклидов.

4. Исследованы методы переработки ряда твердых РАО (ионообменные смолы, металлические изделия, солевые плавы АЭС), а также методы их кондиционирования.

Практическая значимость работы: проведены успешные лабораторные, стендовые, опытно-промышленные и пусконаладочные испытания разработанных технологий для переработки РАО ФГУП «РАДОН», ЖРО ГНЦ РФ ФЭИ, РАО АЭС России и Казахстана. Внедрена и успешно эксплуатируется технология переработки кубовых остатков АЭС.

Диссертационная работа состоит из введения, 10 глав, выводов, списка литературы из 223 наименований. Работа изложена на 309 страницах печатного текста, включает 70 рисунков и 82 таблицы. Работа написана хорошим академическим языком, лаконична, ясно презентует законченность исследования.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна и практическая значимость работы. Литературный обзор сфокусирован на используемых способах переработки твердых и жидких РАО, их основным достоинствам и недостаткам. Особое внимание уделено способам кондиционирования САО и НАО, как основе предлагаемой работы. В процессе ознакомления с имеющимися сведениями становится очевидным необходимость разработки новых технологий извлечения радионуклидов при переработке РАО среднего и низкого уровня активности. Глава 2 содержит методическую часть работы и описание используемых методов физико-химического исследования состава растворов, методики проведенных экспериментов и определение погрешностей определяемых величин. Главы с 3 по 10 представляют развернутое описание проведенных работ и разработанных технологий. Далее следует заключение, в котором суммированы основные достижения работы и список литературных источников.

В работе явно выражена технологическая направленность проводимых исследований, каждое из представленных технологических решений продумано и обосновано большим набором экспериментальных данных. Работа представляет системное исследование, объединенное общим технологическим приемом селективной сорбции радионуклидов на сорбентах, а также на осадках оксидов-гидроксидов d-элементов (коррозионных примесях), присутствующих в солевых системах. Это изящное технологическое решение позволяет не только эффективно, технично и дешево концентрировать радиоизотопы, но и служит цели облегчения кондиционирования отходов, которое благодаря этому приему могут быть непосредственно после отделения включены в цементный компаунд. Несомненное достижение разработанной технологии заключается в использовании сорбционных элементов, отверждаемых непосредственно в аппарате после заполнения вяжущим материалом. Простой и эффективный способ переработки позволяет сокращать объемы кубовых остатков АЭС на два порядка! Разработанная автором работы технология проста и экономична. Опыт ее внедрения на Кольской АЭС (эксплуатируется с 2007 года) дополнительно показал гибкость положенных в основу технологии решений, что позволило оперативно подстраивать ее под различные составы кубовых остатков. В частности, присутствие высоких концентраций хрома (коррозионный элемент) в некоторых емкостях потребовало модификации технологического процесса за счет включения стадий восстановления хромата до хрома(III) с последующим соосаждением радионуклидов на гидроксиде хрома.

Еще один универсальный технологический прием, объединяющий все проведенные исследования – окисление органических компонентов САО. Для окисления в работе использован в том числе метод озонирования – надежный и экологичный способ удаления комплексонов и других органических молекул, формирующих прочные комплексы с радионуклидами и препятствующими их эффективной сорбции. Озон, при условии дешевых и производительных озонаторов, является уникальным окисляющим агентом, обладающим высокой окислительной способностью, одновременно не загрязняющим технологические растворы продуктами восстановления и не увеличивающим объем растворов, что важно для переработки САО и НАО.

Логичное развитие работы в области кондиционирования отходов научных центров (ГНЦ РФ – ФЭИ и ФГУП «РАДОН»), а также пункта хранения РАО «Саакадзе», впитало в себя все наработки автора по технологическому тандему окисление – селективная сорбция радионуклидов. Дополнительным источником вторичных отходов, переработка которых возможна по разработанной автором универсальным технологиям, является ультразвуковая жидкостная дезактивация металлических конструктивных элементов.

В результате комплексного исследования автором был создан гибкий технологический процесс, адаптируемый под конкретный химический состав САО и НАО, включающий стадии окисления-соосаждения-сорбции радионуклидов. Предложенные схемы позволили снизить объемы РАО в ряде случаев практически на два порядка, что является выдающимся результатом, имеющим огромное практическое значение. Дополнительно комплексный характер проведенной работы подчеркивает возможность комбинации в едином технологическом цикле работ по переработке и кондиционированию РАО, начиная от металлических частей оборудования, накопленных кубовых остатков и плавов АЭС и отработанных ионообменных смол до отходов научно-исследовательских центров и хранилищ «ядерного наследия».

К сожалению, работа не свободна от недостатков. В частности изложение не всегда равномерно, особенно при обсуждении результатов исследований, что является следствием диспропорции размеров глав диссертации, которая варьируется от 5 до 64 страниц. Некоторые из замечаний проистекают из краткости изложения материалов некоторых разделов.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Можно ли совместить установки фильтрации, применяемые при переработке кубовых остатков АЭС, и использовать одни и те же фильтры (71N01,03) и для осаждения хроматов, и для отделения осадка после дополнительного озонирования с коллектором не вводя дополнительный фильтрующий блок (71N01,03) рис. 3.13? Возможно ли использование фильтров 71N01,2 (рис. 3.8) для отделения осадка гидроксидов хрома и кобальта или необходима микрофильтрация с использованием мембранных фильтров типа 73N01,2 (рис. 3.8)? Можно ли заменить дорогой нитрат кобальта на более дешевый соосадитель?
2. При описании методов обработки солевого плава допущен пропуск в описании фильтрации и активности осадков, подвергнутых остекловыванию. Создается впечатление, что несколько абзацев рукописи исчезли при редактировании (стр. 169), т.к. после таблицы по сорбционной очистке, без ее обсуждения, сразу переход к составу плава для остекловывания осадка.

3. Из описания эксперимента по измерению давления набухания не ясно, как проводилась коррекция веса на величину добавляемой воды. Дополнительно хотелось бы иметь больше данных по погрешности измерения давления таким методом.

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку данной диссертационной работы, выполненной на высоком научном и экспериментальном уровне. **Достоверность** полученных автором результатов подтверждается использованием широкого комплекса современных методов исследования, включающих атомно-абсорбционную спектрометрию, пламенную фотометрию, ионную хроматографию. Степень достоверности результатов подтверждается их воспроизводимостью, применением различных физико-химических аттестованных методик измерения, представлением и обсуждением результатов работы на различных международных и российских конференциях, публикациями в научных журналах, а также согласованностью результатов с опубликованными данными, представленными в независимых источниках по близкой тематике. Основные выводы диссертации обоснованы и логично вытекают из содержания работы.

Практическая значимость подтверждается промышленной эксплуатацией установки переработки ЖРО Кольской АЭС с 2007 года, эксплуатацией станции очистки низкосолевых РАО ФГУП «РАДОН» с 2010 года, запущена в эксплуатацию промышленная установка ультразвуковой дезактивации МРО Балаковской АЭС, переработано 50 м³ ЖРО ПЗРО «Саакадзе» (Грузия) до уровня, позволяющего сброс в окружающую среду. Результаты работы могут быть рекомендованы для изучения и внедрения в научных и образовательных организациях (ИФХЭ РАН, РХТУ им. Д.И. Менделеева), а также на предприятиях, обеспечивающих функционирование ядерного топливного цикла, в частности в ПО «Маяк», СХК и других.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Результаты работы представлены в материалах 49 научных конференций и опубликованы в 12 статьях в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, в том числе 7 в журналах, входящих в международные базы данных научного цитирования.

По своему содержанию диссертационная работа Савкина А.Е. соответствует паспорту научной специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части направлений исследований «снижение отходности производств, фиксация отходов в виде малоподвижных, безопасных для окружающей среды соединений или трансформация их в полезные продукты», а также «способы утилизации техногенного и вторичного сырья».

Диссертация Савкина А.Е. представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технологические решения задачи селективного извлечения радионуклидов при переработке РАО среднего и низкого уровня активности, а также способов их кондиционирования, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени

доктора наук, а ее автор, **Савкин, Александр Евгеньевич**, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Доктор химических наук,
ведущий научный сотрудник кафедры радиохимии
Химического факультета
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.
Ломоносова»

Борисова Наталия Евгеньевна

Специальности, по которым официальным оппонентом защищена докторская диссертация:

02.00.14 (1.4.13) – Радиохимия, 02.00.03 (1.4.3) – «Органическая химия»

Адрес организации
119991, РФ г.Москва, Ленинские Горы, д.1, стр.3
МГУ имени М.В.Ломоносова, химический факультет
Тел.: 7(495)9393224,
E-mail: borisova.nataliya@gmail.com

Подпись сотрудника ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» Борисовой Н.Е. удостоверяю:
И.О. декана химического факультета МГУ
профессор, доктор химических наук

Карлов С.С.

“25” января 2024 г.

