

Председателю объединенного  
диссертационного совета 99.1.056.03  
АО «ВНИИНМ», ФГУП «РАДОН»,  
ФГБУ ИФХЭ РАН  
Ананьеву А.В.

## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата химических наук, доцента  
**Бояринцева А. В.** на диссертационную работу Селявского Вадима Юрьевича  
на тему «Выделение и концентрирование америция соосаждением на  
оксалате кальция», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности  
2.6.8 – «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

### **1. Актуальность темы диссертационного исследования**

Замыкание ядерного топливного цикла является одной из самых актуальных задач ядерной энергетики во всем мире. Для решения данной задачи требуется разработка способов переработки радиоактивных отходов, содержащих высокотоксичные долгоживущие радионуклиды. Современные радиохимические технологии, должны базироваться на эффективных технических решениях, позволяющих не только комплексно перерабатывать многокомпонентные РАО сложного химического состава, но и селективно выделять ценные компоненты. Актуальность разработки таких решений в Российской Федерации, определяется и производственной необходимостью химико-металлургического завода АО «СХК» в разработке и совершенствовании радиохимических методов выделения радиоактивных элементов, в том числе америция, и тем самым снижением активности РАО сложного химического состава для их последующего кондиционирования и использования в различных областях науки и техники.

Диссертационное исследование Селявского Вадима Юрьевича, посвященное разработке методов выделения и концентрирования америция, ориентированное на решение технологических задач и практическую реализацию полученных результатов, обладает актуальностью и практической ценностью.

## **2. Общая характеристика содержания диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, включая, обзор литературы, экспериментальную часть и результаты опытно-промышленных испытаний разработанной технологии, заключения и списка цитируемой литературы. Каждая глава завершается выводами. Работа изложена на 164 страницах печатного текста, содержит 44 таблицы и 40 рисунков. Список литературы включает 153 источника.

Во **введении** автором обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту, информация о достоверности результатов и апробации работы, определен личный вклад автора.

В **первой главе** представлен аналитический обзор отечественной и зарубежной научной литературы о существующих радиохимических методах и принципиальных схемах выделения и разделения радиоактивных элементов при переработке РАО. На основании подробного сопоставления возможностей и характеристик современных экстракционных, сорбционных и осадительных методов, проведено обоснование выбора осадительного метода для концентрирования и выделения америция с использованием оксалата кальция, с учетом химического состава РАО, содержания макро- и микрокомпонентов, а также стоимости и доступности реагентов.

Во **второй главе** представлены основные физические и химические характеристики объектов исследования, таких как многокомпонентные азотнокислые Am-содержащие растворы после переработки и очистки

плутония, гидроксидные осадки, жидкие органические радиоактивные отходы, загрязненные радионуклидами америция.

Приведены методики проведения экспериментов (оксалатное соосаждение трехвалентного иона америция с осадком оксалата кальция, переработка гидроксидных осадков, очистка жидких органических радиоактивных отходов и др.).

Представлена информация о методах исследования твердых и жидких образцов и лабораторных установках.

Описаны результаты по отработке процедур подготовки объектов для исследований (корректировка pH), влиянию различных факторов (pH, концентрация ионов оксалата, солесодержание и др.) на кинетику образования, растворимость, форму, размеры и распределение частиц осадков оксалата кальция и оксалата америция. Представлены экспериментальные данные по величинам растворимости осадков оксалата кальция и америция в изученных системах.

Определены уравнения определения концентрации и расхода оксалата с учетом различных факторов (pH, солесодержание, влияние компонентов системы, мольное отношение  $\text{Ca}^{2+} : \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ).

Определены закономерности соосаждения америция на оксалате кальция. Установлена и подтверждена преобладающая роль адсорбции в механизме соосаждения америция.

Определены оптимальные условия соосаждения америция на оксалате кальция, обеспечивающие выделения до 95,0% америция.

На основании результатов проведенных исследований с использованием реальных растворов, установлены оптимальные параметры, которые позволяют максимально эффективно извлекать америций без перерасхода реагентов и проводить его очистку от примесей.

Проведены исследования по растворению прокаленных и не прокаленных гидроксидных осадков, содержащих америций.

Исследована возможность биоокисления радиоактивных масел в водно-органической среде углеводородокисляющими микроорганизмами *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus cereus* и *Arthrobacter globiformis*.

Разработана последовательность стадий переработки гидроксидных осадков, включающая: растворение осадка, фильтрацию раствора, выделение америция на оксалате кальция, фильтрацию и прокалку оксалатного осадка, содержащего америций, очистку прокаленного продукта от балластных примесей.

Сформулированы параметры для проведения опытно-промышленных испытаний технологической схемы предусматривающей выделение и концентрирование америция соосаждением на оксалате кальция.

**В третьей главе** описаны методики и условия проведения опытно-промышленных испытаний разработанной технологии, а также результаты выделения америция на оксалате кальция из многокомпонентных растворов.

Дано описание принципиальной и аппаратурно-технологической схем процесса. Представлены результаты опытно-промышленных испытаний двух циклов переработки более 200 м<sup>3</sup> азотнокислых Am-содержащих растворов в соответствии с разработанной схемой.

Определено, что для эффективного выделения америция и снижения активности раствора методом соосаждения с оксалатом кальция, требуется двухступенчатое осаждение. На первой стадии осаждают основное количество америция от 95 до 99%, а на второй стадии проводят доосаждение и окончательную очистку раствора от америция. На разработанный способ выделения америция получен патент РФ на изобретение № 2477758.

**В заключении** подведены итоги исследования, изложены основные теоретические и практические выводы.

Материал достаточно полно иллюстрирован рисунками и таблицами, работа оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к

диссертационным работам, автореферат полностью отражает содержание диссертации.

**3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и результатов** состоит в следующем:

- установлено, что выделение и концентрирование америция можно проводить соосаждением на носителе – оксалате кальция. На растворимость Am-содержащих осадков оказывают влияние содержания нитрата натрия, концентрация ионов оксалата, кальция, других элементов, кислотность и другие факторы. Выведено уравнение, позволяющее определить оптимальные условия образования и формирования осадка оксалата кальция с размерами частиц 2-3 мкм;

- показано, что многократное соосаждение америция на оксалате кальция позволяет избирательно извлекать америций из растворов, имеющих сложный химический состав, в широком диапазоне его концентрации (от  $3,3 \cdot 10^{-1}$  до  $7,6 \cdot 10^{-3}$  г/дм<sup>3</sup>), а также снижать активность конечных растворов, в которых остаточная концентрация америция доходит до  $0,4 \cdot 10^{-6}$  г/дм<sup>3</sup>;

- выявлены физико-химические закономерности соосаждения америция на оксалате кальция и показано, что система  $\text{Am}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 - \text{CaC}_2\text{O}_4$  дополняет группу систем, для которых в процессе их соосаждения характерна преобладающая роль адсорбции микрокомпонента ( $\text{Am}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$ ) на носителе – макрокомпоненте ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ );

- определена растворимость оксалата америция при различных концентрациях азотной (от 0 до 1,0 моль/дм<sup>3</sup>) и щавелевой (от 0 до 0,3 моль/дм<sup>3</sup>) кислот при температуре до 25,0°C.

- определена возможность клеточного взаимодействия с радионуклидами, осуществляемого по разным механизмам и приводящего к выделению радионуклида из жидкой фазы.

**4. Значимость для науки и практики полученных автором диссертации результатов** заключается в следующем:

- разработан способ селективного выделения и концентрирования америция из растворов, имеющих сложный химический состав (патент РФ № 2477758, «Способ извлечения америция»). Разработанный способ прошел опытно-промышленную проверку, выпущены Акты испытаний;

- разработана технология выделения и кондиционирования америция методом соосаждения его на носителе – оксалате кальция из гидроксидных отходов (патент РФ № 2508413 «Извлечение америция из отходов»);

- определена возможность многократного использования оксалата кальция при извлечении и концентрировании америция, которая позволила уменьшить расход реагентов по сравнению с одностадийным процессом очистки растворов от америция, и улучшить экономические показатели процесса;

- получена опытно-промышленная партия кондиционного концентрата,  $\text{AmO}_2$  с содержанием америция до 780 г/кг и примесей менее – 0,1% масс.

Полученные в работе данные представляют научный интерес для разработки отечественных технологических схем очистки и извлечения америция из РАО различного состава.

Разработанные физико-химические закономерности и технологические решения выделения, концентрирования и очистки америция, с учетом необходимых корректировок могут быть использованы при разработке концепции, направленной на решение проблемы обращения с РАО на предприятиях Госкорпорации «Росатом». Часть полученных в работе результатов реализована на производственной площадке АО «СХК» в г. Северск, что подтверждено актами внедрения.

##### **5. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Достоверность и обоснованность полученных Селявским В.Ю. результатов подтверждается использованием методик эксперимента, соответствующих современному научному уровню, в том числе,

использованием физико-химических методов: гамма-спектрометрии, растровой электронной микроскопии, оптической светлопольной микроскопии и др., воспроизводимостью результатов, а также согласованностью результатов с опубликованными данными, представленными в независимых источниках по близкой тематике. Основные выводы диссертации обоснованы и логично вытекают из содержания работы.

**6. Личный вклад автора** состоял в постановке задач и планировании исследований, методологическом обосновании путей реализации, их экспериментальном решении, выполнении основных экспериментов, анализе, интерпретации и обобщении полученных результатов, опытной проверке полученных результатов в производственных условиях и подготовке материалов к публикации.

#### **7. Полнота опубликования основных результатов диссертационной работы**

По теме диссертации опубликовано 23 работы, в том числе 9 статей в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованный ВАК, 8 статей – в изданиях, включенных в международные базы цитирования (Scopus, Web of Science), 12 публикаций – в трудах Международных, Отраслевых и Всероссийских конференций, получено 2 патента Российской Федерации.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 13-ти научных Международных, Всероссийских, Отраслевых симпозиумах, конференциях и семинарах.

#### **8. Замечания по диссертации**

По содержанию диссертационной работы, можно сделать следующие замечания:

1. При описании результатов по влиянию солесодержания раствора на измерения рН не указано, через какое время регистрировали значения рН в каждой точке измерения, точность измерения температуры среды и значений

pH? Кроме того, не указано, каким способом проводили измерение объема оксалата кальция в опытах по седиментации?

2. В работе не обсуждены причины неполноты вскрытия гидролизных осадков растворами азотной кислоты после термической обработки. Какие варианты предусмотрены для обращения с нерастворимым остатком?

3. В тексте диссертации указано, что исследования по биодеструкции проводили при 22°C и pH равном 7,5. Насколько соблюдение этих условий является критическим для эффективности использования микроорганизмов? Какая продолжительность процесса биологической очистки ЖРО ожидается в укрупненном масштабе, и на какую производительность будет ориентирована данная технология? Так же непонятно, оказывают ли влияние продукты биодеструкции радиоактивных масел на оксалатное осаждение америция и на качество америциевого продукта?

4. Несмотря на заявленное в работе снижение временных затрат, «узким» местом разработанной технологии, можно считать длительность, биодеструкции ЖРО (заявленная продолжительность – 60 суток) и последующие многократные осаждения и перерастворения осадков америция в азотной кислоте для очистки от примесей железа, алюминия и хрома. Наличие в схеме значительного количества осадительных операций приведёт к увеличению времени фильтрования многочисленных осадков в кратное количество раз. Следовало бы указать суммарную длительность всего цикла выделения америция из РАО.

5. В предложенной на рис. 2.26 принципиальной схеме не указана стадия прокаливания гидролитического осадка. В реакторах-осадителях предложено барботажное перемешивание суспензии сжатым воздухом, однако в представленной на рисунке 3.1, стр. 135, схеме не предусмотрены стадии и оборудование по пыле-газоочистке.

6. При опытно-промышленных испытаниях, для очистки америция от примесей использовали сорбционный метод на твердом экстрагенте ТВЭКС-ТБФ, тогда как в лабораторных условиях исследовалась только осадительная

очистка, и в тексте отсутствует обоснование выбора сорбционного способа. Следует ли считать сорбционную очистку альтернативным методом переработки Am-содержащих РАО?

7. В тексте диссертации имеются стилистические ошибки, стр. 4, 18, 28, 30, и т.д., дублирование слов, стр. 78. В главе 1, в п. 1.1.1, на стр. 11-13, приводится описание экстракционных процессов, но отсутствуют ссылки на литературные источники, аналогично на стр. 33. В некоторых химических формулах не проставлены подстрочные индексы, например на стр. 14:  $-NH_2$ ; на стр. 39, в формуле оксалата америция вместо  $Am(C_2O_4)_2^{3-}$  следует записать  $- Am(C_2O_4)_3^{3-}$ . На некоторых графиках, рис. 2.19; 2.22; отсутствуют планки погрешностей экспериментальных и расчетных величин. На рисунке 2.23 в подписи к оси абсцисс ошибка, вместо концентрации ионов оксалата в растворе,  $г/дм^3$ , указана концентрация кальция.

Сделанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку данной диссертационной работы, выполненной на высоком научном и экспериментальном уровне.

#### **9. Заключение о соответствии диссертации и автореферата критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней**

По своему содержанию диссертационная работа Селявского Вадима Юрьевича соответствует паспорту специальности 2.6.8 «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов» в части исследования: снижения отходности производств, фиксация отходов в виде малоподвижных, безопасных для окружающей среды соединений или трансформация их в полезные продукты.

Диссертация Селявского Вадима Юрьевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические решения в области переработки радиоактивных отходов с использованием осадительных методов для выделения, концентрирования и очистки

америчия и обезвреживания радиоактивных отходов, имеющие существенное значение для развития страны, а именно отечественной атомной отрасли, что соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней.

По своему объему, уровню проведенных исследований, актуальности, научной и практической значимости диссертационная работа Селявского Вадима Юрьевича, является законченным научным трудом и соответствует специальности 2.6.8 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов по направлению технические науки и требованиям п.п. 9 - 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Селявский Вадим Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8 – Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов (технические науки).

Официальный оппонент:  
кандидат химических наук, доцент  
Бояринцев Александр Валентинович

Подпись \_\_\_\_\_

Дата 09 сентября 2025

Подпись кандидата химических наук, доцента Бояринцева А.В. заверяю:  
Ученый секретарь РХТУ им. Д.И. Менделеева



Н.А. Макаров

09.09.2025

Контактная информация:  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»,  
125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9  
Тел.: +7 (495) 496-76-09  
Адрес электронной почты: boiarintsev.a.v@muctr.ru