

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата химических наук Буткалюка Павла Сергеевича
на тему: «Выделение и очистка радионуклидов
тория-228 и актиния-227 из облученных радиевых мишеней
с применением смесей уксусной и азотной кислот»
по специальности 1.4.13. Радиохимия**

Актуальность избранной темы. Направленная альфа-радиотерапия является одним из наиболее эффективных и современных подходов к лечению рака. Рассмотренные в работе радионуклиды представляют собой необходимые материалы для получения терапевтических альфа-эмиттеров, таких как ^{223}Ra и ^{212}Pb . Исследование физико-химических процессов, связанных с производством этих радионуклидов является актуальной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Несмотря на то, что химия радия, актиния и тория исследуется давно, в ней по-прежнему остается немало нерешенных вопросов. Изменение фокуса исследователей с проблем ядерного топливного цикла на решение медицинских задач заставило пересмотреть многие подходы, применяемые в химии и технологии этих элементов.

Целью диссертационной работы явилась разработка метода выделения ^{226}Ra , ^{227}Ac и ^{228}Th из растворов облученных радиевых мишеней.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные в рассматриваемой диссертационной работе методы были применены в АО "ГНЦ НИИАР" для регулярного производства коммерческих партий ^{227}Th и ^{223}Ra медицинского назначения.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка сокращений, списка использованной литературы (385 наименований), изложена на 133 страницах машинописного текста, содержит 15 таблиц и 52

рисунка. По теме работы диссертантом опубликованы: 5 статей в журналах, рекомендованных для защиты в МГУ имени М.В. Ломоносова по специальности и отрасли науки, авторское право защищено 2 патентами.

Во **введении** сформулирована актуальность темы работы, поставлены цели и задачи исследования, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также представлены положения, выносимые на защиту.

В **главе 1** изложено современное состояние исследований в области получения и применения медицинских альфа-излучателей, которые могут быть получены из облученных радиевых мишеней, в частности ^{212}Bi , ^{213}Bi , ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{225}Ac и ^{227}Th . Проведен обзор работ по облучению ^{226}Ra в ядерных реакторах с целью получения ^{227}Ac , ^{228}Th и ^{229}Th . Проведен анализ существующих методов хроматографического разделения радия, актиния и тория. Обзор выполнен на современном научном уровне с использованием большого количества недавно опубликованных работ.

В **главе 2** приведено описание объектов и методов исследования. Описаны методики выполнения экспериментов по измерению коэффициентов удерживания, определению растворимости соединений, очистке актиния и радиохимической переработке облученных мишеней.

В **главе 3** представлено исследование поведения примесей Fe, Cr, Ni, Co в условиях очистки ^{227}Ac на сорбенте Ln-Resin, по итогам исследований от этого сорбента было решено отказаться в пользу традиционных ионообменных материалов.

В **главе 4** автором представлено масштабное исследование растворимости и соосаждения нитратов радия, бария и свинца в системе $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}$. Полученные результаты легли в основу головной стадии технологического процесса.

Глава 5 посвящена анионообменному разделению радия, актиния и тория с использованием нестандартной элюирующей системы $\text{CH}_3\text{COOH}-\text{HNO}_3-\text{H}_2\text{O}$. Представленные результаты убедительно демонстрируют эффективное разделение радия и актиния.

Глава 6 посвящена проверке разработанной методики и характеристики продукта

В последних разделах работы приводятся **заключение** и **выводы**, обоснованность которых полностью подтверждается при рассмотрении содержания глав 1-6 диссертационной работы.

В целом, текст диссертации обладает внутренним единством и свидетельствует о существенном личном вкладе автора в научное направление получения радионуклидов для ядерной медицины. Содержание автореферата полностью соответствует тексту диссертации. Значительный объем экспериментальных исследований позволил получить новые и оригинальные данные.

Вместе с тем, при детальном рассмотрении работы можно высказать и некоторые замечания:

1. Из текста не до конца очевиден выбор осадительной методики для отделения радия и свинца (необходимость введения последнего также не очевидна) от остальных компонентов системы. На первый взгляд этот метод менее технологичен, чем, например, хроматография. К тому же существует широкий выбор сорбентов, способных удерживать актиний и торий, не удерживая при этом радий.

2. В таблице 1.4 желательно суммировать преимущества и недостатки рассмотренных методов производства актиния. Пути получения радионуклидов нагляднее всего представлять графически в виде фрагментов нуклидной диаграммы, автором это нигде не сделано. Вместо этого приведены малоинформативные блок-схемы (Рис. 1-2А, 1-3). Также

малоинформативны рисунки со схемами разделения, например 6.1, из которого невозможно составить представление о методике.

3. В заключении четко не сформулировано, какими достоинствами обладает разработанная автором методика в сравнении с уже существующими методиками. Не указано, какого рода неактивные примеси присутствуют в полученных образцах, и насколько их количество критично для последующего применения продукта. Приведены коэффициенты очистки на уровне 10^2 - 10^4 , но не обсуждено, насколько эти величины являются оптимальными.

4. Местами работа оформлена недостаточно аккуратно, это касается и форматирования текста, и большого количества опечаток.

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** (по химическим наукам), а именно следующим ее направлениям: Соединения радиоактивных элементов. Свойства. Состояние и распределение радионуклидов в различных фазах. Методы выделения, разделения и очистки радиоактивных элементов и изотопов. Экстракционные, сорбционные, электрохимические, хроматографические процессы разделения в радиохимии, а также критериям, определенным п.п. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Буткалюк Павел Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.13. Радиохимия.

Официальный оппонент:

Доктор химических наук,
Начальник лаборатории радионуклидов и
радиофармпрепаратов Курчатовского комплекса
НБИКС-природоподобных технологий
Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Национальный исследовательский
центр «Курчатовский институт»
123182, г. Москва, пл. Ак. Курчатова д.1

Алиев Рамиз Автандилович

29.04.2026