

Заключение диссертационного совета МГУ.014.6  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук  
Решение диссертационного совета от «20» мая 2026 г. № 193

О присуждении Буткалюку Павлу Сергеевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация “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 (химические науки) принята к защите диссертационным советом «25» марта 2026, протокол № 189.

Соискатель Буткалюк Павел Сергеевич, 1985 года рождения, в 2008 году окончил кафедру радиохимии химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова».

Соискатель работает старшим научным сотрудником в радиохимической лаборатории Отделения радионуклидных источников и препаратов Акционерного общества «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов».

Диссертация выполнена в радиохимической лаборатории Отделения радионуклидных источников и препаратов Акционерного общества «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов».

Научный руководитель – кандидат химических наук, **Ротманов Константин Владиславович**, начальник радиохимической лаборатории Отделения радионуклидных источников и препаратов Акционерного общества «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов»

Официальные оппоненты:

**Ермолаев Станислав Викторович** – доктор химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории радиоизотопного комплекса Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт ядерных исследований Российской академии наук;

**Алиев Рамиз Автандилович** – доктор химических наук, начальник лаборатории радионуклидов и радиофармпрепаратов Курчатовского комплекса нано-, био, инфо-, когнитивных и социогуманитарных (НБИКС) наук и природоподобных технологий Федерального государственного бюджетного учреждения Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт";

**Кодина Галина Евгеньевна** - кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник научно-педагогического отдела Федерального государственного бюджетного учреждения Национальный медицинский исследовательский центр радиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации -

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что **Ермолаев Станислав Викторович** является признанным специалистом в области радиохимии получения альфа-излучающих радионуклидов медицинского назначения; **Алиев Рамиз Автандилович** – эксперт в области разработки методик получения, выделения и очистки различных радионуклидов медицинского назначения; **Кодина Галина Евгеньевна** – эксперт в области разработки новых радиофармпрепаратов и внедрения их в медицинскую практику. Публикации официальных оппонентов близки по своей направленности к теме рассматриваемой диссертационной работы.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 5 работ, все статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки) (личный вклад автора в публикацию указан в %):

1. Butkalyuk P.S., Solubility of radium, barium and lead nitrates in the  $\text{CH}_3\text{COOH-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  system / Butkalyuk P.S., Butkalyuk I.L., Bogatov S.V., Abdullov R.G., Rotmanov K.V. // Radiochemistry. – 2025. – vol. 67. – № 4. – pp. 460–467. EDN: PAAUGY (Импакт-фактор 0,285 (SJR), 0.5 п.л./75%).
2. Butkalyuk P.S., Production of pilot batches  $^{223}\text{Ra}$  and  $^{227}\text{Th}$  of medical purpose / Butkalyuk P.S., Butkalyuk I.L., Andreev O.I., Kupriyanov A.S., Rotmanov K.V., Kazakova E.V. // Applied Radiation and Isotopes. – 2022. – vol. 184, – article number. 110205. EDN: BSGMTV (Импакт-фактор 0,408 (SJR), 0.4 п.л./60%).
3. Буткалюк П.С., Растворимость нитрата радия в растворах азотной кислоты / Буткалюк П.С., Буткалюк И.Л., Кузнецов Р. А., Куприянов А.С., Абдуллоев Р.Г. // Радиохимия. – 2019. – Т. 61. – № 1. – С. 13-17. – EDN: VSOIPD (Импакт-фактор 0,531 (РИНЦ), 0.4 п.л./75%).  
Butkalyuk P.S., Solubility of radium nitrate in nitric acid solutions / Butkalyuk P.S., Butkalyuk I.L., Kuznetsov R.A., Kupriyanov A.S., Abdullov R.G. // Radiochemistry. – 2019. – vol. 61. – № 1. – pp. 12–17. EDN: WYRBIF (Импакт-фактор 0,285 (SJR), 0.4 п.л./75%).
4. Кузнецов Р.А., Получение альфа-излучающих нуклидов облучением  $^{226}\text{Ra}$  в высокопоточном реакторе СМ / Кузнецов Р.А., Буткалюк П.С., Буткалюк И.Л., Тарасов В.А., Романов Е.Г., Баранов А.Ю. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – № 6-1. – С. 129-135. EDN: TIJZVR (Импакт-фактор 0,087 (РИНЦ), 0.4 п.л./55%).
5. Кузнецов Р. А., Выходы продуктов активации при облучении  $^{226}\text{Ra}$  в высокопоточном реакторе СМ / Кузнецов Р.А., Буткалюк П.С., Тарасов В.А., Баранов А.Ю., Буткалюк И.Л., Романов Е.Г., Курприянов В.Н., Казакова Е.В. // Радиохимия. – 2012. – Т. 54, № 4. – С. 352-356. EDN: PAKEAZ (Импакт-фактор 0,531 (РИНЦ), 0.4 п.л./45%).  
Kuznetsov R.A., Yields of activation products in  $^{226}\text{Ra}$  irradiation in the high-flux SM reactor / Kuznetsov R.A., Butkalyuk P.S., Tarasov V.A., Baranov A.Yu., Butkalyuk I.L., Romanov E.G., Kupriyanov V.N., Kazakova E.V. // Radiochemistry. – 2012. – vol. 54, – № 4. – pp. 383–387. EDN: RGAJTX (Импакт-фактор 0,285 (SJR), 0.4 п.л./45%).

На автореферат поступило 8 дополнительных отзывов, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук является научно-квалификационной работой, в которой:

1. Впервые измерена растворимость нитратов радия, бария и свинца (II) в растворах  $\text{CH}_3\text{COOH-H}_2\text{O-HNO}_3$ ; 2. Определены коэффициенты сокристаллизации  $\text{Ra}(\text{NO}_3)_2$  с  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  в растворах  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  и  $\text{CH}_3\text{COOH-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ . 3. Предложена методика получения крупнокристаллических осадков нитратов Ra-Pb; 4. Впервые предложено использовать в качестве метода очистки актиния его сорбцию на анионообменной смоле из смеси уксусной и азотной кислот. 5. Определены коэффициенты распределения радия, актиния, тория и свинца (II) между сильноосновным анионом BioRad AG 1x8 и растворами  $\text{CH}_3\text{COOH-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ; 6. Впервые предложено проводить

элюирование тория с сильноосновной анионообменной смолы ацетатно-аммиачным буферным раствором. Определена зависимость полноты элюирования от концентрации буферного раствора и pH.

**Практическая и теоретическая значимость** работы заключается в следующем: 1. Показано, что растворимости нитратов радия, бария и свинца(II) в смесях  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  и  $\text{CH}_3\text{COOH-H}_2\text{O}$  монотонно убывают при увеличении массовой доли азотной или уксусной кислоты, но в смесях  $\text{CH}_3\text{COOH-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  растворимости указанных солей проходят через минимум в диапазоне от 96 до 99 масс. %  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Полученные данные о растворимости нитратов радия, бария и свинца в растворах уксусной и азотной кислот, а также их смесях могут быть использованы в качестве справочных данных; 2. Показано, что коэффициенты сокристаллизации нитрата радия с нитратом свинца (II) монотонно убывают при увеличении концентрации с увеличением концентрации азотной и уксусной кислот. Данные о растворимости и сокристаллизации нитратов радия и свинца в растворах были использованы при создании разработке метода регенерации  $^{226}\text{Ra}$  с целью повторного облучения в реакторе; 3. Измерены значения коэффициентов распределения радия, актиния и тория между сильноосновным анионитом BioRad AG-1x8 и растворами  $\text{CH}_3\text{COOH-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ . Показано что в растворах  $\text{CH}_3\text{COOH-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  можно проводить анионообменную очистку актиния от радия, тория и продуктов коррозии нержавеющей стали. Полученные данные были использованы при создании технологического процесса получения препаратов  $^{227}\text{Ac}(\text{NO}_3)_3$  и  $^{228,229}\text{Th}(\text{NO}_3)_4$  из облученного радия; 4. Показано, что торий может быть элюирован с анионообменной смолы ацетатно-аммиачными буферными растворами. Данный способ сейчас применяется при получении препарата  $^{225}\text{AcCl}_3$  из  $^{228,229}\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ , а также при контроле качества коммерческих партий препарата  $^{225}\text{AcCl}_3$  и экспериментальных партий препарата  $^{224}\text{RaCl}_2$ ; 5. Экспериментальные партии препарата  $^{227}\text{Ac}(\text{NO}_3)_3$ , очищенного в рамках данной работы, используются в АО "ГНЦ НИИАР" для регулярного производства  $^{227}\text{Th}$  и  $^{223}\text{Ra}$  медицинского назначения. Экспериментальные партии препарата  $^{228}\text{Th}(\text{NO}_3)_4$  используются для проведения исследований в области получения короткоживущих альфа-эмиттеров медицинского назначения  $^{224}\text{Ra}$  и  $^{212}\text{Pb}$ ; 6. Полученные в работе экспериментальные данные были использованы при создании участков производства альфа-эмиттеров медицинского назначения в АО «ГНЦ НИИАР», а именно  $^{227}\text{Ac}$ ,  $^{228,229}\text{Th}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{227}\text{Th}$  и  $^{225}\text{Ac}$ .

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Катионы железа(III), хрома(III) и свинца(II) снижают коэффициенты распределения актиния между водными растворами и Д2ЭГФК как при экстракции актиния, так и при сорбции его на Ln Resin. Наиболее сильный эффект наблюдается при наличии в растворе солей  $\text{Fe}^{3+}$ .
2. Растворимости нитратов радия, бария и свинца(II) в смесях  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  и  $\text{CH}_3\text{COOH-H}_2\text{O}$  монотонно убывают при увеличении массовой доли азотной или уксусной кислоты. При этом растворимости указанных солей в смесях  $\text{CH}_3\text{COOH-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  проходят через минимум в диапазоне от 96 до 99 масс. %  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

3. При соосаждении радия с нитратом свинца (II) из растворов  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  и  $\text{CH}_3\text{COOH-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  значения коэффициентов сокристаллизации радия убывают с увеличением концентрации азотной и уксусной кислот.
4. Нитрат  $\text{Ac(III)}$  извлекается сильноосновной анионообменной смолой BioRad AG 1x8 из растворов  $\text{CH}_3\text{COOH-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при объемной доле уксусной кислоты более 70 %. При этом коэффициенты распределения  $\text{Ac(III)}$  не зависят от концентрации азотной кислоты (в диапазоне 2-14 М). Нитраты  $\text{Ra(II)}$ ,  $\text{Ba(II)}$ ,  $\text{Cr(III)}$ ,  $\text{Fe(III)}$  и  $\text{Co(II)}$  в этих условиях анионообменной смолой не удерживаются.
5. При разделении  $\text{Ra(II)}$ ,  $\text{Ac(III)}$  и  $\text{Th(IV)}$  методом анионообменной хроматографии для элюирования актиния можно использовать 8 М  $\text{HNO}_3$ , а для элюирования тория – смесь ацетата аммония и уксусной кислоты. По эффективности элюирования  $\text{Th(IV)}$  данная смесь не уступает растворам соляной кислоты.

**Личный вклад автора** состоит в критическом обзоре литературных данных, планировании экспериментальных исследований, проведении экспериментов на имитаторах и с радиоактивными веществами в перчаточных боксах, в анализе результатов экспериментов и их интерпретации. Эксперименты в исследовательских горячих камерах были проведены под непосредственным руководством автора диссертации и по разработанным им методикам сотрудниками радиохимических установок АО «ГНЦ НИИАР». Роль автора диссертации также заключалась в интерпретации результатов аналитических измерений с использованием методов гамма-спектрометрии, альфа-спектрометрии и атомно-эмиссионного анализа, который проводился совместно с сотрудниками аналитических лабораторий АО «ГНЦ НИИАР». Вклад автора в совместных публикациях основополагающий.

На заседании 20 мая 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Буткалюку П.С. ученую степень кандидата химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 5 докторов наук по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки), участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 21, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета,  
доктор химических наук, академик РАН

\_\_\_\_\_/Калмыков С.Н./

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат химических наук

\_\_\_\_\_/Северин А.В./

«20» мая 2026 г.