

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Международной межправительственной организации

Объединенный институт ядерных исследований

д.ф.-м.н., академик РАН

Г.В. Трубников



«14» января 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему «Радиационные и химические аспекты стабильности прекурсоров радиофармпрепаратов на основе трехвалентных металлов» по научной специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов на соискание ученой степени кандидата химических наук выполнена на кафедре химии высоких энергий и радиозэкологии в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» и в Научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Желепова Международной межправительственной организации Объединенный институт ядерных исследований (ЛЯП ОИЯИ).

В процессе подготовки диссертации Куракина Елена Сергеевна, «17» октября 1993 года рождения, с 01.09.2016 г. по 31.08.2020 г. являлась аспирантом кафедры химии высоких энергий и радиозэкологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», а с 01.10.2025 по настоящее время – соискателем той же кафедры РХТУ им. Д.И. Менделеева. С 2016 г. по настоящее время работает инженером Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии в ЛЯП ОИЯИ.

Диплом об окончании аспирантуры выдан в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» в 2020 году.

Научный руководитель – кандидат химических наук (специальность 05.17.01 Технология неорганических веществ), доцент, заведующий кафедрой химии высоких энергий и радиозэкологии Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева Магомедбеков Эльдар Парпачевич.

Научный консультант – кандидат химических наук (специальность 02.00.14 Радиохимия), начальник сектора № 4 Научно-экспериментального

отдела ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП ОИЯИ Филосовов Дмитрий Владимирович.

По результатам рассмотрения диссертации Куракиной Елены Сергеевны на тему: «Радиационные и химические аспекты стабильности прекурсоров радиофармпрепаратов на основе трехвалентных металлов» принято следующее заключение.

Актуальность темы. На сегодняшний день радиометаллы успешно применяются в ядерной медицине в составе современных радиофармпрепаратов (РФП). Они находят применение в диагностике – например, γ -излучающий ^{111}In для однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ), ^{68}Ga для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) и др., и в терапии: альфа-излучатели (^{225}Ac , ^{213}Bi , ^{223}Ra и др.), бета-излучатели (^{177}Lu , ^{90}Y , ^{161}Tb и др.) и излучатели низкоэнергетических электронов (^{119}Sb , ^{135}La , ^{103}Pd). Используемые на данный момент ПЭТ радионуклиды обладают достаточно коротким периодом полураспада – ^{68}Ga ($T_{1/2} = 67,71$ мин) и ^{18}F ($T_{1/2} = 109,73$ мин), что ограничивает их применение с большими молекулами (антитела и т.п.). Поэтому в данной работе предложен альтернативный, экономически выгодный способ получения медицинского ^{44}Sc ($T_{1/2} = 4,04$ ч) для ПЭТ диагностики.

Ядерные превращения, сопровождающиеся оже-каскадами и/или испусканием конвертированных электронов, могут приводить к химическим и радиационным последствиям – постэффектам радиоактивного распада. В случае РФП это связано с возможным выходом дочернего нуклида из комплекса. Данные процессы являются ограничивающим фактором для осуществления *in vivo* генераторов, когда и материнский и дочерний радионуклид участвуют в терапии и/или диагностике. С другой стороны, на их основе возможна разработка радионуклидных генераторов, что особенно ценно при разделении ядерных изомеров. Данная работа направлена на исследование химической и радиационной стабильности РФП и их прекурсоров для радионуклидов с различным Z (21-71). Одним из принципиальных моментов работы является разработка методик оценки комплексов радионуклидов с хелатором в ультрамикроразбавлениях в наносекундном диапазоне с использованием метода возмущенных угловых корреляций (ВУК).

Научная новизна.

1. Впервые выделен ^{111}In из природной мишени сурьмы, облученной протонами с энергией 600 МэВ. Разработаны схемы разделения Sb/In , а также предложена схема разделения Sb/Te .
2. Впервые разработаны прямоточные двухступенчатые схемы для выделения перспективного оже-излучателя ^{135}La и медицинского ^{44g}Sc из природных мишеней Ва и Са, соответственно, облученных протонами с энергией 12,8 МэВ.
3. Впервые разработан генератор $^{44m}\text{Sc}/^{44g}\text{Sc}$, основанный на постэффектах радиоактивного распада РФП [$^{44m,g}\text{Sc}$] Sc-DOTATOC .

4. Разработана методика измерения и обработки данных для прекурсоров РФП на примере ^{111}In , $^{111\text{m}}\text{Cd}$, $^{152,154}\text{Eu}$ методом возмущенных угловых корреляций (ВУК).

Теоретическая и практическая значимость.

1. Разработана радиохимическая схема выделения ряда радионуклидов из облученной сурьмяной мишени, которая позволяет получать препарат ^{111}In используемого в диагностике и ядерно-физических исследованиях, а также $^{119\text{m}}\text{Te}$ для генератора $^{119\text{m}}\text{Te}/^{119}\text{Sb}$ с целью получения оже-излучателя ^{119}Sb .

2. Разработана радиохимическая схема выделения ^{44}Sc из облученной природной кальциевой мишени, которая позволяет получать медицинский ^{44}Sc быстрым и экономически выгодным способом для применения в последующих доклинических исследованиях. Большим преимуществом является то, что конечный продукт находится в подходящей среде (0,1 М $\text{NH}_4\text{-}\alpha\text{-NIB}$) для последующего мечения.

3. Разработана радиохимическая схема выделения ^{135}La из облученной бариевой мишени, которая позволяет получать терапевтический оже-излучатель ^{135}La для проведения доклинических исследований.

4. Разработан радионуклидный генератор $^{44\text{m}}\text{Sc}/^{44\text{g}}\text{Sc}$, который позволит получать относительно короткоживущий медицинский $^{44\text{g}}\text{Sc}$ вдали от ядерных установок.

5. Предложенный параметр для обработки данных ВУК показал, что данная методика является эффективной для определения констант устойчивости прекурсоров РФП и может применяться для изучения новых хелаторов.

6. Экспериментальные данные о выходе дочернего нуклида из комплексов в результате постэффектов радиоактивного распада в широком диапазоне Z элементов показывают новый характер зависимости при образовании вакансий на внутренней оболочке атома в области небольших Z .

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 16 печатных изданиях, в том числе в журналах, входящих в международные базы данных научного цитирования – 5 статей.

Публикации, в изданиях, индексируемых в международных базах данных

1. **Kurakina E.S.**, McNeil B.L., Khushvaktov J., Temerbulatova N.T., Mirzayev N.A., Magomedbekov E.P., Hoehr C., Ramogida C.F., Filosofov D.V., Radchenko V. Production and purification of radiolabeling-ready $^{132}/^{135}\text{La}$ from the irradiation of metallic natBa targets with low energy protons // *Nuclear Medicine and Biology*. 2025, Vol. 144–145, 108994. P. 1-7 (**Scopus, WoS, CAS**).

2. **Kurakina E.S.**, Wharton L., Khushvaktov J., Magomedbekov E.P., Radchenko V., Filosofov D.V. Separation of $^{44\text{m}}\text{Sc}/^{44\text{g}}\text{Sc}$ Nuclear Isomers Based on After-Effects // *Inorganic Chemistry*. 2023, Vol. 62, № 50. P. 20646–20654 (**Scopus, WoS, CAS**).

3. **Kurakina E.S.**, Wharton L., Hoehr C., Magomedbekov E.P., Filosofov D.V. Improved separation scheme for ^{44}Sc purification produced by irradiation of natCa targets with 12.8 MeV protons // Nuclear Medicine and Biology. 2022. Vol. 104–105. P. 22–27 (**Scopus, WoS, CAS**).
4. **Kurakina E.S.**, Radchenko V., Belozub A.N., Bonchev G., Bozhikov G., Velichkov A., Stachura M., Karaivanov D., Magomedbekov E.P., Filosofov D.V. Perturbed Angular Correlation as a Tool to Study Precursors for Radiopharmaceuticals // Inorganic Chemistry. 2020. Vol. 59, № 17. P. 12209–12217 (**Scopus, WoS, CAS**).
5. **Kurakina E.S.**, Velichkov A.I., Karaivanov D.V., Marinova A.P., Marinov G.M., Radchenko V., Khushvaktov J., Magomedbekov E.P., Filosofov D.V. Production of ^{111}In and Radioisotopes of Te and Sn from an Antimony Target Irradiated with High-Energy Protons // Radiochemistry. 2020. Vol. 62. P. 393–399 (**Scopus, CAS**).

Тезисы докладов на международных конференциях

1. **Kurakina E.S.** Application of Perturbed Angular Correlation (PAC) studies on the after-effects of radiopharmaceutical precursors // 47th meeting of the PAC for Nuclear Physics, 17–18 января 2018, г. Дубна, Россия. URL: <http://indico.jinr.ru/conferenceDisplay.py?confId=386>
2. **Kurakina E.S.**, Karaivanov D.V., Kochetov O.I., Correia J.G., Marinov G.M., Radchenko V.I., Salamatin A.V., Temerbulatova N.T., Velichkov A.I., Magomedbekov E.P., Filosofov D.V. Perturbed Angular Correlation method at investigation of the complexes ^{111}In with deferoxamine as a potential usage for Sb chelation // 49th meeting of the PAC for Nuclear Physics, 22–23 января 2019 г., Дубна, Россия. URL: <http://indico.jinr.ru/conferenceDisplay.py?confId=720>
3. **Kurakina E.S.**, Karaivanov D.V., Marinov G.M., Radchenko V., Temerbulatova N.T., A.I. Velichkov, E.P. Magomedbekov, D.V. Filosofov. A novel ^{111}In production by irradiation of Sb target by high energy protons (600 MeV) for further Perturbed Angular Correlation measurements // 23-я международная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ, АУС-2019, 15–19 апреля 2019, г. Дубна, Россия. URL: <https://indico.jinr.ru/event/756/contributions/6766/>
4. **Kurakina E.S.**, Inoyatov A. Kh., Karaivanov D.V., Radchenko V., Velichkov A.I., Magomedbekov E.P., Filosofov D.V. Electron capture after-effect in complexes of ^{111}In и ^{152}Eu investigated by perturbed angular correlation // LXIX Международная конференция по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра «Фундаментальные проблемы ядерной физики, ядра у границ нуклонной стабильности, высокие технологии»: сборник тезисов, 1 – 5 июля 2019, г. Дубна, Россия. ОИЯИ, 2019. С. 361.
5. **Kurakina E.**, Wharton L., Hoehr C., Magomedbekov E., Filosofov D., Radchenko V. An improved separation scheme for ^{44}Sc purification from proton irradiated calcium // International Symposium of Radiopharmaceutical Sciences «eSRS 2021», online conference, 17–19 May 2021. Nuclear Medicine and

Biology, Vol. 96–97, May–June 2021. P. S92. URL: [https://doi.org/10.1016/S0969-8051\(21\)00417-0](https://doi.org/10.1016/S0969-8051(21)00417-0)

6. **Kurakina E.S.**, Radchenko V., Magomedbekov E.P., Filosofov D.V. 44mSc/44gSc generator based on the after-effects of radioactive decay // 25-я международная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ, онлайн-конференция AYSS-2021, 11–15 октября 2021 г. URL: <https://indico.jinr.ru/event/2338/>

7. **Kurakina E.** Production of trivalent radionuclides for nuclear medicine and analysis via nuclear-spectrometric methods // 59th meeting of the PAC for Nuclear Physics, 13–14 июня 2024, г. Дубна, Россия. URL: <https://indico.jinr.ru/event/4636/>

8. **Kurakina E.**, Radchenko V., Karaivanov D., Velichkov A., Magomedbekov E., Filosofov D. Post-decay processes in radiopharmaceutical precursors studied via nuclear spectroscopy // The 2nd African Symposium on exotic nuclei (IASEN 2024). 9–13 December 2024, Capetown, South Africa. URL: <https://indico.tlabs.ac.za/event/129/book-of-abstracts.pdf>

9. **Kurakina E.**, Wharton L., Magomedbekov E., Radchenko V., Filosofov D. Separation of nuclear isomers: towards the design of 44mSc/44gSc radionuclide generator // LXXV Международная конференция «ЯДРО – 2025. Ядерная физика и физика элементарных частиц. Ядерно-физические технологии»: сборник тезисов, 1 – 6 июля 2025, г. Санкт-Петербург, Россия. С. 226.

10. **Kurakina E.**, McNeil B., Wharton L., Magomedbekov E., Radchenko V., Filosofov D. Two-step radiochemical separation schemes for production of radiolabeling-ready rare earth radiometals // Theranostics World Congress (TWC8), 29 January–1 February 2026, Capetown, South Africa. URL: https://www.theranostics-world-congress.org/files/content/2026/abstracts/TWC2026_ePosterbook.pdf

Тезисы докладов на всероссийских конференциях

1. **Куракина Е.С.**, Величков А.И., Радченко В.И., Магомедбеков Э.П., Философов Д.В. Исследование комплексов ^{111}In , ^{111m}Cd , $^{152,154}\text{Eu}$ с ДТПА с применением метода возмущенных угловых корреляций // IX Российская конференция с международным участием «Радиохимия 2018»: Сборник тезисов, г. Санкт-Петербург, 17 – 21 сентября 2018 г. Санкт-Петербург. С. 502.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, в том числе на: 8th Theranostics World Congress TWC8 (Capetown, South Africa, 2026), LXXV и LXIX Международных конференциях «ЯДРО-2025» и «ЯДРО-2019» (г. Санкт-Петербург и г. Дубна, РФ, 2025 и 2019), 2nd African Symposium on exotic nuclei IASEN2024 (Capetown, South Africa, 2024), 59th, 49th and 47th meetings of the PAC for Nuclear Physics (г. Дубна, РФ, 2024, 2019 и 2018), 25-ой и 23-ей международных конференциях молодых ученых и специалистов «ОМУС-2021» и «ОМУС-2019» (г. Дубна, РФ, 2021 и 2019), International Symposium of Radiopharmaceutical Sciences «eSRS 2021» (online, 2021), X Российской

конференции с международным участием «Радиохимия 2018» (г. Санкт-Петербург, РФ, 2018). Результаты проведенных исследований были удостоены стипендии им. В.П. Джелепова ЛЯП ОИЯИ в 2025 г., второй премии за лучший устный доклад среди молодых ученых на 59-ой сессии ПМК по ядерной физике в 2024 г. и третьей премии ОИЯИ в номинации «научно-технические прикладные работы».

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части п.8 области исследований «Конверсия достижений технологии редких металлов и ядерной технологии, использование опыта эксплуатации типичных для данной отрасли промышленности процессов (сорбция, экстракция, плазменные, пламенные процессы и т.п.) для создания малоотходных, ресурсосберегающих технологических схем других отраслей промышленности».

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Куракиной Еленой Сергеевной является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Куракиной Елене Сергеевне; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Радиационные и химические аспекты стабильности прекурсоров радиофармпрепаратов на основе трехвалентных металлов» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Диссертация рассмотрена на семинаре по ядерной спектроскопии и радиохимии, структуре атомного ядра, неускорительной физике нейтрино и астрофизике Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП ОИЯИ, состоявшемся 22 сентября 2025 года, протокол № 1. В обсуждении приняли участие: директор ЛЯП, д.ф.-м.н. Якушев Евгений Александрович, начальник НЭОЯСиРХ, к.ф.-м.н. Розов Сергей Владимирович, начальник сектора № 4, к.х.н. Философов Дмитрий Владимирович, советник при дирекции ОИЯИ, д.ф.-м.н. Иноятов Анвар Хидоятович, заместитель начальника НЭОЯСиРХ, д.ф.-м.н. Гуров Юрий

конференции с международным участием «Радиохимия 2018» (г. Санкт-Петербург, РФ, 2018). Результаты проведенных исследований были удостоены стипендии им. В.П. Желепова ЛЯП ОИЯИ в 2025 г., второй премии за лучший устный доклад среди молодых ученых на 59-ой сессии ПКК по ядерной физике в 2024 г. и третьей премии ОИЯИ в номинации «научно-технические прикладные работы».

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части п.8 области исследований «Конверсия достижений технологии редких металлов и ядерной технологии, использование опыта эксплуатации типичных для данной отрасли промышленности процессов (сорбция, экстракция, плазменные, пламенные процессы и т.п.) для создания малоотходных, ресурсосберегающих технологических схем других отраслей промышленности».

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Куракиной Еленой Сергеевной является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Куракиной Елене Сергеевне; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Радиационные и химические аспекты стабильности прекурсоров радиофармпрепаратов на основе трехвалентных металлов» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Диссертация рассмотрена на семинаре по ядерной спектроскопии и радиохимии, структуре атомного ядра, неускорительной физике нейтрино и астрофизике Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП ОИЯИ, состоявшемся 22 сентября 2025 года, протокол № 1. В обсуждении приняли участие: директор ЛЯП, д.ф.-м.н. Якушев Евгений Александрович, начальник НЭОЯСиРХ, к.ф.-м.н. Розов Сергей Владимирович, начальник сектора № 4, к.х.н. Философов Дмитрий Владимирович, советник при дирекции ОИЯИ, д.ф.-м.н. Иноятов Анвар Хидоятович, заместитель начальника НЭОЯСиРХ, д.ф.-м.н. Гуров Юрий

Борисович, начальник сектора № 3, к.ф.-м.н. Караиванов Димитър Веселинов.

Принимало участие в голосовании 17 человек. Результаты голосования: «За» - 17 человек, «Против» - нет, «Воздержались» – нет, протокол № 1 от 22 сентября 2025 г.

Директор ЛЯП ОИЯИ
д.ф.-м.н.



Е.А. Якушев

Руководитель семинара
к.ф.-м.н.



С.В. Розов



«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор РХТУ им. Д. И. Менделеева

д.х.н., профессор С.Н. Филатов

« 24 » марта 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему «Радиационные и химические аспекты стабильности прекурсоров радиофармпрепаратов на основе трехвалентных металлов» по научной специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов на соискание ученой степени кандидата химических наук выполнена на кафедре химии высоких энергий и радиоэкологии в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» и в Научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова Международной межправительственной организации Объединенный институт ядерных исследований (ЛЯП ОИЯИ).

В процессе подготовки диссертации Куракина Елена Сергеевна, «17» октября 1993 года рождения, с 01.09.2016 г. по 31.08.2020 г. являлась аспирантом кафедры химии высоких энергий и радиоэкологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», а с 01.10.2025 по настоящее время – соискателем той же кафедры РХТУ им. Д.И. Менделеева. С 2016 г. по настоящее время работает инженером Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии в ЛЯП ОИЯИ.

Диплом об окончании аспирантуры выдан в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» в 2020 году.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» в 2025 году.

Научный руководитель – кандидат химических наук (специальность 05.17.01 Технология неорганических веществ), доцент, заведующий кафедрой химии высоких энергий и радиоэкологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева» Магомедбеков Эльдар Парпачевич.

Научный консультант – доктор физико-математических наук (специальность 1.3.2 Приборы и методы экспериментальной физики), начальник сектора №4 Научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП ОИЯИ Филосовов Дмитрий Владимирович.

По результатам рассмотрения диссертации Куракиной Елены Сергеевны на тему: «Радиационные и химические аспекты стабильности прекурсоров радиофармпрепаратов на основе трехвалентных металлов» принято следующее заключение.

Актуальность темы. На сегодняшний день радиометаллы успешно применяются в ядерной медицине в составе современных радиофармпрепаратов (РФП). Они находят применение в диагностике – например, γ -излучающий ^{111}In для однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ), ^{68}Ga для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) и др., и в терапии: альфа-излучатели (^{225}Ac , ^{213}Bi , ^{223}Ra и др.), бета-излучатели (^{177}Lu , ^{90}Y , ^{161}Tb и др.) и излучатели низкоэнергетических электронов (^{119}Sb , ^{135}La , ^{103}Pd). Используемые на данный момент ПЭТ радионуклиды обладают достаточно коротким периодом полураспада - ^{68}Ga ($T_{1/2} = 67,71$ мин) и ^{18}F ($T_{1/2} = 109,73$ мин), что ограничивает их применение с большими молекулами (антитела и т.п.). Поэтому в данной работе предложен альтернативный, экономически выгодный способ получения медицинского ^{44}Sc ($T_{1/2} = 4,04$ ч) для ПЭТ диагностики.

Ядерные превращения, сопровождающиеся оже-каскадами и/или испусканием конвертированных электронов, могут приводить к химическим и радиационным последствиям – постэффектам радиоактивного распада. В случае РФП это связано с возможным выходом дочернего нуклида из комплекса. Данные процессы являются ограничивающим фактором для осуществления *in vivo* генераторов, когда и материнский и дочерний радионуклид участвуют в терапии и/или диагностике. С другой стороны, на их основе возможна разработка радионуклидных генераторов, что особенно ценно при разделении ядерных изомеров. Данная работа направлена на исследование химической и радиационной стабильности РФП и их прекурсоров для радионуклидов с различным Z (21-71). Одним из принципиальных моментов работы является разработка методик оценки комплексов радионуклидов с хелатором в ультрамикроразбавлениях в наносекундном диапазоне с использованием метода возмущенных угловых корреляций (ВУК).

Научная новизна.

1. Впервые выделен ^{111}In из природной мишени сурьмы, облученной протонами с энергией 600 МэВ. Разработаны схемы разделения Sb/In , а также предложена схема разделения Sb/Te .
2. Впервые разработаны прямоточные двухступенчатые схемы для выделения перспективного оже-излучателя ^{135}La и медицинского ^{44}Sc из

природных мишеней Ba и Ca, соответственно, облученных протонами с энергией 12,8 МэВ.

3. Впервые разработан генератор $^{44m}\text{Sc}/^{44g}\text{Sc}$, основанный на постэффектах радиоактивного распада РФП [$^{44m,g}\text{Sc}$]Sc-DOTATOC.

4. Разработана методика измерения и обработки данных для прекурсоров РФП на примере ^{111}In , ^{111m}Cd , $^{152,154}\text{Eu}$ методом возмущенных угловых корреляций (ВУК).

Теоретическая и практическая значимость.

1. Разработана радиохимическая схема выделения ряда радионуклидов из облученной сурьмяной мишени, которая позволяет получать препарат ^{111}In используемого в диагностике и ядерно-физических исследованиях, а также ^{119m}Te для генератора $^{119m}\text{Te}/^{119}\text{Sb}$ с целью получения оже-излучателя ^{119}Sb .

2. Разработана радиохимическая схема выделения ^{44}Sc из облученной природной кальциевой мишени, которая позволяет получать медицинский ^{44}Sc быстрым и экономически выгодным способом для применения в последующих доклинических исследованиях. Большим преимуществом является то, что конечный продукт находится в подходящей среде (0,1 М $\text{NH}_4\text{-}\alpha\text{-НВ}$) для последующего мечения.

3. Разработана радиохимическая схема выделения ^{135}La из облученной бариевой мишени, которая позволяет получать терапевтический оже-излучатель ^{135}La для проведения доклинических исследований.

4. Разработан радионуклидный генератор $^{44m}\text{Sc}/^{44g}\text{Sc}$, который позволит получать относительно короткоживущий медицинский ^{44g}Sc вдали от ядерных установок.

5. Предложенный параметр для обработки данных ВУК показал, что данная методика является эффективной для определения констант устойчивости прекурсоров РФП и может применяться для изучения новых хелаторов.

6. Экспериментальные данные о выходе дочернего нуклида из комплексов в результате постэффектов радиоактивного распада в широком диапазоне Z элементов показывают новый характер зависимости при образовании вакансий на внутренней оболочке атома в области небольших Z .

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 16 печатных изданиях, в том числе в журналах, входящих в международные базы данных научного цитирования – 5 статей.

Публикации, в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. **Kurakina E.S.**, McNeil B.L., Khushvaktov J., Temerbulatova N.T., Mirzayev N.A., Magomedbekov E.P., Hoehr C., Ramogida C.F., Filosofov D.V., Radchenko V. Production and purification of radiolabeling-ready $^{132/135}\text{La}$ from

- the irradiation of metallic natBa targets with low energy protons // Nuclear Medicine and Biology. 2025, Vol. 144–145, 108994. P. 1-7 (**Scopus, WoS, CAS**).
2. **Kurakina E.S.**, Wharton L., Khushvaktov J., Magomedbekov E.P., Radchenko V., Filosofov D.V. Separation of $^{44m}\text{Sc}/^{44g}\text{Sc}$ Nuclear Isomers Based on After-Effects // Inorganic Chemistry. 2023, Vol. 62, № 50. P. 20646–20654 (**Scopus, WoS, CAS**).
 3. **Kurakina E. S.**, Wharton L., Hoeher C., Magomedbekov E.P., Filosofov D.V. Improved separation scheme for ^{44}Sc purification produced by irradiation of natCa targets with 12.8 MeV protons // Nuclear Medicine and Biology. 2022. Vol. 104–105. P. 22-27 (**Scopus, WoS, CAS**).
 4. **Kurakina E.S.**, Radchenko V., Belozub A. N., Bonchev G., Bozhikov G., Velichkov A., Stachura M., Karaivanov D., Magomedbekov E. P., Filosofov D.V. Perturbed Angular Correlation as a Tool to Study Precursors for Radiopharmaceuticals // Inorganic Chemistry. 2020. Vol. 59, № 17. P. 12209–12217 (**Scopus, WoS, CAS**).
 5. **Kurakina E.S.**, Velichkov A. I., Karaivanov D. V., Marinova A.P., Marinov G.M., Radchenko V., Khushvaktov J., Magomedbekov E. P., Filosofov D.V. Production of ^{111}In and Radioisotopes of Te and Sn from an Antimony Target Irradiated with High-Energy Protons // Radiochemistry. 2020. Vol. 62. P. 393–399 (**Scopus, CAS**).

Тезисы докладов на международных конференциях

1. **Kurakina E.S.** Application of Perturbed Angular Correlation (PAC) studies on the after-effects of radiopharmaceutical precursors // 47th meeting of the PAC for Nuclear Physics, 17–18 января 2018, г. Дубна, Россия. URL: <http://indico.jinr.ru/conferenceDisplay.py?confId=386>
2. **Kurakina E.S.**, Karaivanov D.V., Kochetov O.I., Correia J.G., Marinov G.M., Radchenko V.I., Salamatina A.V., Temerbulatova N.T., Velichkov A.I., Magomedbekov E.P., Filosofov D.V. Perturbed Angular Correlation method at investigation of the complexes ^{111}In with deferoxamine as a potential usage for Sb chelation // 49th meeting of the PAC for Nuclear Physics, 22–23 января 2019 г., Дубна, Россия. URL: <http://indico.jinr.ru/conferenceDisplay.py?confId=720>
3. **Kurakina E.S.**, Karaivanov D.V., Marinov G.M., Radchenko V., Temerbulatova N.T., A.I. Velichkov, E.P. Magomedbekov, D.V. Filosofov. A novel ^{111}In production by irradiation of Sb target by high energy protons (600 MeV) for further Perturbed Angular Correlation measurements // 23-я международная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ, AYSS-2019, 15–19 апреля 2019, г. Дубна, Россия. URL: <https://indico.jinr.ru/event/756/contributions/6766/>
4. **Kurakina E.S.**, Inoyatov A. Kh., Karaivanov D.V., Radchenko V., Velichkov A.I., Magomedbekov E.P., Filosofov D.V. Electron capture after-effect in complexes of ^{111}In и ^{152}Eu investigated by perturbed angular correlation // LXIX Международная конференция по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра «Фундаментальные проблемы ядерной физики, ядра у границ

нуклонной стабильности, высокие технологии»: сборник тезисов, 1 – 5 июля 2019, г. Дубна, Россия. ОИЯИ, 2019. С. 361.

5. **Kurakina E.**, Wharton L., Hoeher C., Magomedbekov E., Filosofov D., Radchenko V. An improved separation scheme for ^{44}Sc purification from proton irradiated calcium // International Symposium of Radiopharmaceutical Sciences «eSRS 2021», online conference, 17–19 May 2021. Nuclear Medicine and Biology, Vol. 96–97, May–June 2021, P. S92. URL: [https://doi.org/10.1016/S0969-8051\(21\)00417-0](https://doi.org/10.1016/S0969-8051(21)00417-0)
6. **Kurakina E.S.**, Radchenko V., Magomedbekov E.P., Filosofov D.V. $^{44}\text{mSc}/^{44}\text{gSc}$ generator based on the after-effects of radioactive decay // 25-я международная конференция молодых ученых и специалистов ОИЯИ, онлайн-конференция AYSS-2021, 11–15 октября 2021 г. URL: <https://indico.jinr.ru/event/2338/>
7. **Kurakina E.** Production of trivalent radionuclides for nuclear medicine and analysis via nuclear-spectrometric methods // 59th meeting of the PAC for Nuclear Physics, 13–14 июня 2024, г. Дубна, Россия. URL: <https://indico.jinr.ru/event/4636/>
8. **Kurakina E.**, Radchenko V., Karaivanov D., Velichkov A., Magomedbekov E., Filosofov D. Post-decay processes in radiopharmaceutical precursors studied via nuclear spectroscopy // The 2nd African Symposium on exotic nuclei (IASEN 2024). 9–13 December 2024, Capetown, South Africa. URL: <https://indico.tlabs.ac.za/event/129/book-of-abstracts.pdf>
9. **Kurakina E.**, Wharton L., Magomedbekov E., Radchenko V., Filosofov D.. Separation of nuclear isomers: towards the design of $^{44}\text{mSc}/^{44}\text{gSc}$ radionuclide generator // LXXV Международная конференция «ЯДРО – 2025. Ядерная физика и физика элементарных частиц. Ядерно-физические технологии»: сборник тезисов, 1 – 6 июля 2025, г. Санкт-Петербург, Россия, С. 226.
10. **Kurakina E.**, McNeil B., Wharton L., Magomedbekov E., Radchenko V., Filosofov D. Two-step radiochemical separation schemes for production of radiolabeling-ready rare earth radiometals // Theranostics World Congress (TWC8), 29 January–1 February 2026, Capetown, South Africa. URL: https://www.theranostics-world-congress.org/files/content/2026/abstracts/TWC2026_ePosterbook.pdf

Тезисы докладов на всероссийских конференциях

1. **Куракина Е.С.**, Величков А.И., Радченко В.И., Магомедбеков Э.П., Философов Д.В. Исследование комплексов ^{111}In , ^{111}mCd , $^{152,154}\text{Eu}$ с ДТПА с применением метода возмущенных угловых корреляций // IX Российская конференция с международным участием «Радиохимия 2018»: Сборник тезисов, г. Санкт-Петербург, 17 – 21 сентября 2018 г. Санкт-Петербург. С. 502.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, в том числе на: 8th Theranostics World Congress TWC8 (Capetown, South Africa, 2026), LXXV и LXIX Международных конференциях «ЯДРО-2025» и «ЯДРО-2019» (г. Санкт-Петербург и г. Дубна,

РФ, 2025 и 2019), 2nd African Symposium on exotic nuclei IASEN2024 (Capetown, South Africa, 2024), 59th, 49th and 47th meetings of the PAC for Nuclear Physics (г. Дубна, РФ, 2024, 2019 и 2018), 25-ой и 23-ей международных конференциях молодых ученых и специалистов «ОМУС-2021» и «ОМУС-2019» (г. Дубна, РФ, 2021 и 2019), International Symposium of Radiopharmaceutical Sciences «eSRS 2021» (online, 2021), X Российской конференции с международным участием «Радиохимия 2018» (г. Санкт-Петербург, РФ, 2018). Результаты проведенных исследований были удостоены стипендии им. В.П. Желепова ЛЯП ОИЯИ в 2025 г., второй премии за лучший устный доклад среди молодых ученых на 59-ой сессии ПКК по ядерной физике в 2024 г. и третьей премии ОИЯИ в номинации «научно-технические прикладные работы».

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части п.8 области исследований «Конверсия достижений технологии редких металлов и ядерной технологии, использование опыта эксплуатации типичных для данной отрасли промышленности процессов (сорбция, экстракция, плазменные, пламенные процессы и т.п.) для создания малоотходных, ресурсосберегающих технологических схем других отраслей промышленности».

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Куракиной Елены Сергеевны является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Куракиной Елене Сергеевне; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Радиационные и химические аспекты стабильности прекурсоров радиофармпрепаратов на основе трехвалентных металлов» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Диссертация рассмотрена на расширенном заседании кафедры химии высоких энергий и радиозэкологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», состоявшемся 24 февраля 2026 года, протокол № 6. В обсуждении приняли участие: заведующий кафедрой химии высоких энергий и радиозэкологии, к.х.н., доцент Магомедбеков Э.П.; заведующий кафедрой технологии изотопов и водородной энергетики, д.т.н., доцент Растунова И.Л.; заведующий кафедрой технологии редких элементов и наноматериалов на их основе, д.х.н., профессор Степанов С.И.; доцент кафедры химии высоких энергий и радиозэкологии, к.т.н., доцент Тюпина Е.А.; доцент кафедры химии высоких энергий и радиозэкологии, к.х.н., доцент Клименко О.М.; начальник сектора №4 НЭОЯСиРХ ЛЯП ОИЯИ, д.ф.-м.н. Философов Д.В.

Принимало участие в голосовании 9 человек. Результаты голосования: «За» - 9 человек, «Против» - нет, «Воздержались» - нет, протокол № 6 от 24 февраля 2026 г.

Председатель заседания кафедры
химии высоких энергий и радиозэкологии
к.х.н., доцент

Клименко О.М.

Секретарь заседания
доцент кафедры
химии высоких энергий и радиозэкологии
к.х.н.

Антропова И.Г.