

Заключение диссертационного совета МГУ.014.6  
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук  
Решение диссертационного совета от « 14 » декабря 2022 г. № 71

О присуждении Ермолаеву Станиславу Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора химических наук.

Диссертация «Получение медицинских радионуклидов  $^{117m}\text{Sn}$  и  $^{225}\text{Ac}$  из мишеней, облученных протонами средних энергий, и разработка  $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$  генератора» по специальности 1.4.13 – «Радиохимия» принята к защите диссертационным советом 5 октября 2022 г., протокол № 62.

Соискатель Ермолаев Станислав Викторович, 1967 года рождения, в 1991 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева». В 1995 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Влияние определяющих факторов на удельную производительность ультра- и микрофильтрационных мембран» по специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химической технологии в диссертационном совете Д 053.34.08 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева».

Соискатель работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт ядерных исследований Российской академии наук» в должности ведущего научного сотрудника Лаборатории радиоизотопного комплекса.

Диссертация выполнена в Лаборатории радиоизотопного комплекса Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт ядерных исследований Российской академии наук».

Научный консультант – доктор химических наук **Жуйков Борис Леонидович**, главный научный сотрудник, заведующий Лабораторией радиоизотопного комплекса Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт ядерных исследований Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

**Колотов Владимир Пантелеймонович** – доктор химических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук»;

**Кулюхин Сергей Алексеевич** – доктор химических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук»;

**Скуридин Виктор Сергеевич** – доктор технических наук, профессор-консультант лаборатории

№ 31 ядерного реактора ИЯТШ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 114 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 38 работ, из них 13 патентов, включая 6 патентов РФ и 7 зарубежных, а также 25 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных РИНЦ, Web of Science, Scopus, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.13–«Радиохимия».

1. **S.V. Ermolaev**, B.L. Zhuikov, V.M. Kokhanyuk, S.C. Srivastava. Production Yields of  $^{117m}\text{Sn}$  from Natural Antimony Target in Proton Energy Range 145-35 MeV. // *J. Labelled Comp. Radiopharm.*, 2007, v. 50, p. 611-612 (WoS, Scopus, Q2, импакт-фактор 1.9), 45%.
2. **S.V. Ermolaev**, B.L. Zhuikov, V.M. Kokhanyuk, A.A. Abramov, N.R. Togaeva, S.V. Khamianov, S.C. Srivastava. Production of no-carrier-added  $^{117m}\text{Sn}$  from Proton Irradiated Antimony. // *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2009, v. 280, p. 319-324 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 1.3), 60%.
3. Б.Л. Жуйков, С.Н. Калмыков, **С.В. Ермолаев**, Р.А. Алиев, В.М. Коханюк, В.Л. Матушко, И.Г. Тананаев, Б.Ф. Мясоедов. Получение актиния-225 и радия-223 при облучении тория ускоренными протонами. // *Радиохимия*, 2011, т. 53, с. 66-72, (B.L. Zhuikov, S.N. Kalmykov, **S.V. Ermolaev**, R.A. Aliev, V.M. Kokhanyuk, V.L. Matushko, I.G. Tananaev, B.F. Myasoedov. Production of  $^{225}\text{Ac}$  and  $^{223}\text{Ra}$  by Irradiation of Th with Accelerated Protons. // *Radiochemistry*, 2011, v. 53, p. 73-80) (RSCI, Scopus, Q3, импакт-фактор 0.54), 35%.
4. **S.V. Ermolaev**, B.L. Zhuikov, V.M. Kokhanyuk, V.L. Matushko, S.N. Kalmykov, R.A. Aliev, I.G. Tananaev, B.F. Myasoedov. Production of actinium, thorium and radium isotopes from natural thorium irradiated with protons up to 141 MeV. // *Radiochim. Acta*, 2012, v. 100, p. 223-229 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 2.1), 70%.
5. В.М. Чудаков, Б.Л. Жуйков, **С.В. Ермолаев**, В.М. Коханюк, М.И. Мостова, В.В. Зайцев, С.В. Шатик, Н.А. Костеников, Д.В. Рыжкова, Л.А. Тютин. Исследование характеристик генератора рубидия-82 для ПЭТ-исследований. // *Радиохимия*, 2014, т. 56, с. 455-461, (V.M. Chudakov, B.L. Zhuikov, **S.V. Ermolaev**, V.M. Kokhanyuk, M.I. Mostova, V.V. Zaitsev, S.V. Shatik, N.A. Kostenikov, D.V. Ryzhkova, L.A. Tyutin. Characterization of a  $^{82}\text{Rb}$  Generator for Positron Emission Tomography. // *Radiochemistry*, 2014, v. 56, p. 535-543) (RSCI, Scopus, Q3, импакт-фактор 0.54), 20%.
6. R.A. Aliev, **S.V. Ermolaev**, A.N. Vasiliev, V.S. Ostapenko, E.V. Lapshina, B.L. Zhuikov, N.V. Zakharov, V.V. Pozdeev, V.M. Kokhanyuk, B.F. Myasoedov, S.N. Kalmykov. Isolation of medicine-applicable actinium-225 from thorium targets irradiated by medium-energy protons. // *Solv. Extr. Ion Exch.*, 2014, v. 32, p. 468-477 (WoS, Scopus, Q2, импакт-фактор 2.8), 50%.
7. V. Ostapenko, A. Vasiliev, E. Lapshina, **S. Ermolaev**, R. Aliev, Yu. Totskiy, B. Zhuikov, S. Kalmykov. Extraction chromatographic behavior of Ac and REE on DGA, Ln and TRU resins in nitric acid solutions. // *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2015, v. 306, p. 707-711 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 1.3), 45%.
8. A.N. Vasiliev, V.S. Ostapenko, E.V. Lapshina, **S.V. Ermolaev**, S.S. Danilov, B.L. Zhuikov, S.N. Kalmykov. Recovery of Ra-223 from natural thorium irradiated by protons. // *Radiochim. Acta*, 2016, v. 104, p. 539-547 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 2.1), 35%.
9. V. Ostapenko, I. Sinenko, E. Arefyeva, E. Lapshina, **S. Ermolaev**, B. Zhuikov, S. Kalmykov. Evaluation of Pa(V) sorption on extraction chromatographic resins from nitric and hydrochloric solutions. // *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2017, v. 311, p. 1545-1550 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 1.3), 33%.
10. A.N. Vasiliev, A.V. Severin, E.V. Lapshina, E. Chernykh, **S.V. Ermolaev**, S.N. Kalmykov. Hydroxyapatite particles as carriers for  $^{223}\text{Ra}$ . // *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2017, v. 311, p. 1503-1509 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 1.3), 10%.
11. О.Н. Либанова, Е.С. Голубева, **С.В. Ермолаев**, В.Л. Матушко, А.С. Ботвина. Экспериментальные сечения образования продуктов деления тория-232 при облучении протонами средних энергий. // *Письма в ЭЧАЯ*, 2018, т. 15, с. 234-251, (O.N. Libanova, E.S. Golubeva, **S.V. Ermolaev**, V.L. Matushko, A.S. Botvina. Experimental Cross Sections of Fission Fragments of Thorium-232 Irradiated with Medium-Energy Protons. // *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 2018, v. 15, p.

284–297) (WoS, Scopus, Q4, импакт-фактор 0.5), 80%.

12. A.N. Vasiliev, **S.V. Ermolaev**, E.V. Lapshina, B.L. Zhuikov, N.D. Betenekov.  $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$  generator based on inorganic sorbents. // *Radiochim. Acta*, 2019, v. 107, p. 1203-1211 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 2.1), 40%.

13. I.L. Sinenko, T.P. Kalmykova, D.V. Likhosherstova, B.V. Egorova, A.D. Zubenko, A.N. Vasiliev, **S.V. Ermolaev**, E.V. Lapshina, V.S. Ostapenko, O.A. Fedorova, S.N. Kalmykov.  $^{213}\text{Bi}$  production and complexation with new picolinate containing ligands. // *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2019, v. 321, p. 531-540 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 1.3), 20%.

14. E. Lapshina, B. Zhuikov, A. Vasiliev, V. Ostapenko, **S. Ermolaev**. Production of  $^{230}\text{Pa}$  from Proton-irradiated Thorium and Developing  $^{230}\text{Pa}/^{230}\text{U}/^{226}\text{Th}$  Tandem Generator. // *J. Med. Imaging Radiat. Sci.*, 2019, v. 50, p. S16 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 1.5), 60%.

15. **С.В. Ермолаев**, А.К. Скасырская. Изучение движения генетически связанных радионуклидов  $^{221}\text{Fr}$  и  $^{213}\text{Bi}$  в хроматографической среде. // *Радиохимия*, 2019, т. 61, с. 41-50, (**S.V. Ermolaev**, А.К. Skasyrskaya. Motion of Genetically Related  $^{221}\text{Fr}$  and  $^{213}\text{Bi}$  Radionuclides in a Chromatographic Medium. // *Radiochemistry*, 2019, v. 61, p. 44-54) (RSCI, Scopus, Q3, импакт-фактор 0.54), 95%.

16. Н.Д. Бетенеков, Е.И. Денисов, А.Н. Васильев, **С.В. Ермолаев**, Б.Л. Жуйков. Перспективы создания генератора  $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$  с использованием гидроксидных неорганических сорбентов // *Радиохимия*, 2019, т. 61, с. 159-167, (N.D. Betenekov, E.I. Denisov, A.N. Vasiliev, **S.V. Ermolaev**, B.L. Zhuikov. Prospects for the Development of an  $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$  Generator Using Inorganic Hydroxide Sorbents. // *Radiochemistry*, 2019, v. 61, p. 211-219) (RSCI, Scopus, Q3, импакт-фактор 0.54), 50%.

17. A. Vasiliev, **S. Ermolaev**, E. Lapshina, N. Betenekov, E. Denisov, B. Zhuikov. Various Chromatographic Schemes for Separation of  $^{213}\text{Bi}$  from  $^{225}\text{Ac}$ . // *J. Med. Imaging Radiat. Sci.*, 2019, v. 50, p. S21 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 1.5), 50%.

18. **S.V. Ermolaev**, B.L. Zhuikov, V.M. Kokhanyuk, V.L. Matushko, S.C. Srivastava. Cross sections and production yields of  $^{117\text{m}}\text{Sn}$  and other radionuclides generated in natural and enriched antimony with protons up to 145 MeV. // *Radiochim. Acta*, 2020, v. 108, p. 327-351 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 2.1), 75%.

19. O.N. Libanova, **S.V. Ermolaev**, E.S. Golubeva, V.L. Matushko. Experimental cross sections and mass distribution of fission products of thorium-232 irradiated with protons in energy range 20–140 MeV. // *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2020, v. 324, p. 1435-1454 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 1.3), 85%.

20. Н.Д. Бетенеков, **С.В. Ермолаев**, А.К. Скасырская. Разработка  $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$  генератора с использованием двух неорганических сорбентов. Процессы, происходящие с участием радионуклидов подсемейства  $^{225}\text{Ac}$ . // *Радиохимия*, 2020, т. 62, с. 337-344, (N.D. Betenekov, **S.V. Ermolaev**, А.К. Skasyrskaya. Development of a  $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$  Generator with Two Inorganic Sorbents. Processes Involving Radionuclides of the  $^{225}\text{Ac}$  Subfamily. // *Radiochemistry*, 2020, v. 62, p. 524-531) (RSCI, Scopus, Q3, импакт-фактор 0.54), 90%.

21. B. Zhuikov, **S. Ermolaev**. Adsorption from liquid metals: an approach for recovery of radionuclides from irradiated targets. // *Radiochim. Acta*, 2021, v. 109, p. 99-107 (WoS, Scopus, Q3, импакт-фактор 2.1), 40%.

22. **S. Ermolaev**, A. Skasyrskaya, A. Vasiliev. A radionuclide generator of high-purity Bi-213 for instant labeling. // *Pharmaceutics*, 2021, v. 13, p. 914 (WoS, Scopus, Q1, импакт-фактор 7.2), 77%.

23. Б.Л. Жуйков, **С.В. Ермолаев**. Радиоизотопные исследования и разработки на линейном ускорителе ИЯИ РАН. // *УФН*, 2021, т. 191, с. 1387-1400 (B.L. Zhuikov, **S.V. Ermolaev**. Radioisotope research and development at the Linear Accelerator of the Institute for Nuclear Research of RAS. // *Physics-USpekhi*, 2021, v. 64, p. 1311-1322) (WoS, Scopus, Q2, импакт-фактор 2.9), 35%.

24. Е.В. Лапшина, **С.В. Ермолаев**, Б.Л. Жуйков. Выделение  $^{117\text{m}}\text{Sn}$  из облученного протонами интерметаллида титан-сурьма. // *Радиохимия*, 2021, т. 63, с. 559-571 (E.V. Lapshina, **S.V. Ermolaev**, B.L. Zhuikov. Isolation of  $^{117\text{m}}\text{Sn}$  from Proton-irradiated Titanium-Antimony Intermetallic Compound. // *Radiochemistry*, 2021, v. 63, p. 788-800) (RSCI, Scopus, Q3, импакт-фактор 0.54), 80%.

25. A.N. Vasiliev, **S.V. Ermolaev**, E.V. Lapshina, M.G. Bravo, A.K. Skasyrskaya. Production of  $^{230}\text{Pa}$  as a Source for Medical Radionuclides  $^{230}\text{U}$  and  $^{226}\text{Th}$  Including Isolation by Liquid-liquid Extraction. *Solv. Extr. Ion Exch.*, 2022, v. 40, p. 735-755 (WoS, Scopus, Q2, импакт-фактор 2.8), 50%.

На диссертацию и автореферат поступило 12 дополнительных отзывов, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что Колотов Владимир Пантелеймонович является специалистом мирового уровня в области анализа особо чистых

веществ, гамма-спектрометрии и нейтронно-активационного анализа, Кулюхин Сергей Алексеевич –специалистом мирового уровня в области разделения лантаноидов и актиноидов, Скуридин Виктор Сергеевич – специалистом мирового уровня в области технологий получения короткоживущих изотопов и радиофармпрепаратов на их основе.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, прежде всего в развитие методов получения радионуклидов для применения в диагностике и терапии различных заболеваний: 1) впервые экспериментально определены сечения образования  $^{113,117m}\text{Sn}$  и радионуклидов  $\text{Te}$ ,  $\text{Sb}$  и  $\text{In}$  в реакциях протонов средних энергий с ядрами сурьмы, а также сечения образования  $^{225,227}\text{Ac}$  и более 80 радионуклидов в реакциях с ядрами тория; 2) разработаны методы химического выделения  $^{117m}\text{Sn}$  в состоянии без носителя из массивных облученных мишеней сурьмы и  $\text{TiSb}$ , а также  $^{225}\text{Ac}$ ,  $^{223}\text{Ra}$  и  $^{230}\text{Pa}/^{230}\text{U}$  из ториевой мишени, обеспечивающие высокий химический выход и чистоту продуктов, требуемую для использования в медицине; 3) установлены закономерности кинетики радиоактивных превращений в условиях хроматографического разделения, изучена сорбция  $^{221}\text{Fr}$  сорбентами различных типов путем непрерывного отделения от адсорбированного  $^{225}\text{Ac}$ ; 4) теоретически обоснованы и экспериментально испытаны циркулирующие схемы прямого и обратного  $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$  генераторов.

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) Экспериментально определенные сечения образования  $^{117m}\text{Sn}$ ,  $^{118,119m,119g,121m,121g,123m}\text{Te}$ ,  $^{120m,122}\text{Sb}$ ,  $^{113}\text{Sn}$  и  $^{111,114m}\text{In}$  в реакциях протонов с энергией до 145 МэВ с сурьмой природного изотопного состава и со стабильными изотопами сурьмы  $^{121}\text{Sb}$  и  $^{123}\text{Sb}$  представляют ядерно-физические данные, необходимые для наработки больших количеств  $^{117m}\text{Sn}$  и полезные для изучения механизма ядерных реакций и образования радионуклидов в метастабильном состоянии. 2) Метод радиохимического выделения  $^{117m}\text{Sn}$  из облученных мишеней, содержащих металлическую сурьму или  $\text{TiSb}$ , реализованный в горячих камерах, позволяет получать продукт высокой удельной активности, пригодный для клинических применений. 3) Определенные в работе сечения образования радионуклидов в тории, облученном протонами средних энергий, предоставляют подробный экспериментальный материал для количественного описания процессов скалывания и деления и необходимы для разработки способа получения больших количеств  $^{225}\text{Ac}$ . 4) Метод радиохимического выделения  $^{225}\text{Ac}$  из облученной ториевой мишени, реализованный в горячих камерах, обеспечивает качество продукта, необходимое для медицинского применения, и интегрирование в процедуру получения целевого  $^{225}\text{Ac}$  разработанных методов выделения полезных побочных продуктов  $^{223}\text{Ra}$  и  $^{230}\text{Pa}/^{230}\text{U}$ . 5) Изученные в работе закономерности кинетики цепочки радиоактивных превращений в условиях хроматографического разделения служат основой для новых подходов к генераторам короткоживущих радионуклидов. 6)

Разработанные циркулирующие методы генераторного получения  $^{213}\text{Bi}$  из  $^{225}\text{Ac}$  обеспечивают глубокую очистку от  $^{225,227}\text{Ac}$  и продуктов распада  $^{227}\text{Ac}$  и эффективное извлечение  $^{213}\text{Bi}$  для дальнейшего синтеза меченых препаратов.

На заседании 14 декабря 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Ермолаеву Станиславу Викторовичу ученую степень доктора химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.4.13 – «Радиохимия», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 19, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета,  
доктор хим. наук, академик РАН

Калмыков С.Н.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
канд. хим. наук

Северин А.В.

« 14 » декабря 2022 г.