

Заключение диссертационного совета МГУ.014.6
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук
Решение диссертационного совета от «18» декабря 2024 г. № 142

О присуждении Алиеву Рамизу Автандиловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора химических наук.

Диссертация «Новые методы получения медицинских радиоизотопов редкоземельных элементов» по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки) принята к защите диссертационным советом 25 сентября 2024 г., протокол № 126.

Соискатель Р.А. Алиев, 1973 года рождения. Диссертация на соискание учёной степени кандидата химических наук на тему «Определение свинца-210 и ряда природных и техногенных радионуклидов в морских донных осадках», специальность 02.00.14. – Радиохимия, защищена 26 апреля 2000 года на заседании диссертационного совета Д.501.001.42 Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Алиев Р.А. работает в должности начальника лаборатории радионуклидов и радиофармпрепаратов Курчатовского комплекса нано-, био, инфо-, когнитивных и социогуманитарных (НБИКС) наук и природоподобных технологий Национального Исследовательского Центра «Курчатовский институт».

Диссертационная работа выполнена в лаборатории радионуклидов и радиофармпрепаратов Курчатовского комплекса нано-, био, инфо-, когнитивных и социогуманитарных (НБИКС) наук и природоподобных технологий Национального Исследовательского Центра «Курчатовский институт».

Официальные оппоненты

Баулин Владимир Евгеньевич, доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, Институт физиологически активных веществ, заведующий лабораторией фосфорорганических соединений, главный научный сотрудник;

Станжевский Андрей Алексеевич, доктор медицинских наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заместитель директора по научной работе;

Эпштейн Наталья Борисовна, доктор фармацевтических наук, доцент, Фармацевтический центр практического обучения и компетенций Обнинского института атомной энергетики — филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», начальник центра -

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался тем, что Баулин В.Е. является видным специалистом в области разработки новых экстрагентов и сорбционных материалов, в том числе фосфорорганических сорбентов для разделения редкоземельных элементов. Станжевский А.А. является видным специалистом в области разработки и внедрения радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП), начиная с этапа производства радионуклидов и до клинического применения препарата. Эпштейн Н.Б. является видным специалистом в области производства и контроля качества радионуклидов и РФЛП. Публикации официальных оппонентов близки по своей направленности к теме рассматриваемой диссертационной работы.

Соискатель имеет 72 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 26 печатных работ, из них 21 статья, опубликованная в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, и входящих в ядро РИНЦ, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки).

1. Moiseeva A.N. Co-production of ^{155}Tb and ^{152}Tb irradiating $^{155}\text{Gd}/^{151}\text{Eu}$ tandem target with medium energy α -particle beam / A.N. Moiseeva, K.A. Makoveeva, E.B. Furkina, E.V. Artyushova, M.N. German, I.A. Khomenko, A.L. Konevega, E.S. Kormazeva, V.I. Novikov, N.V. Aksenov, N.S. Gustova, **R.A. Aliev** // Nuclear Medicine and Biology. – 2023. – V. 126–127 – P. 108389. (WoS, JIF 3,6; 1 п.л./50%)
2. Moiseeva A.N. New method for production of ^{155}Tb via ^{155}Dy by irradiation of ^{nat}Gd by medium energy alpha particles / A.N. Moiseeva, **R.A. Aliev**, E.B. Furkina, V.I. Novikov, V.N. Unezhev // Nuclear Medicine and Biology. – 2022. – V. 106–107. – P. 52–61. (WoS, JIF 3,6; 1 п.л./50%)
3. Moiseeva A.N. Cross section measurements of $^{151}\text{Eu}(^3\text{He},5n)$ reaction: new opportunities for medical alpha emitter ^{149}Tb production / A.N. Moiseeva, **R.A. Aliev**, V.N. Unezhev, V.A. Zagryadskiy, S.T. Latushkin, N.V. Aksenov, N.S. Gustova, M.G. Voronuk, G.Y. Starodub, A.A. Ogloblin // Scientific Reports. – 2020. – V. 10. – Article number 508. – P. 1-10. (WoS, JIF 3,8; 0,5 п.л./50%)
4. Kazakov A.G. Separation of radioisotopes of terbium from a europium target irradiated by 27 MeV α -particles / A.G. Kazakov, **R.A. Aliev**, A.Y. Bodrov, A.B. Priselkova, S.N. Kalmykov // Radiochimica Acta. – 2018. – V. 106, №2. – P. 135–140. (WoS, JIF 1,4; 0,7 п.л./50%)
5. **Aliev R.A.** Production of medical radioisotope ^{167}Tm by photonuclear reactions on natural ytterbium / **R.A. Aliev**, A.B. Priselkova, V.V. Khankin, V.G. Petrov, S.S. Belyshev, A.A. Kuznetsov // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2021. – V. 508. – P. 19–23. (WoS, JIF 1,4; 0,6 п.л./75%)
6. **Aliev R.A.** Photonuclear production of medically relevant radionuclide ^{47}Sc / **R.A. Aliev**, S.S. Belyshev, E.B. Furkina, V.V. Khankin, A.A. Kuznetsov, L.Z. Dzhilavyan, A.B. Priselkova, B.S. Ishkhanov // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2020. – V. 326, № 2 – P. 1099–1106. (WoS, JIF 1,5; 0,7 п.л./60%)
7. **Алиев Р.А.** Использование ускоренных ионов гелия для производства радионуклидов: нужны ли нам пучки альфа-частиц? / **Р.А. Алиев**, А.Н. Моисеева, К.А. Сергунова, Е.С. Кормазева // Российские нанотехнологии. – 2023. – Т. 18, № 4. – С. 520-527. (РИНЦ ИФ 0,628, 1,1 п.л./70%) (**Aliev R.A.** On the Use of Accelerated Helium Ions for Radionuclide Production: are Beams of Alpha Particles Needed? / **R.A. Aliev**, A.N. Moiseeva, K.A. Sergunova, E.S. Kormazeva // Nanobiotechnology Reports. – 2023. – V. 18, № 4 – P. 598–605. (WoS, JIF 0,5; 1,1 п.л./70%))
8. Моисеева А.Н. Получение короткого аналога соматостатина, меченного ^{155}Tb / А.Н. Моисеева, **Р.А. Алиев**, В.Н. Осипов, Д.С. Хачатрян // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2023. – Т. 72, № 9. – С. 2249-2253. (РИНЦ ИФ 1,824, 0,8 п.л./30%) (Moiseeva A.N. Preparation of ^{155}Tb -labeled short somatostatin analog / A.N. Moiseeva, **R.A. Aliev**, V.N. Osipov, D.S. Khachatryan // Russian Chemical Bulletin. – 2023. – V. 72, № 9 – P. 2249-2254. (WoS, JIF 1,7; 0,8 п.л./30%))
9. Fedotova A.O. Photonuclear production of medical radioisotopes ^{161}Tb and ^{155}Tb / A.O. Fedotova, **R.A. Aliev**, B.V. Egorova, E.S. Kormazeva, A.L. Konevega, S.S. Belyshev,

- V.V. Khankin, A.A. Kuznetsov, S.N. Kalmykov // *Applied Radiation and Isotopes*. – 2023. – V. 198, № 8 – P. 110840. (WoS, JIF 1,6; 0,8 п.л./50%)
10. Fedotova A.O. [^{161}Tb]Tb-Thz-Phe-D-Trp-Lys-Thr-DOTA: A potential radiopharmaceutical for the treatment of neuroendocrine tumors / A.O. Fedotova, B.V. Egorova, G.Yu. Aleshin, L.S. Zamurueva, **R.A. Aliev**, G.A. Posypanova, A.B. Priselkova, A.V. Kolotaev, D.S. Khachatryan, V.N. Osipov, S.N. Kalmykov // *Mendelev Communications*. – 2023. – V. 33, № 4 – P. 469-471. (WoS, JIF 1,8; 0,8 п.л./30%)
11. **Алиев Р.А.** Получение короткоживущего терапевтического α -эмиттера ^{149}Tb облучением европия α -частицами энергией 63 МэВ. / **Р.А. Алиев**, В.А. Загрядский, С.Т. Латушкин, А.Н. Моисеева, В.И. Новиков, В.Н. Унежев, А.Г. Казаков // *Атомная энергия*. – 2020. – Т. 129, № 6. – С. 326-328. (РИНЦ ИФ 0,421, 0,2 п.л./60%) (**Aliev R.A.** Production of a Short-Lived Therapeutic α -Emitter ^{149}Tb by Irradiation of Europium by 63 MeV α -Particles / **R.A. Aliev**, V.A. Zagryadskiy, S.T. Latushkin, A.N. Moiseeva, V.I. Novikov, V.N. Unezhev, A.G. Kazakov // *Atomic Energy*. – 2021. – V. 129, № 6 – P. 337–340. (WoS, JIF 0,4; 0,2 п.л./60%)
12. Moiseeva A.N. Alpha particle induced reactions on ^{151}Eu : Possibility of production of ^{152}Tb radioisotope for PET imaging / A.N. Moiseeva, **R.A. Aliev**, V.N. Unezhev, N.S. Gustova, A.S. Madumarov, N.V. Aksenov, V.A. Zagryadskiy // *Nuclear Instruments Methods in Physics Research Section B – Beam Interaction with Materials and Atoms*. – 2021. – V. 497. – P. 59–64. (WoS, JIF 1,4; 0,7 п.л./50%)
13. **Aliev R.A.** Separation of ^{167}Tm , ^{165}Er and ^{169}Yb from erbium targets irradiated by 60 MeV alpha particles / **R.A. Aliev**, I.A. Khomenko, E.S. Kormazeva // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2021. – V. 329, № 2 – P. 983–989. (WoS, JIF 1,5; 0,8 п.л./70%)
14. Kazakov A.G. Production of ^{177}Lu by hafnium irradiation using 55-MeV bremsstrahlung photons / A.G. Kazakov, S.S. Belyshev, T.Y. Ekatoeva, V.V. Khankin, A.A. Kuznetsov, **R.A. Aliev** // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2018. – V. 317, № 3 – P. 1469–1476. (WoS, JIF 1,5; 0,7 п.л./50%)
15. Соболев А.С. Радионуклиды, испускающие частицы с коротким пробегом, и модульные нанотранспортеры для их доставки в раковые клетки-мишени. / А.С. Соболев, **Р.А. Алиев**, С.Н. Калмыков // *Успехи химии*. – 2016. – Т. 85, № 9. – С. 901-1032. (РИНЦ ИФ 5,825, 3 п.л./40%) (Sobolev A.S. Radionuclides emitting short-range particles and modular nanotransporters for their delivery to target cancer cells / A.S. Sobolev, **R.A. Aliev**, S.N. Kalmykov // *Russian Chemical Review*. – 2016. – V. 85, № 9 - P. 1011–1032. (WoS, JIF 7; 3 п.л./40%))
16. Krasikova R.N. The next generation of positron emission tomography radiopharmaceuticals labeled with non-conventional radionuclides / R.N. Krasikova, **R.A. Aliev**, S.N. Kalmykov // *Mendelev Communications*. – 2016. - V. 26, № 2 – P. 85–94. (WoS, JIF 1,8; 2 п.л./40%)
17. Ostapenko V.S. Extraction chromatographic behavior of actinium and REE on DGA, Ln and TRU resins in nitric acid solutions / V.S. Ostapenko, A.N. Vasiliev, E.V. Lapshina, S.V. Ermolaev, **R.A. Aliev**, Y. Totstkiy, B.L. Zhuikov, S.N. Kalmykov // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2015. – V. 306, № 3 – P. 707–711. (WoS, JIF 1,5; 0,7 п.л./30%)
18. **Aliev R.A.** Isolation of Medicine-Applicable Actinium-225 from Thorium Targets Irradiated by Medium-Energy Protons / **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 // *Solvent Extraction and Ion Exchange*. – 2014. – V. 32, № 5 – P. 468–477. (WoS, JIF 1,8; 0,7 п.л./50%)
19. Ermolaev S.V. Production of actinium, thorium and radium isotopes from natural thorium irradiated with protons up to 141 MeV / S.V. Ermolaev, B.L. Zhuikov, V.M. Kokhanyuk, V.L. Matushko, S.N. Kalmykov, **R.A. Aliev**, I.G. Tananaev, B.F. Myasoedov // *Radiochimica Acta*. – 2012. – V. 100, № 4 – P. 223–229. (WoS, JIF 1,4; 0,8 п.л./30%)
20. Жуйков Б.Л. Получение актиния-225 и радия 223 при облучении тория ускоренными протонами / Б.Л. Жуйков, С.Н. Калмыков, С.В. Ермолаев, **Р.А. Алиев**, В.М. Коханюк, В.Л. Матушко, И.Г. Тананаев, Б.Ф. Мясоедов // *Радиохимия*. – 2011. – Т. 53, № 1. – С. 66-72. (РИНЦ ИФ 0,739, 0,8 п.л./20%) (Zhuikov B.L. Production of ^{225}Ac and ^{223}Ra by irradiation of Th with accelerated protons / B.L. Zhuikov, S.N. Kalmykov, S.V. Ermolaev, **R.A. Aliev**, V.M. Kokhanyuk, V.L. Matushko, I.G. Tananaev, B.F. Myasoedov // *Radiochemistry*. – 2011. – V. 53, № 1 – P. 73–80. (WoS, JIF 0,9; 0,8 п.л./20%)
21. Ковальчук М.В. Распределенный центр ядерной медицины НИЦ “Курчатовский институт”: история, современное состояние и перспективы развития / М.В. Ковальчук, О.С. Нарайкин, К.А. Сергунова, Ю.А. Дьякова, А.Н. Черных, **Р.А. Алиев**, В.И. Максимов, С.В. Иванов,

Н.Е. Тюрин, А.П. Солдатов, Г.И. Кленов, В.С. Хорошков // Кристаллография. – 2022. – Т. 67, № 5. – С. 801-817. (РИНЦ ИФ 0,767, 1 п.л./10%) (Kovalchuk M.V. Distributed Center for Nuclear Medicine of the NRC “Kurchatov Institute”: Historical Background, Current Status, and Evolution Outlook / M.V. Kovalchuk, O.S. Naraikin, K.A. Sergunova, Y.A. Dyakova, A.N. Chernykh, **R.A. Aliyev**, V.I. Maksimov, S.V. Ivanov, N.E. Tyurin, A.P. Soldatov, G.I. Klenov, V.S. Khoroshkov // Crystallography Reports. – 2022. – V. 67, № 5 – P. 745-759. (WoS, JIF 0,6; 1 п.л./10%))

На автореферат поступило 10 дополнительных отзывов, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны новые научно обоснованные подходы, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, прежде всего в расширение круга радионуклидов, предназначенных для диагностики и терапии социально значимых заболеваний, и создание научных основ для производства новых перспективных радионуклидов, в частности 1) впервые экспериментально измерены сечения образования продуктов реакций $^{151}\text{Eu}(^3\text{He},x)$, $^{151}\text{Eu}(\alpha,x)$, $^{\text{nat}}\text{Gd}(\alpha,x)$, $^{155}\text{Gd}(\alpha,x)$, которые являются необходимой основой для производства медицинских радиоизотопов тербия ^{149}Tb , ^{152}Tb , ^{155}Tb ; 2) предложены новые циклотронные методы получения ^{149}Tb , ^{152}Tb , ^{155}Tb ; 3) измерены выходы ряда фотоядерных реакций и продемонстрирована практическая возможность фотоядерного получения ^{47}Sc , ^{155}Tb , ^{161}Tb , ^{167}Tm , ^{177}Lu ; 4) разработана методика реакторного получения ^{161}Tb и впервые в России организовано его регулярное получение.

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 измеренные сечения образования продуктов реакций $^{151}\text{Eu}(^3\text{He},x)$, $^{151}\text{Eu}(\alpha,x)$, $^{\text{nat}}\text{Gd}(\alpha,x)$, $^{155}\text{Gd}(\alpha,x)$, являются необходимыми ядерными данными для оптимизации условий наработки медицинских радиоизотопов тербия ^{149}Tb , ^{152}Tb , ^{155}Tb . 2). Метод получения ^{149}Tb , основанный на реакции $^{151}\text{Eu}(^3\text{He},5n)$, и последующем быстром двухстадийном экстракционно-хроматографическом выделении из мишени, обеспечивает получение активности, достаточной для медицинского применения. 3). Метод получения ^{152}Tb по реакции $^{151}\text{Eu}(\alpha,3n)$ позволяет получить ПЭТ-радионуклид ^{152}Tb , диагностическую пару к ^{177}Lu и ^{161}Tb , в достаточном для клинического использования количестве. 4). Метод получения ^{155}Tb через промежуточное экстракционно-хроматографическое выделение ^{155}Dy по схеме $^{\text{nat}}\text{Gd}(\alpha,x)^{155}\text{Dy} \rightarrow ^{155}\text{Tb}$ или $^{155}\text{Gd}(\alpha,4n)^{155}\text{Dy} \rightarrow ^{155}\text{Tb}$ позволяет получить продукт с высокой радионуклидной чистотой и в количестве достаточном для медицинского применения. 5). Различие в положении максимумов функций возбуждения реакций $^{151}\text{Eu}(\alpha,3n)$ и $^{155}\text{Gd}(\alpha,4n)$ позволяет одновременно производить ^{152}Tb и ^{155}Tb на ускорителе альфа-частиц, используя тандемную мишень $^{151}\text{Eu}/^{155}\text{Gd}$. 6). Измеренные выходы фотоядерных реакций свидетельствуют о пригодности фотоядерного метода для получения медицинских радиоизотопов РЗЭ в количестве, достаточном для медицинского применения (^{47}Sc) либо доклинических

исследований ($^{155,161}\text{Tb}$, ^{167}Tm , ^{177}Lu).7).Метод производства ^{161}Tb облучением ^{160}Gd в реакторе с последующим экстракционно-хроматографическим выделением позволяет получить целевой продукт высокой чистоты в достаточном для медицинского применения количестве.

В работах, лежащих в основе диссертации, личный вклад соискателя был определяющим. Он заключался в постановке целей и задач исследования, выборе путей их решения. Соискатель принимал непосредственное участие в экспериментах и обработке их результатов, анализе литературы, подготовке к публикации материалов исследований, часть работ была выполнена под непосредственным руководством соискателя. Фотоядерные эксперименты выполнены в тесном сотрудничестве с сотрудниками НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова.

На заседании 18 декабря 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Алиеву Р.А. ученую степень доктора химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.4.13 Радиохимия (химические науки), участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 22, 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. /

18.12.2024