

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

РХТУ.2.6.04 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (РХТУ им. Д.И. Менделеева) по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от _____ года № _____

О присуждении ученой степени кандидата химических наук Баймухановой Аягоз Елтаевне, представившей диссертационную работу на тему: «Подбор пар радионуклидов III – IV валентных элементов для создания генераторов нового типа» по научной специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Диссертация принята к защите «26» января 2024 года, протокол № 1, диссертационным советом РХТУ.2.6.04, созданным на базе РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 14 человек приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от «03» февраля 2022 года № 170Д с изменениями, внесенными приказом и.о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от «25» декабря 2023 года № 418А.

Соискатель Баймуханова Аягоз Елтаевна, «11» августа 1988 года рождения, с «01» сентября 2015 года по «16» сентября 2021 года обучалась в аспирантуре на кафедре химии, новых технологий и материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Университет «Дубна». С «27» сентября 2021 года по «31» августа 2022 года обучалась в аспирантуре на кафедре химии высоких энергий и радиозэкологии РХТУ им. Д.И. Менделеева. С «01» октября 2023 года по настоящее время является соискателем на той же кафедре.

Соискатель работает научным сотрудником в Научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова Объединенного института ядерных исследований.

Диссертация выполнена в Научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова Объединенного института ядерных исследований и на кафедре химии высоких энергий и радиозэкологии РХТУ им. Д. И. Менделеева.

Тема диссертационной работы А. Е. Баймухановой, научный руководитель – кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой химии высоких энергий и радиозэкологии РХТУ им. Д.И. Менделеева Магомедбеков Эльдар Парпачевич и научный консультант – кандидат химических наук, начальник сектора Научно-экспериментальном отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова Объединенного института ядерных исследований Философов Дмитрий Владимирович утверждены на заседании Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева «04» октября 2023 года, протокол № 5.

Официальные оппоненты:

Милютин Виталий Витальевич – доктор химических наук, заведующий лабораторией хроматографии радиоактивных элементов федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина

Российской академии наук;

Винокуров Сергей Евгеньевич – доктор химических наук, главный научный сотрудник лаборатории радиохимии федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук.

Ведущая организация - Акционерное общество «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина» (194021 Санкт-Петербург, 2-й Муринский проезд, д. 28).

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 14 научных работах (объем 44 с.), опубликованных соискателем, в том числе в 3 публикациях в рецензируемых изданиях, индексируемых в международных базах данных.

Все работы опубликованы в соавторстве. Личный вклад автора заключается в поиске и анализе литературы по теме исследования; в планировании программы экспериментов, постановке и проведении экспериментов; в разработке и реализации методик выделения радионуклидов из мишеней; в определении коэффициентов распределения элементов в исследуемых средах; в разработке, тестировании и определении качественных параметров радионуклидных генераторов; в обсуждении полученных результатов; в подготовке публикаций материалов в научных изданиях и докладах на конференциях.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Baimukhanova A., Engudar G., Marinov G., Kurakina E., Dadakhanov J., Karaivanov D., Yang H., Ramogida C.F., Schaffer P., Magomedbekov E.P., Filosofov D., Radchenko V. An Alternative Radiochemical Separation Strategy for Isolation of Ac and Ra Isotopes From High Energy Proton Irradiated Thorium Targets for Further Application in Targeted Alpha Therapy (TAT) // *Nuclear Medicine and Biology*. 2022. V. 112-113. P. 35-43 (*Scopus, Web of Science*).

В данной статье приведены результаты исследования сорбции актиния, радия и тория на катионите в среде трихлоруксусной кислоты. Баймуханова А.Е. является основным автором работы, ею была разработана методика выделения изотопов актиния и радия из облученных протонами мишеней тория с высоким радиохимическим выходом.

2. Dadakhanov J., Marinova A., Baimukhanova A., Karaivanov D., Temerbulatova N., Kozempel J., Roesch F., Filosofov D. Sorption of Various Elements on Ion-Exchange Resins in Acetic Media // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2021. V. 327. Is. 9. P.1191-1199 (*Scopus, Web of Science*).

В статье основное внимание уделено определению коэффициентов распределения ряда элементов (с валентностью от II до VI) на ионообменных смолах в среде уксусной кислоты и смеси уксусная кислота – ацетат аммония.

3. Baimukhanova A., Radchenko V., Kozempel J., Marinova A., Brown V., Karandashev V., Karaivanov D., Schaffer P., Filosofov D. Utilization of (p, 4n) Reaction for ^{86}Zr Production with Medium Energy Protons and Development of a $^{86}\text{Zr} \rightarrow ^{86}\text{Y}$ Radionuclide Generator // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2018. V. 316. P. 191-199 (*Scopus, Web of Science*).

Статья посвящена разработке методики получения ^{86}Y посредством радионуклидного генератора $^{86}\text{Zr} \rightarrow ^{86}\text{Y}$. В статье приведены данные эксперимента по

подбору оптимальных условий производства материнского ^{86}Zr , а также условий эффективного разделения циркония и иттрия.

Результаты диссертационной работы также апробированы на 8 всероссийских и международных научных конференциях, где А.Е. Баймуханова участвовала в подготовке материалов конференций и выступала в качестве докладчика.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв на диссертацию официального оппонента, доктора химических наук (02.00.14 (1.4.13) Радиохимия), заведующего лабораторией хроматографии радиоактивных элементов федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук Милютин Виталия Витальевича. Отзыв положительный. Имеются замечания и вопросы:

1. п.3.3, с.69, «Анионообменная колонка применялась в качестве фильтра для очистки возможных коллоидных и нерастворенных частиц мишени». В чем смысл использования анионита в качестве механического фильтра. Можно было использовать более дешевые и эффективные материалы, например, активированные угли.
2. п.4.2, с.77. «Часть облученной мишени галлия (0.4 г) была растворена в 3 мл 10 М HNO_3 . Растворение проводилось при нагреве в течении 2 ч, порядка $\sim 30\%$ галлия осталось нерастворенным». Причины неполного растворения галлия? Такие потери материала мишени предусмотрены в технологии переработки мишени?
3. п.4.2, с.84. «Использование схемы с реверсом (генератор III) предполагало уменьшение проскока ^{68}Ge , однако проскок ^{68}Ge возрос и во всем периоде был менее $< 0.4\%$. Также в выходе ^{68}Ga не наблюдалось изменений, он находился в области $75 - 80\%$ ». В чем причина отсутствия повышения эффективности разделения с использованием реверсной схемы?
4. п.5.1, с.89. «Рабочими концентрациями раствора были выбраны 0.1 М CH_3COOH / 0.5 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, где КД для Sr(II) равен 32 и для Y(III) КД < 1 ». Несоответствия с рис. 35, с.87. По рис.35. (КД для Sr(II) ~ 200 , для Y(III) КД ~ 10).
5. п.6.2, с.92. «Для методики выделения была выбрана рабочая концентрация 5 М CCl_3COOH , где КД Th(IV) ~ 100 , Ac(III) 2800 и Ra(II) 540». Почему не 4 М CCl_3COOH , при котором КД Th(IV) еще меньше ~ 30 (рис.39).
6. п.6.2, с.97. «Анализ пластинок при помощи МС–ИСП показал чистоту тория 98.5% с содержанием лантаноидов 0.3%, кальция и индия 0.1%, а также 1% других примесей». Почему использовали такой грязный металл? Это вызывает дальнейшую сложную процедуру очистки от изотопов примесных металлов.

В заключении указано, что диссертация Баймухановой А. Е. представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технологические решения задачи по разработке методов получения радионуклидов из радионуклидных генераторов и облученных мишеней, а также способов разделения радионуклидов и выделения микроколичества целевых радионуклидов из макроколичества вещества как основы создания новых эффективных технологий, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к диссертациям на

соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Баймуханова Аягоз Елтаевна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата химических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

2. Отзыв на диссертацию официального оппонента, доктора химических наук (02.00.14 (1.4.13) Радиохимия), главного научного сотрудника лаборатории радиохимии федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук Винокурова Сергея Евгеньевича. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Данные в разделе 2.1 было целесообразно разместить в Главе 1 непосредственно перед выводами к литобзору, так как обоснование выбора пар радионуклидов для создания генераторов проведено теоретически на основе известных литературных данных. Эти данные отвечают поставленной задаче №1 диссертационной работы.
2. Названия некоторых разделов не отражают решаемые задачи и используемые подходы и методы. Например, раздел 3.2 (Облучение мишеней природного иттрия) было уместнее озаглавить как «Выбор условий получения ^{86}Zr при облучении мишеней природного иттрия протонами с энергией 70 МэВ».
3. В разделах 3.4 и 6.3 приведено описание схемы радионуклидного генератора $^{86}\text{Zr} \rightarrow ^{86}\text{Y}$ и схемы выделения изотопов актиния и радия из облученных мишеней природного тория соответственно. При этом следовало более подробно описать результаты по выбору условий реализации разработанных схем (среды, сорбенты, потоки и прочее).
4. В работе не затрагиваются вопросы доступности коммерческих сорбентов, используемых в разработанных методиках, а также их радиационной устойчивости.
5. Следовало более подробно рассмотреть преимущества разработанной методики получения радиопрепаратов актиния и радия из облученных ториевых пластинок протонами средних энергий в сравнении с другими известными способами (например, в работе [153] Алиев Р.А. и др., Радиохимия. 2014).
6. К автореферату: Ограниченный объем автореферата (16 страниц) представляется неоправданным. Отдельные рисунки оказались плохочитаемыми (например, рисунок 11).

В заключении указано, что диссертация Баймухановой А. Е. представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технологические решения задачи по разработке методов получения радионуклидов из радионуклидных генераторов и облученных мишеней, а также способов разделения радионуклидов и выделения микроколичества целевых радионуклидов из макроколичества вещества как основы создания новых эффективных технологий, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Баймуханова Аягоз Елтаевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

3. Отзыв на диссертацию ведущей организации – Акционерного общества «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина». Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. Из текста работы не очень понятно, в чем заключается отличие предлагаемых автором методик от известных, и какие характеристики учитывались при сравнении и выборе лучшей методики?
2. Какое время требуется для выделения ^{86}Y с учетом того, что периоды полураспада в паре используемых в генераторе радионуклидов $^{86}\text{Zr} \rightarrow ^{86}\text{Y}$ очень близки?
3. Автором не указано, проводится ли контроль содержания органических соединений (продуктов разложения смолы) в конечном продукте, и какова, в этой связи, химическая чистота получаемого радионуклида?

В заключении указано, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены обоснованные технические решения по актуальной проблеме, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов и требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Баймуханова Аягоз Елтаевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.8 Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов. Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании научно-технического совета Акционерного общества «Радиевый институт имени В. Г. Хлопина» (протокол от «22» февраля 2024 года № 78). Отзыв подписан Ученым секретарем, доктором химических наук, старшим научным сотрудником Смирновым Игорем Валентиновичем, утвержден и.о. генерального директора Ваниным Алексеем Валерьевичем.

4. **Отзыв на автореферат** доктора химических наук, ведущего научного сотрудника отдела Ученого секретаря Акционерного общества «Радиевый институт имени В. Г. Хлопина» **Сидоренко Георгия Васильевича**. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. В автореферате не указано, с какими уровнями активности проводились опыты с использованием органических ионообменных смол и экстракционно-хроматографических систем. Не обсуждается вопрос и о возможном попадании продуктов радиационной деградации органических материалов в продукт. Радиационная деградация может быть незначимой при работе с индикаторными уровнями активности, но может стать серьезной проблемой при переходе к реальным уровням. Конечно, разработка любого радиохимического процесса должна начинаться с модельных опытов на индикаторном уровне, и представленная работа, по-видимому, относится к этому этапу. Поэтому данное замечание следует рассматривать как рекомендацию в плане дальнейших исследований и возможного масштабирования процесса.
2. В связи с предыдущим замечанием отметим неточную формулировку на с. 10: «Использование анионообменной смолы позволит в дальнейшем масштабировать генератор по активности материнского радионуклида, так как такие смолы отличаются

высокой ёмкостью, а также высокой радиоустойчивостью по сравнению с неорганическими сорбентами». Как правило, именно неорганические сорбенты обладают более высокой радиационной устойчивостью.

3. Еще одну неточную формулировку можно отметить во вступительной части автореферата (с. 1): «Новые эффективные методики получения практически любого подходящего трехвалентного радионуклида сразу же находят отклик в качестве доступного РФП на его основе». На самом деле путь от разработки методики получения радионуклида до коммерциализации радиофармпрепаратов на его основе занимает многие годы.

5. **Отзыв на автореферат** кандидата химических наук, старшего научного сотрудника лаборатории методов исследования и анализа веществ и материалов федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук **Захарченко Елены Александровны**. Отзыв положительный. Имеются замечания:

1. В выводах автор пишет «разработана методика получения ^{86}Zr по реакции $(p,4n)$ облучением иттрия протонами в диапазоне энергий 70-45 МэВ». Однако из текста автореферата неясно, какими были исходные данные для проведения расчета, какие конкретно параметры облучения были выбраны. Далее был проведен ряд облучений фольг природного иттрия протонами с энергией 70 МэВ. Это наиболее оптимальная энергия? Именно такая энергия обеспечивает получение значимых количеств ^{86}Zr с минимальными примесями остальных радиоизотопов?
2. В тексте автореферата не всегда сформулированы отличия разработанных автором методик получения радиопрепаратов от уже существующих.
3. В работе представлен большой экспериментальный материал, однако из текста автореферата не всегда ясно, когда условия экспериментов выбраны самим автором, а где были использованы уже известные наработки и литературные данные.

6. **Отзыв на автореферат** кандидата технических наук, научного консультанта акционерного общества «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» **Нерозина Николая Александровича**. Отзыв положительный. Замечаний не содержит.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью, которая подтверждена значительным количеством публикаций в области хроматографии, радиохимии и разделения радиоактивных элементов, производства изотопной продукции, в том числе радиофармпрепаратов, радионуклидных источников излучений, что позволяет им оценить научную и практическую значимость диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны технологические принципы извлечения трехвалентных радионуклидов из радионуклидных генераторов и облученных мишеней;

предложен новый радионуклидный генератор $^{86}\text{Zr} \rightarrow ^{86}\text{Y}$, а также генераторы с реверсным типом элюирования $^{68}\text{Ge} \rightarrow ^{68}\text{Ga}$ и $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$;

доказано, что использование ионообменных смол в среде карбоновых кислот дает возможность эффективного разделения и/или выделения двух-, трех-, четырехвалентных элементов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- результаты проведенных исследований сорбционного поведения II, III и IV валентных элементов с использованием твердых органических экстрагентов в среде карбоновых кислот возможно использовать при разделении элементов в соответствующих технологиях, а также для оценки их химических свойств.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработанные радионуклидные генераторы $^{68}\text{Ge} \rightarrow ^{68}\text{Ga}$, $^{86}\text{Zr} \rightarrow ^{86}\text{Y}$ и $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y}$ дают возможность получения медицинских радионуклидов ^{68}Ga , ^{86}Y и ^{90}Y .

- разработанная методика выделения ^{225}Ac из макроколичеств тория позволяет увеличить его наработку за счет использования массивных мишеней тория, а также попутно извлечь радиоизотопы радия.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть рекомендованы к изучению и внедрению в образовательных и научных организациях, а также на предприятиях, где ведутся исследования и разработки в области производства изотопной продукции.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность подтверждается исследованиями, которые проводились с применением актуальных и современных методов анализа. Экспериментальные исследования проводились с использованием поверенных и сертифицированных приборов, и лабораторных установок.

Выводы и заключение по работе сделаны на основании данных, полученных различными методами, не противоречат общепризнанным положениям и дополняют опубликованные данные других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач исследований, в проведении экспериментов, в обсуждении и обработке результатов и формулировании основных выводов, подготовке публикаций по выполненной работе, включая доклады на конференциях различного уровня.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация А.Е. Баймухановой представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной научной задачи по разработке методик извлечения и выделения медицински значимых трехвалентных радионуклидов из генераторов и из облученных мишеней, имеющей значение для развития радиохимии и технологии разделения радиоактивных элементов. По своему содержанию диссертация отвечает паспорту специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов по направлениям исследований «8. 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».

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»,

утвержденном приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от «14» сентября 2023 года №103ОД.

На заседании диссертационного совета РХТУ.2.6.04 «14» марта 2024 года принято решение о присуждении ученой степени кандидата химических наук Баймухановой Аягыз Елтаевне.

Присутствовало на заседании 12 членов диссертационного совета, в том числе докторов наук по научной специальности, отрасли науки рассматриваемой диссертации – 6.

При проведении голосования члены диссертационного совета по вопросу присуждения ученой степени проголосовали:

«за» – 12 (двенадцать),

«против» – нет.

недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Дата «14» марта 2024 года



И.Л. Растунова