

Соискатель: **БЕЖИН НИКОЛАЙ АЛЕКСЕЕВИЧ**

Тема диссертационной работы:

**«КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ, ВЫДЕЛЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В МОРСКОЙ ВОДЕ»**

Шифр и наименование научной специальности и отрасли науки, по которым выполнена диссертация:

**1.4.13 – РАДИОХИМИЯ; ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

На заседании **12 СЕНТЯБРЯ 2024 ГОДА ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ 24.1.195.01** на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского Российской академии наук **ПРИНЯЛ РЕШЕНИЕ: ПРИСУДИТЬ БЕЖИНУ НИКОЛАЮ АЛЕКСЕЕВИЧУ УЧЕНУЮ СТЕПЕНЬ ДОКТОРА ХИМИЧЕСКИХ НАУК ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ РАДИОХИМИЯ** за создание научных и практических основ концентрирования, выделения и определения техногенных ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), природных ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ) и космогенных ( $^7\text{Be}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ) радионуклидов в высокосолевых водных системах, включая морскую воду, с целью решения фундаментальных и научно-ориентированных задач в радиохимии и радиоэкологии.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **19** человек, включая **4** докторов наук по специальности 1.4.13 – радиохимия (отрасль наук – химические науки), участвовавших в заседании, из **25** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – **19**, против – **0**, недействительных бюллетеней – **0**.

(Протокол № 7 от 12.09.2024).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.195.01 (Д 002.109.01),**  
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и  
аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук  
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 12.09.2024 № 7

О присуждении **Бежину Николаю Алексеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора химических наук.

Диссертация **«Концентрирование, выделение и определение техногенных и природных радионуклидов в морской воде»** по специальности 1.4.13– радиохимия принята к защите 6 июня 2024 года (протокол заседания № 5) диссертационным советом 24.1.195.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН); 119991, ГСП-1, Москва, ул. Косыгина, 19; приказ о создании диссертационного совета № 75/нк от 15 февраля 2013 года.

Соискатель **Бежин Николай Алексеевич**, 4 января 1987 года рождения. В 2009 году окончил специалитет в Севастопольском национальном университете ядерной энергии и промышленности (Институт ядерно-химических технологий) с присвоением квалификации «инженер-радиохимик» по специальности «химические технологии редких рассеянных элементов и материалов на их основе», в 2010 г. магистратуру с присвоением квалификации «преподаватель высшей школы» по специальности «химические технологии редких рассеянных элементов и материалов на их основе». В 2014 году окончил заочную аспирантуру Севастопольского государственного университета. Диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук «Извлечение стронция из жидких радиоактивных отходов сорбентом, импрегнированным дибензо-18-краун-6» защитил в 2014 году в диссертационном совете, созданном на базе Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского (г. Кременчуг, Украина), по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность (соответствует специальности 03.02.08 – экология, технические науки, согласно приказу Минобрнауки РФ от 21 мая 2014 г. N 569 «Об установлении соответствия научных специальностей, указанных в документах об ученых степенях, полученных на территории Украины, научным специальностям, указанным в номенклатуре научных специальностей, утвержденной Минобрнауки РФ»). В 2018 г. приказом Минобрнауки РФ № 141/нк-2 от 5 сентября 2018 г. присвоено ученое звание доцента по специальности 05.17.02 – технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Бежин Н.А. работает заведующим научно-исследовательской лаборатории «Радиоэкология и морская радиохимия» в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Севастопольский

государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Химия и химические технологии» и в научно-исследовательской лаборатории «Радиоэкология и морская радиохимия» в Институте ядерной энергии и промышленности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор химических наук, член-корреспондент РАН Тананаев Иван Гундарович, Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН», заместитель генерального директора по научной работе, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И.В. Тананаева КНЦ РАН, директор.

Официальные оппоненты:

**Харитонов Олег Викторович**, доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук» (ИФХЭ РАН), лаборатория хроматографии радиоактивных элементов, главный научный сотрудник;

**Поляков Евгений Валентинович**, доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт химии твёрдого тела Уральского отделения Российской академии наук» (ИХТТ УрО РАН), лаборатория физико-химических методов анализа, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник;

**Смирнов Игорь Валентинович**, доктор химических наук, Акционерное общество «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина», отдел учёного секретаря, учёный секретарь

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва в своём **положительном отзыве**, заслушанном и одобренном на заседании кафедры радиохимии Химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (протокол № 158 от 22 августа 2024 г), подписанном кандидатом химических наук, старшим научным сотрудником кафедры радиохимии Химического факультета Гопиным Александром Викторовичем и доктором химических наук, заместителем декана Химического факультета Родиным Игорем Александровичем и утверждённом проректором Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» Андреем Анатольевичем Федяниным 26 августа 2024 года, указала, что тема диссертации, посвящённая разработке целого комплекса методологических решений для определения техногенных, природных и космогенных радионуклидов в морской воде, является актуальной и обоснованной. *Научная новизна работы* определяется как объектом исследования – Черное море, так и предметом –

беспрецедентным рядом выделяемых радионуклидов из объектов морской среды. Кроме того, были разработаны, опробованы и внедрены целый ряд сорбентов с высокой селективностью. Результатами огромного количества лабораторных и натуральных исследований стало моделирование процессов сорбции широкого круга радионуклидов из морской воды. Определены основные равновесные и кинетические параметры процессов сорбции, характеристики и механизмы сорбции, выбраны наиболее эффективные сорбенты для концентрирования радионуклидов в динамическом режиме. *Теоретическая значимость работы* заключается в получении автором новых сведений о процессах, происходящих при сорбции. Полученные экспериментальные результаты, такие как стехиометрия образующихся комплексов и величины их констант устойчивости, представляют собой значительный вклад в понимание физико-химических основ выделения и концентрирования радионуклидов. *Практическая значимость работы* определяется возможностью использования предложенных методов в морях России. Полученные экспериментальные данные представляют собой научную основу для экспрессного исследования как искусственных, так и естественных радионуклидов в морских акваториях. Синтезирован, опробован в лабораторных и натуральных условиях, и предложен беспрецедентный спектр сорбентов различной природы: полимерные полиакрилонитрильные волокна с диоксидом марганца и гидроксидом железа(III); неорганические матрицы, содержащие в качестве сорбционно-активных фаз диоксид марганца, гидроксид железа(III), оксид фосфора(V); неорганические матрицы с комплексообразующими лигандами (ферроцианидные сорбенты); композитные материалы на основе силиката бария, полимерные матрицы (резорцин формальдегидные смолы). Результаты, представленные в диссертации, могут использоваться в учебных курсах для магистров и аспирантов, проходящих обучение по специальности 1.4.13 – Радиохимия. Разработанные методики и подходы могут быть использованы для оценки радиоэкологической обстановки в различных морях Российской Федерации.

Соискатель имеет 142 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 23 статьи в соавторстве в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Международных реферативных базах данных и рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов диссертации (категории K1 и K2) и 46 тезисов докладов на конференциях.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Довгий И.И. Сорбционные методы в морской радиохимии / И.И. Довгий, **Н.А. Бежин**, И.Г. Тананаев // Успехи химии. – 2021. – Т. 90, № 12. – С. 1544–1565. DOI: 10.1070/RCR5015

2. Dovhiy I.I. Seasonal variability of nutrients and radium isotopes fluxes from submarine karstic spring at the southwest of Crimea, Black Sea / I.I. Dovhiy, O.N. Kozlovskaya, **N.A. Bezhin**, I.G. Shibetskaia, A.I. Chepyzhenko, I.G. Tananaev // Water. – 2022. – Vol. 14, No. 4. – 568. DOI: 10.3390/w14040568

3. **Bezhin N.A.** The Sorbents Based on Acrylic Fiber Impregnated by Iron Hydroxide (III): Production Methods, Properties, Application in Oceanographic Research / N.A. Bezhin, M.A. Frolova, I.I. Dovhiy O.N., Kozlovskaya, E.V. Slizchenko, I.G. Shibetskaia, V.A.

Khlystov, E.A. Tokar', I.G. Tananaev // *Water*. – 2022. – Vol. 14, No. 15. – 2303. DOI: 10.3390/w14152303

4. Kozlovskaja O.N. Estimation of  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Ra}$  Content Using Various Types of Sorbents and Their Distribution in the Surface Layer of the Black Sea / O.N. Kozlovskaja, I.G. Shibetskaia, **N.A. Bezhin**, I.G. Tananaev // *Materials*. – 2023. – Vol. 16, No. 5. – 1935. DOI: 10.3390/ma16051935

5. Frolova M.A. Assessment of Seasonal Variability in Phosphorus Biodynamics by Cosmogenic Isotopes  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$  around Balaklava Coast / M.A. Frolova, **N.A. Bezhin**, E.V. Slizchenko, O.N. Kozlovskaja, I.G. Tananaev // *Materials*. – 2023. – Vol. 16, No. 5. – 1791. DOI: 10.3390/ma16051791

6. **Bezhin N.A.**  $^7\text{Be}$  Recovery from Seawater by Sorbents of Various Types / N.A. Bezhin, I.G. Shibetskaia, O.N. Kozlovskaja, E.V. Slizchenko, I.G. Tananaev // *Materials*. – 2023. – Vol. 16, No. 11. – 4088. DOI: 10.3390/ma16114088

7. **Bezhin N.A.** Radionuclides Recovery from Seawater Using FIC and FIC A Sorbents / N.A. Bezhin, V.V. Milyutin, N.V. Kuzmenkova, I.G. Shibetskaia, O.N. Kozlovskaja, E.V. Slizchenko, V.A. Razina, I.G. Tananaev // *Materials*. – 2023. – Vol. 16, No. 11. – 4181. DOI: 10.3390/ma16114181

8. Shibetskaia I.G. New Sorbents Based on Polyacrylonitrile Fiber and Transition Metal Ferrocyanides for  $^{137}\text{Cs}$  Recovery from Various Composition Solutions / I.G. Shibetskaia, V.A. Razina, **N.A. Bezhin**, E.A. Tokar', V.V. Milyutin, N.A. Nekrasova, V.S. Yankovskaya, I.G. Tananaev // *Applied Sciences*. – 2024. – Vol. 14. – 627. DOI: 10.3390/app14020627

9. Dovhyi I.I.  $\text{MnO}_2$  fiber as a sorbent for radionuclides in oceanographic investigations / I.I. Dovhyi, D.A. Kremenchutskii, **N.A. Bezhin**, Yu.G. Shibetskaya, Ya.Yu. Tovarchii, A.M. Egorin, E.A. Tokar, I.G. Tananaev // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2020. – Vol. 323, No. 1. – P. 539–547. DOI: 10.1007/s10967-019-06940-9

10. **Bezhin N.A.** Study of sorbents for analysis of radiocesium in seawater samples by one-column method / N.A. Bezhin, I.I. Dovhyi, V.V. Milyutin, V.O. Kaptakov, E.A. Kozlitsin, A.M. Egorin, E.A. Tokar', I.G. Tananaev // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2021. – Vol. 327. – P. 1095–1103. DOI: 10.1007/s10967-020-07588-6

11. **Bezhin N.A.** Separation of radiostrontium from seawater using various types of sorbents / N.A. Bezhin, I.I. Dovhyi, S.V. Kapranov, N.I. Bobko, V.V. Milyutin, V.O. Kaptakov, E.A. Kozlitsin, I.G. Tananaev // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2021. – Vol. 328. – P. 1199–1209. DOI: 10.1007/s10967-021-07718-8

12. **Bezhin N.A.** Physical and chemical regularities of cesium and strontium recovery from the seawater by sorbents of various types / N.A. Bezhin, I.I. Dovhyi, E.A. Tokar, I.G. Tananaev // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2021. – Vol. 330. – P. 1101–1111. DOI: 10.1007/s10967-021-08027-w

13. **Bezhin N.A.** Physical and chemical regularities of phosphorus and beryllium recovery from the seawater by acrylate fiber based on iron(+3) hydroxide / N.A. Bezhin, M.A. Frolova, O.N. Kozlovskaja, E.V. Slizchenko, I.G. Shibetskaia, I.G. Tananaev // *Processes*. – 2022. – Vol. 10, No. 10. – 2010. DOI: 10.3390/pr10102010

14. **Bezhin N.A.** Investigation of  $^{137}\text{Cs}$  distribution in the surface layer of the Black Sea using various types of sorbents / N.A. Bezhin, D.A. Kremenchukskiy E.V. Slizchenko, O.N.

Kozlovskaja, I.G. Shibetskaia, V.V. Milyutin, I.G. Tananaev // Processes. – 2023. – Vol. 11, No. 2. – 603. DOI: 10.3390/pr11020603

15. Фролова М.А. Концентрирование фосфора сорбентами на основе акрилатного волокна, импрегнированного гидроксидом железа(III) / М.А. Фролова, **Н.А. Бежин**, О.Н. Козловская, И.Г. Тананаев // Радиохимия. – 2023. – Т. 65, № 4. – С. 317–328. DOI: 10.31857/S0033831123040032

16. **Бежин Н.А.** Сорбенты импрегнированного типа для извлечения  $Pb^{2+}$  из нейтральных и кислых водных растворов / Н.А. Бежин, И.И. Довгий, А.Ю. Ляпунов, В.Е. Баулин, Д.В. Баулин, А.Ю. Цивадзе // Журнал неорганической химии. – 2019. – Т. 64, № 9. – С. 997–1005. DOI: 10.1134/S0044457X19090034

17. **Bezhin N.A.** Cesium-137 Recovery from Seawater by Sorption onto Termoxid Sorbents / N.A. Bezhin, I.G. Tananaev // Radiochemistry. – 2023. – Vol. 65, No. S1. – P. S36–S43. DOI: 10.1134/S1066362223070044

18. Довгий И.И. Распределение  $^{137}Cs$  в поверхностном слое Черного моря летом 2017 / И.И. Довгий, Д.А. Кременчуцкий, **Н.А. Бежин**, О.Н. Козловская, В.В. Милютин, Е.А. Козлитин // Морской гидрофизический журнал. – 2020. – Т. 36, № 2. – С. 166–175. DOI: 10.22449/0233-7584-2020-2-166-175

19. Довгий И.И. Изучение субмаринной разгрузки подземных вод у м. Айя: мультитрассерный подход / И.И. Довгий, **Н.А. Бежин**, Д.А. Кременчуцкий, О.Н. Козловская, А.И. Чепыженко, А.В. Вертерич, Я.Ю. Товарчий, Ю.Г. Шибецкая, Д.Ю. Чайкин // Морской гидрофизический журнал. – 2021. – Т. 37, № 1. – С. 57–72. DOI: 10.22449/0233-7584-2021-1-57-72

20. Козловская О.Н. Распределение  $^{228}Ra$  и  $^{226}Ra$  в поверхностном слое вод Черного моря / О.Н. Козловская, Д.А. Кременчуцкий, Ю.Г. Шибецкая, В.А. Разина, **Н.А. Бежин** // Морской гидрофизический журнал. – 2023. – Т. 39, № 6. – С. 831–850.

21. **Бежин Н.А.** Сорбционное концентрирование  $^{137}Cs$  из морской воды сорбентами марки Термоксид / Н.А. Бежин, И.Г. Тананаев // Вопросы радиационной безопасности. – 2022. – № 4 (108). – С. 30–38.

В работах представлены результаты получения и исследования структуры и свойств сорбентов на основе полиакрилонитрильного волокна, результаты исследования основных равновесных и кинетических параметров сорбционного извлечения радионуклидов из морской воды в лабораторных и экспедиционных условиях, результаты оценки распределения техногенных, природных и космогенных радионуклидов в Черном море, результаты исследования субмаринной разгрузки подземных вод как потенциального источника пресной воды в акватории Балаклавского побережья с использованием радиотрассерных методов, результаты исследования количественных показателей седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя и сезонной изменчивости параметров биодинамики фосфора как показателей экологического состояния морской акватории.

Все публикации Бежина Н.А. соответствуют теме диссертационной работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах в диссертации отсутствуют. Требования к публикациям (пп. 13 и 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 в редакции от 25.01.2024) выполнены

полностью. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации входят в российские и международные базы данных, а также в перечень изданий ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертационных исследований, в том числе по специальности 1.4.13 – радиохимия.

На диссертацию и автореферат поступило 11 отзывов. Все отзывы положительные. Положительные отзывы без замечаний поступили от:

**Иванова Ивана Александровича**, кандидата технических наук, директора Озёрского технологического института – филиала Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (ОТИ НИЯУ МИФИ).

**Новикова Дмитрия Анатольевича**, кандидата геолого-минералогических наук, доцента, заведующего лабораторией гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской Академии наук.

Положительные отзывы с вопросами, замечаниями и рекомендациями поступили от:

**Шапкина Николая Павловича**, доктора химических наук, профессора, профессора департамента химии материалов Института наукоемких технологий и передовых материалов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет»:

- В автореферате не приведены механизмы сорбции.
- Установленная в ходе исследования величина активности  $^{137}\text{Cs}$  изменялась по пространству в интервале 7,33 – 10,4 Бк/м<sup>3</sup>. На основании чего автор делает вывод, что повышение активности  $^{137}\text{Cs}$  в изученном районе не были установлены?

**Грузнова Владимира Матвеевича**, доктора технических наук, главного научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН):

- В названии диссертации неудачное использование сочетания терминов «концентрированы, выделение», которые могут выражать одни и те же функции при анализе радионуклидов.
- Отмечается преимущество волоконных сорбентов перед гранулированными в связи с практически отсутствием гидродинамического сопротивления, но при этом не указано до какой плотности сорбента не существенно гидродинамическое сопротивление, что важно для оценки производительности динамического концентрирования в полевых условиях.
- Не отмечены методы градуировки измерений концентрации радионуклидов.
- Не приведена формулировка содержания разработанной методологии определения радионуклидов в высокосолевых водных растворах.
- Согласно таблице 1 автореферата и  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  в морской воде оседают на взвешенном веществе. Не ясно, почему при этом наблюдается дисбаланс в паре

$^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$  в соответствии с их использованием в качестве трассеров потока взвешенного вещества?

– Какие гидрологические параметры использовались при оценке потока субмаринных подземных вод по активности изотопов радия?

**Савкина Александра Евгеньевича**, доктора технических наук, ведущего инженера-технолога бюро совершенствования технологий Федерального государственного унитарного предприятия «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды» (ФГУП «РАДОН»):

– Использование несистемных величин для выражения солесодержания (до 36‰).

– По мнению автора, основным и наиболее эффективным методом концентрирования радионуклидов из морской воды является сорбция, с помощью которой можно извлекать радионуклиды, находящиеся в ионной форме. А в морской воде они могут присутствовать и других формах, что характерно, например, для альфа-нуклидов.

– По мнению автора, существующие в нашей стране коммерчески доступные сорбенты, разработаны, прежде всего, для извлечения радионуклидов из радиоактивных отходов, имеющих среднюю и высокую активность. Но как показывает практика, большинство используемых сорбентов применяют для очистки низкоактивных ЖРО и растворов, загрязненных радиоактивными веществами.

– В работе рассмотрены только синтетические сорбенты, а не опробованы природные, хотя бы для сравнения.

**Логунова Михаила Васильевича**, кандидата технических наук, советника генерального директора Федерального государственного унитарного предприятия «Производственное объединение «Маяк» (ФГУП «ПО «Маяк»):

– В представленном составе морской воды из исследованных элементов присутствует только Sr. Из автореферата не ясно, в какой химической форме и в каких количествах в морскую воду вводили Cs, R и Be на этапе лабораторных экспериментов? В какой степени формы нахождения целевых элементов в природной морской воде соответствовали их состоянию в лабораторных опытах?

– В лабораторных экспериментах на выбранном для цезия сорбенте Термоксид-35 при скорости 2 к.о./мин просок начался практически сразу, а после фильтрации 2 тыс. к.о. достигал практически 100 %. На выбранном для извлечения бериллия сорбенте Fe-Н результаты аналогичны. В то же время в экспериментах по масштабированию степень извлечения цезия на Термоксиде-35 в аналогичных условиях составила практически 90 % при пропуске через колонку 5 тыс. к.о., а извлечение бериллия на Fe-Н при аналогичном фильтроцикле - 80 %, что при вышеупомянутых проскоках невозможно. Или такая разница в результатах объясняется разными исходными концентрациями цезия и бериллия на стадии лабораторных экспериментов и на этапе масштабирования?

– Лабораторные эксперименты с торием, радием и полонием в диссертационной работе не проводились. В какой мере результаты проведенных лабораторных

экспериментов с четырьмя исследованными элементами были экстраполированы на поведение вышеупомянутых нуклидов в ходе сорбции или при выборе сорбционных материалов для концентрирования тория, радия и полония использовали исключительно литературные данные?

– В тексте автореферата не описаны эксперименты или операции по десорбции изучаемых радионуклидов с выбранных сорбентов для последующей подготовки мишеней для измерения. Упомянута лишь возможность смыва с волокнистых сорбентов альфа-излучающего полония-210. Чем десорбировали полоний и как проводили измерение других нуклидов – непосредственно на сорбентах или все-таки после десорбции?

**Воронойной Анны Владимировны**, кандидата химических наук, доцента, заведующего кафедрой радиохимии и прикладной экологии физико-технологического института ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»:

– В автореферате обозначена актуальность определения  $^{90}\text{Sr}$  в морской воде, исследованы характеристики сорбентов по отношению к  $^{90}\text{Sr}$  в условиях статики, кинетики и динамики сорбции. При этом не указано была ли разработана методика определения  $^{90}\text{Sr}$  в морской воде. Разработана ли такая методика и какие у неё характеристики?

– С чем связан выбор модели Дубинина-Радужкевича для описания данных статики сорбции (табл. 14 с. 32)?

– В работе предложена комплексная методика концентрирования и определения радионуклидов в морской воде (рис. 25 стр. 27 автореферата), согласно которой морскую воду пропускают последовательно через сорбенты Fe-H, ПАН-MnO<sub>2</sub> и T-35. Для извлечения и определения  $^{137}\text{Cs}$  в методике используют сорбент T-35. Известно, что цезий может также сорбироваться гидроксидом железа и диоксидом марганца, коллоидная форма цезия может задерживаться волокном. Поэтому, в условиях предложенной схемы анализа за счёт поглощения на предшествующих стадиях  $^{137}\text{Cs}$  может теряться. Особенно потери могут проявляться в условиях малых активностей  $^{137}\text{Cs}$  в морской воде. Исследована ли сорбция  $^{137}\text{Cs}$  из морской воды неспецифичными сорбентами? Как в предложенной комплексной методике учтены потери  $^{137}\text{Cs}$  при анализе?

**Токаря Эдуарда Анатольевича**, кандидата химических наук, заведующего лабораторией радиоэкологического мониторинга и охраны арктических экосистем Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сахалинский государственный университет»:

– В работе приводится состав морской воды, характерный для Черного моря, где солесодержание имеет отличительные особенности. Испытывались ли предложенные материалы и методы в морской воде, состав которой приближен к атлантическим, тихоокеанским или каким-либо другим морским водам? Сохраняется ли высокая эффективность извлечения и концентрирования радионуклидов с использованием предложенных методик?

– Могут ли сорбционные материалы быть использованы в повторяющихся циклах сорбция-десорбция-регенерация без потерь своих преимущественных особенностей?

**Виданова Виталия Львовича**, кандидата химических наук, ведущего научного сотрудника отдела радиохимических технологий АО «Высокотехнологический научно-исследовательский Институт неорганических материалов» имени академика А.А. Бочвара (АО «ВНИИНМ»):

– Стр. 18 Требуется пояснение о механизме образования сульфата стронция в матрице сорбента СРМ-Sr, почему это не наблюдается для других сорбентов?

– Рисунки 10-13, представленные в 4-ой главе, имеют достаточно мелким масштаб, поэтому, создаётся впечатление, что проскок в случае некоторых сорбентов происходит мгновенно. Для лучшего понимания хотелось бы видеть, сколько колоночных объёмов прошло через сорбент до проскока.

**Соболева Андрея Игоревича**, доктора технических наук, и.о. старшего 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 (ГЕОХИ РАН):

– В табл. 1 «Характеристики радионуклидов и решаемые с их помощью задачи» автор относит радионуклиды  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  к категории наиболее широко изучаемых. Однако, в работе не упоминается проблема определения и концентрирования такого радионуклида как тритий, хотя хорошо известно, что решение проблемы трития было и остается в настоящее время главной задачей обращения с ЖРО на АЭС Фукусима.

– Там же, в отношении определения радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  автор утверждает, что стронций-90 измеряется после концентрирования по дочернему радионуклиду  $^{90}\text{Y}$ , с использованием  $\beta$ -спектрометрии, что не вызывает сомнений. Далее представлены основные методы измерения такие как альфа, гамма, бета- спектрометрия и жидкостно-сцинтилляционная с радиохимической подготовкой. Вызывает вопрос отсутствие в этом перечне современного метода ЖС-спектрометрии, который особенно эффективен для анализа жидких фаз.

**Лашеновой Татьяны Николаевны**, доктора биологических наук, кандидата химических наук, профессора кафедры медико-профилактических дисциплин с курсами радиационной гигиены и радиационной медицины Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» (МБУ ИНО ФМБЦ), ведущего научного сотрудника лаборатории регулирующего надзора за объектами наследия Отдела радиационной безопасности населения ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России:

– В автореферате встречается термин «обеспечить правильность результатов анализа при исследовании образцов». Хотелось бы понять, что автор вкладывает в это понятие.

– В автореферате отсутствуют результаты оценки концентрации стабильных форм фосфора. В результате следует лишь полагаться на утверждения автора, что эти концентрации не были повышены.

В целом, в поступивших отзывах отмечается, что представленные замечания не снижают научной значимости работы. К существенным достижениям следует отнести решение масштабного комплекса научных и практических задач радиохимии, включая технологию получения эффективных сорбентов для концентрирования в воде в полевых условиях техногенных, природных и космогенных радионуклидов, их аналитических характеристик и их применение для картирования радионуклидов в акватории Черного моря; фундаментальные результаты, касающиеся пространственных и сезонных аспектов радиохимии Черного моря; выполнено информативное обобщение результатов по распределению природных радионуклидов в Черном море; впервые сформулированный ряд закономерностей полевой аналитики радионуклидов, включая их определение в морской воде; использование комплекса созданных методик оценки поведения радионуклидов, для решения ряда актуальных для эксплуатации акватории Черного моря задач морской радиохимии. Диссертационная работа Бежина Н.А. является законченным исследованием, выполненным на высоком научном уровне, обладает всеми признаками новизны и имеет большое практическое значения для радиохимии и радиоэкологии. Работа в полной мере соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – радиохимия.

Выбор официальных оппонентов обоснован тем, что они являются известными авторитетными учеными в области радиохимии, и в том числе, в области экстракционных и сорбционных методов разделения и концентрирования радионуклидов, радиоэкологии и радиоаналитической химии; являются авторами большого числа публикаций в ведущих российских и международных изданиях, соответствующих тематике диссертационной работы. Выбор ведущей организации обоснован тем, что в ней работают высококвалифицированные специалисты в области радиоактивности окружающей среды и сорбционных методов выделения радионуклидов, соответствующих тематике диссертационной работы, способные определить научную и практическую значимость диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований** решен ряд фундаментальных и практических научно-ориентированных задач в радиоэкологии, экологии, океанологии и радиохимии.

Среди них:

– обоснован выбор, синтезирован и охарактеризован широкий спектр сорбентов различной природы для выделения целевых радионуклидов. Определены основные равновесные и кинетические параметры процесса сорбции и механизмы сорбции, что послужило основой для выбора наиболее эффективных материалов для сорбционного концентрирования радионуклидов в динамическом режиме;

– в качестве сорбентов предложены: полимерные полиакрилонитрильные волокна с диоксидом марганца и гидроксидом железа(III), неорганические матрицы на

основе диоксида марганца, гидроксида железа(III), оксида фосфора(V), неорганические матрицы с комплексообразующими лигандами, композитные материалы на основе силиката бария, полимерные матрицы (резорцин формальдегидные смолы);

– найдены оптимальные сорбенты для выделения следующих радионуклидов из морской воды:  $^{137}\text{Cs}$  – ферроцианидные сорбенты;  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  – сорбционно-реагентный материал на основе силиката бария (СРМ-Sr) и сорбенты на основе диоксида марганца;  $^{32}\text{P}$  и  $^{33}\text{P}$  – сорбенты на основе гидроксида железа(III);  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{234}\text{Th}$  – сорбенты на основе диоксида марганца и гидроксида железа(III). Для выбранных сорбционных систем оптимизированы режимы выделения указанных изотопов в динамических условиях;

– разработан комплекс оригинальных методологических решений для определения техногенных, природных и космогенных радионуклидов в высокосолевых водных системах, включая морскую воду;

– разработаны подходы к масштабированию процесса динамического сорбционного концентрирования и количественного определения в морской воде космогенных ( $^7\text{Be}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ), природных ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклидов для решения практических задач;

– обеспечен контроль правильности результатов определения радионуклидов при исследовании больших объемов образцов (более 200 л) в условиях морских экспедиций.

Решен ряд важных практических задач с использованием разработанных методологических предложений:

– получены карты высокого разрешения по распределению  $^{137}\text{Cs}$  в акватории Черного моря; впервые определены вертикальные профили концентрации (радиоактивности) радионуклидов  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  и пространственная изменчивость концентраций  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{228}\text{Ra}$  в Черном море;

– впервые проведена оценка потоков субмаринной разгрузки подземных вод на мысе Айя с использованием  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Ra}$ , установлена возможность использования данного потенциального источника пресной воды путем каптирования; определены показатели седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря с использованием пар  $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$  и  $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$ , показана возможность их использования как показателей экологического состояния исследуемого региона;

– впервые изучена сезонная изменчивость параметров биодинамики фосфора в акватории Гераклейского полуострова с использованием изотопов  $^{32}\text{P}$  и  $^{33}\text{P}$ , установлена повышенная антропогенная нагрузка в исследуемом регионе.

**Теоретическая значимость исследования обусловлена тем, что** выполнено фундаментальное обобщение результатов исследований по использованию сорбционных процессов для концентрирования и последующего определения важнейших техногенных, природных и космогенных радионуклидов из морской воды, обоснован выбор, синтезирован и охарактеризован широкий спектр сорбентов различной природы для выделения целевых радионуклидов, определены основные равновесные и кинетические параметры процесса сорбции, характеристики и

механизмы сорбции для выбора наиболее эффективных материалов для сорбционного концентрирования в динамическом режиме из больших объемов проб. Впервые получен массив экспериментальных и расчетных данных, характеризующих процессы сорбции широкого круга радионуклидов из морской воды. Все это обеспечивает понимание физико-химических основ процессов концентрирования, выделения и определения радионуклидов в морской воде.

**Научная новизна** обусловлена тем, что автором: впервые проведено моделирование процессов сорбции широкого круга радионуклидов из морской воды, впервые выполнено исследование и оценка потока субмаринной разгрузки подземных вод в акватории Балаклавского побережья с использованием радиотрассерных методов; впервые с использованием пары изотопов  $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$  выполнена оценка количественных показателей седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря; впервые для акватории Гераклейского полуострова Черного моря с использованием данных объемной активности  $^{32}\text{P}$  и  $^{33}\text{P}$  в растворенной и взвешенной формах определены количественные параметры биодинамики фосфора (степень, скорость и время обращения фосфора), включая сезонную изменчивость.

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

– предложен, синтезирован и охарактеризован широкий спектр сорбентов различной природы: полимерные полиакрилонитрильные волокна с диоксидом марганца и гидроксидом железа(III), неорганические матрицы на основе диоксида марганца, гидроксида железа(III), оксид фосфора(V), неорганические матрицы с комплексообразующими лигандами, композитные материалы на основе силиката бария, полимерные матрицы (резорцин формальдегидные смолы),

– проведено масштабирование процесса динамического сорбционного концентрирования для количественного определения в морской воде космогенных ( $^7\text{Be}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ), природных ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклидов с использованием наиболее эффективных сорбентов для решения практических задач,

– обеспечена правильность результатов анализа при исследовании больших объемов образцов (более 200 л) в условиях морских экспедиций,

– проведена оценка дебета субмаринного источника в акватории Балаклавского побережья, показаны высокие значения потока подземных вод, указывающие на возможность использования данного источника пресной воды для хозяйственных нужд.

– выполнена количественная оценка потоков и скорости седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря с использованием пар изотопов  $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$  и  $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$ ;

– проведена комплексная экологическая оценка состояния акватории Гераклейского полуострова с использованием разработанных методик, получены показатели состояния прибрежных экосистем: значения содержания форм растворенного и взвешенного фосфора, параметры биодинамики фосфора.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила для экспериментальных работ, что результаты получены на сертифицированном оборудовании с использованием современных инструментальных методов анализа (инфракрасная спектроскопия, термогравиметрический анализ, сканирующая электронная микроскопия с энергодисперсионным анализом для изучения структуры сорбентов; фотоколориметрия, эмиссионная фотометрия пламени, атомно-абсорбционная спектроскопия с использованием пламенной и электротермической атомизации для определения концентрации элементов в растворах, прямая  $\gamma$ -спектрометрия,  $\alpha$ -спектрометрия,  $\alpha$ - $\beta$ -радиометрия и жидкостно-сцинтилляционная спектрометрия с радиохимической пробоподготовкой для определения удельной активности радионуклидов). Достоверность полученных результатов обеспечена большим объемом проведенных экспериментальных исследований; доказанной высокой воспроизводимостью результатов анализа, использованием современных статистических и математических методов обработки результатов, сопоставлением результатов анализа, выполненных независимыми методами, и соответствием результатов соискателя с известными литературными данными.

**Личный вклад соискателя состоит** в постановке цели и задач исследований, методологическом обосновании путей реализации, обобщении полученных результатов, формулировке выводов. Планирование и выполнение экспериментальных исследований, их интерпретация и написание статей выполнялись автором совместно с к.х.н., доцентом Довгим И.И., аспирантами (Фроловой М.А., Козловской О.Н., Шибенковой Ю.Г., Слизченко Е.В., Разиной В.А.) и научным консультантом (член-корреспондентом РАН, д.х.н. Тананаевым И.Г.).

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Вопросы в основном касались поведения радионуклидов в морской среде, их распределения между морской водой и взвешенным веществом, вклада техногенных и природных радионуклидов в активность морской воды, характеристик исследуемой морской воды; новизны и себестоимости полученных сорбентов, сорбционных характеристик предлагаемых и синтезированных сорбентов, их емкости и селективности при извлечении радионуклидов из морской воды; проведения извлечения в лабораторных и экспедиционных условиях, использования трассеров для оценки эффективности сорбции, параметров масштабирования и преимуществ разработанных методов; сложностей концентрирования  $^{90}\text{Sr}$  из морской воды, наличия  $^{226}\text{Ra}$  в пресных и сточных водах, оценки седиментации взвешенного вещества; способов измерения активности радионуклидов в образцах сорбентов. Кроме того, были заданы вопросы касательно дальнейших исследований и уже полученного массива данных экспедиционных исследований.

Соискатель Бежин Н.А. ответил на все задаваемые в ходе заседания вопросы и высказанные замечания. Приведенная им аргументация была положительно оценена присутствующими на заседании оппонентами и членами диссертационного совета. Представленные замечания не снижают научной значимости работы и могут рассматриваться как рекомендации для развития исследований.

Диссертационная работа Бежина Н.А. «Концентрирование, выделение и определение техногенных и природных радионуклидов в морской воде» на соискание учёной степени доктора химических наук представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям п. 9-14 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 25.01.2024) «О порядке присуждения ученых степеней». Работа содержит научно-обоснованное решение актуальной научной проблемы в области радиохимии, связанной с разработкой комплекса методологических решений для концентрирования, выделения и определения сверхнизких концентраций техногенных и природных радионуклидов в морской воде, что лежит в основе оценки особенностей их распределения и обеспечивает возможность прогнозирования экологической и радиоэкологической ситуации морских акваторий и разработку необходимых мероприятий для ее улучшения. Содержание диссертационной работы соответствует специальности 1.4.13 – радиохимия.

На заседании 12.09.2024 года диссертационный совет принял решение за создание научных и практических основ концентрирования, выделения и определения техногенных ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), природных ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ) и космогенных ( $^7\text{Be}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ) радионуклидов в высокосолевых водных системах, включая морскую воду, с целью решения фундаментальных и научно-ориентированных задач в радиохимии и радиоэкологии присудить Бежину Николаю Алексеевичу учёную степень доктора химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, включая 4 докторов наук по специальности 1.4.13 – радиохимия (отрасль наук – химические науки), участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета,  
академик РАН, доктор химических наук

  
Мясоедов Борис Федорович

Учёный секретарь диссертационного  
совета, кандидат химических наук

  
Захарченко Елена Александровна

12.09.2024



(ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ



ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ им. В.И. ВЕРНАДСКОГО  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ГЕОХИ РАН)

---

## Протокол № 7

заседания диссертационного совета 24.1.195.01

от 12.09.2024

Состав диссертационного совета утвержден в количестве **25** человек. Присутствовали на заседании **19** человек.

**Председатель:** : академик РАН, д. хим.наук, профессор Мясоедов Борис Федорович (председатель совета)

**Присутствовали:** академик РАН, д. хим.наук, профессор Мясоедов Борис Федорович, член-корр. РАН, д. хим.наук, профессор Колотов Владимир Пантелеймонович, член-корр. РАН, д. хим.наук Хамизов Руслан Хажсетович, д. физ.-мат.наук, профессор Баранов Виктор Иванович, д. физ.-мат.наук, профессор Большов Михаил Александрович, д. хим.наук Винокуров Сергей Евгеньевич, д. физ.-мат.наук, профессор Дементьев Василий Александрович, д. техн.наук, профессор Зуев Борис Константинович, д. хим.наук, профессор Иценко Анатолий Александрович, д. хим.наук Кубракова Ирина Витальевна, д. хим.наук Марютина Татьяна Анатольевна, д. хим.наук Новиков Александр Павлович, д. хим.наук Ревельский Александр Анатольевич, д. техн.наук Севастьянов Вячеслав Сергеевич, д. хим.наук Федотов Петр Сергеевич, д. физ.-мат.наук, профессор Филиппов Михаил Николаевич, д. хим.наук, профессор Шеховцова Татьяна Николаевна, д. хим.наук Шкинев Валерий Михайлович, к. хим.наук Захарченко Елена Александровна (всего 19 человек).

В том числе по специальности 1.4.13 – радиохимия (отрасль науки – химические) – 4 человека: Мясоедов Борис Федорович; Колотов Владимир Пантелеймонович; Винокуров Сергей Евгеньевич; Новиков Александр Павлович.

**Слушали:** Защиту диссертационной работы **Бежина Николая Алексеевича** на тему «**Концентрирование, выделение и определение техногенных и природных радионуклидов в морской воде**» на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – радиохимия.

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Химия и химические технологии» и в научно-исследовательской лаборатории «Радиоэкология и морская радиохимия» в Институте ядерной энергии и промышленности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант работы – доктор химических наук, член-корреспондент РАН Тананаев Иван Гундарович, Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН», заместитель генерального директора по научной работе, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И.В. Тананаева КНЦ РАН, директор.

***Официальные оппоненты по диссертации:***

**Харитонов Олег Викторович**, доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук» (ИФХЭ РАН), лаборатория хроматографии радиоактивных элементов, главный научный сотрудник;

**Поляков Евгений Валентинович**, доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт химии твёрдого тела Уральского отделения Российской академии наук» (ИХТТ УрО РАН), лаборатория физико-химических методов анализа, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник;

**Смирнов Игорь Валентинович**, доктор химических наук, Акционерное общество «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина», отдел учёного секретаря, учёный секретарь

***Ведущая организация:***

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва

Основное содержание диссертации опубликовано в 23 статьях в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Международных реферативных базах данных и рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов диссертации, опубликовано 15 статей (категории К1 и К2). Требования к публикациям основных научных результатов, предусмотренные п.11 – 13 Положения, а также требования п. 10 и 14 выполнены полностью.

Отзывы оппонентов и ведущей организации – положительные. На диссертацию поступило 11 отзывов – все отзывы положительные.

Диссертационная работа Бежина Н.А. посвящена разработке методологических решений для определения сверхнизких концентраций техногенных, природных и космогенных радионуклидов в высокосолевых водных системах, включая морскую воду. В работе решен ряд фундаментальных и практических научно-ориентированных задач в радиоэкологии, экологии, океанологии и радиохимии. Среди них:

– обоснован выбор, синтезирован и охарактеризован широкий спектр сорбентов различной природы для выделения целевых радионуклидов. Определены основные равновесные и кинетические параметры процесса сорбции и механизмы сорбции, что

послужило основой для выбора наиболее эффективных материалов для сорбционного концентрирования радионуклидов в динамическом режиме;

– в качестве сорбентов предложены: полимерные полиакрилонитрильные волокна с диоксидом марганца и гидроксидом железа(III), неорганические матрицы на основе диоксида марганца, гидроксида железа(III), оксида фосфора(V), неорганические матрицы с комплексообразующими лигандами, композитные материалы на основе силиката бария, полимерные матрицы (резорцин формальдегидные смолы);

– найдены оптимальные сорбенты для выделения следующих радионуклидов из морской воды:  $^{137}\text{Cs}$  – ферроцианидные сорбенты;  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  – сорбционно-реагентный материал на основе силиката бария (СРМ-Sr) и сорбенты на основе диоксида марганца;  $^{32}\text{P}$  и  $^{33}\text{P}$  – сорбенты на основе гидроксида железа(III);  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{234}\text{Th}$  – сорбенты на основе диоксида марганца и гидроксида железа(III). Для выбранных сорбционных систем оптимизированы режимы выделения указанных изотопов в динамических условиях;

– разработан комплекс оригинальных методологических решений для определения техногенных, природных и космогенных радионуклидов в высокосолевых водных системах, включая морскую воду;

– разработаны подходы к масштабированию процесса динамического сорбционного концентрирования и количественного определения в морской воде космогенных ( $^7\text{Be}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ), природных ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклидов для решения практических задач;

– обеспечен контроль правильности результатов определения радионуклидов при исследовании больших объемов образцов (более 200 л) в условиях морских экспедиций.

**Теоретическая значимость исследования обусловлена тем, что** выполнено фундаментальное обобщение результатов исследований по использованию сорбционных процессов для концентрирования и последующего определения важнейших техногенных, природных и космогенных радионуклидов из морской воды, обоснован выбор, синтезирован и охарактеризован широкий спектр сорбентов различной природы для выделения целевых радионуклидов, определены основные равновесные и кинетические параметры процесса сорбции, характеристики и механизмы сорбции для выбора наиболее эффективных материалов для сорбционного концентрирования в динамическом режиме из больших объемов проб. Впервые получен массив экспериментальных и расчетных данных, характеризующих процессы сорбции широкого круга радионуклидов из морской воды. Все это обеспечивает понимание физико-химических основ процессов концентрирования, выделения и определения радионуклидов в морской воде.

**Научная новизна** обусловлена тем, что автором: впервые проведено моделирование процессов сорбции широкого круга радионуклидов из морской воды, впервые выполнено исследование и оценка потока субмаринной разгрузки подземных вод в акватории Балаклавского побережья с использованием радиотрассерных методов;

впервые с использованием пары изотопов  $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$  выполнена оценка количественных показателей седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря; впервые для акватории Гераклейского полуострова Черного моря с использованием данных объемной активности  $^{32}\text{P}$  и  $^{33}\text{P}$  в растворенной и взвешенной формах определены количественные параметры биодинамики фосфора (степень, скорость и время обращения фосфора), включая сезонную изменчивость.

Решен ряд важных **практических задач** с использованием разработанных методологических предложений:

– получены карты высокого разрешения по распределению  $^{137}\text{Cs}$  в акватории Черного моря; впервые определены вертикальные профили концентрации (радиоактивности) радионуклидов  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  и пространственная изменчивость концентраций  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{228}\text{Ra}$  в Черном море;

– впервые проведена оценка потоков субмаринной разгрузки подземных вод на мысе Айя с использованием  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Ra}$ , установлена возможность использования данного потенциального источника пресной воды путем каптирования; определены показатели седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря с использованием пар  $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$  и  $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$ , показана возможность их использования как показателей экологического состояния исследуемого региона;

– впервые изучена сезонная изменчивость параметров биодинамики фосфора в акватории Гераклейского полуострова с использованием изотопов  $^{32}\text{P}$  и  $^{33}\text{P}$ , установлена повышенная антропогенная нагрузка в исследуемом регионе.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Вопросы в основном касались поведения радионуклидов в морской среде, их распределения между морской водой и взвешенным веществом, вклада техногенных и природных радионуклидов в активность морской воды, характеристик исследуемой морской воды; новизны и себестоимости полученных сорбентов, сорбционных характеристик предлагаемых и синтезированных сорбентов, их емкости и селективности при извлечении радионуклидов из морской воды; проведения извлечения в лабораторных и экспедиционных условиях, использования трассеров для оценки эффективности сорбции, параметров масштабирования и преимуществ разработанных методов; сложностей концентрирования  $^{90}\text{Sr}$  из морской воды, наличия  $^{226}\text{Ra}$  в пресных и сточных водах, оценки седиментации взвешенного вещества; способов измерения активности радионуклидов в образцах сорбентов. Кроме того, были заданы вопросы касательно дальнейших исследований и уже полученного массива данных экспедиционных исследований.

Соискатель Бежин Н.А. ответил на все задаваемые в ходе заседания вопросы и высказанные замечания. Приведенная им аргументация была положительно оценена присутствующими на заседании оппонентами и членами диссертационного совета. Представленные замечания не снижают научной значимости работы и могут рассматриваться как рекомендации для развития исследований.

**Постановили:**

Диссертационная работа Бежина Н.А. «Концентрирование, выделение и определение техногенных и природных радионуклидов в морской воде» на соискание учёной степени доктора химических наук представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям п. 9-14 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 25.01.2024) «О порядке присуждения ученых степеней». Работа содержит научно-обоснованное решение актуальной научной проблемы в области радиохимии, связанной с разработкой комплекса методологических решений для концентрирования, выделения и определения сверхнизких концентраций техногенных и природных радионуклидов в морской воде, что лежит в основе оценки особенностей их распределения и обеспечивает возможность прогнозирования экологической и радиоэкологической ситуации морских акваторий и разработку необходимых мероприятий для ее улучшения. Содержание диссертационной работы соответствует специальности 1.4.13 – радиохимия.

На заседании 12.09.2024 года диссертационный совет принял решение за создание научных и практических основ концентрирования, выделения и определения техногенных ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), природных ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ) и космогенных ( $^7\text{Be}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$ ) радионуклидов в высокосолевых водных системах, включая морскую воду, с целью решения фундаментальных и научно-ориентированных задач в радиохимии и радиоэкологии присудить Бежину Николаю Алексеевичу учёную степень доктора химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **19** человек, включая **4** докторов наук по специальности 1.4.13 – радиохимия (отрасль наук – химические науки), участвовавших в заседании, из **25** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – **19**, против – **0**, недействительных бюллетеней – **0**.

Председатель диссовета,  
академик РАН,  
доктор химических наук

Мясоедов Борис Федорович

Учёный секретарь диссовета,  
кандидат химических наук

Захарченко Елена Александровна

12.09.2024

Подпись руководителя диссертационного совета  
удостоверяется печатью диссертационного совета  
И.В. Александрович