

УТВЕРЖДАЮ

Директор ГЕОХИ РАН,



Р. Х. Хамизов

2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук

Диссертационная работа **«Концентрирование, выделение и определение техногенных и природных радионуклидов в морской воде»** выполнена в Институте ядерной энергии и промышленности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет» (СевГУ).

В период подготовки диссертации Бежин Николай Алексеевич являлся сотрудником СевГУ (доцент и старший научный сотрудник кафедры «Химия и химические технологии», а позднее заведующим научно-исследовательской лабораторией радиозэкологии и морской радиохимии).

В 2009 г. Бежин Н.А. 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».

С октября 2010 г. по март 2014 г. соискатель обучался в заочной аспирантуре Севастопольского государственного университета.

В марте 2014 года Бежин Н.А. защитил в Кременчугском национальном университете имени Михаила Остроградского (г. Кременчуг, Украина) диссертацию «Извлечение стронция из жидких радиоактивных отходов сорбентом, импрегнированным дибензо-18-краун-6» на соискание учёной степени кандидата технических наук 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». Диплом к.т.н. ДК № 023219, выдан 26 июня 2014 года.

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. Аттестат доцента ЗДЦ № 017441.

Бежин Н.А. работает в СевГУ с сентября 2009 г. по настоящее время, с сентября 2023 г. – в должности заведующего научно-исследовательской лабораторией радиоэкологии и морской радиохимии.

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

(выписка из протокола расширенного семинара при дирекции при участии лаборатории радиохимии от 22 марта 2024 г.)

Присутствовали 30 человек: академик, д.х.н. Мясоедов Б.Ф. (президиум РАН), чл.-корр. РАН, д.х.н. Колотов В.П., чл.-корр. РАН, д.х.н. Хамизов Р.Х., д.х.н. Винокуров С.Е., д.х.н. Марютина Т.А., д.х.н. Кубракова И.В., д.т.н. Севастьянов В.С., д.г.-м.н. Горностаева Т.А., д.г.-м.н. Мохов А.В., д.г.н. Линник В.Г., д.б.н. Тютиков С.Ф., к.х.н. Захарченко Е.А., к.х.н. Казаков А.Г., к.х.н. Никашина В.А., к.х.н. Дину М.И., к.х.н. Кронрод Е.В., к.г.-м.н. Зайцев В.А., к.т.н. Тимонина О.К., Родионова А.А., Рыбчук А.П., Русак А.А., Осин П.А., Белова К.Ю. (ГЕОХИ), чл.-корр. РАН, д.х.н. Тананаев И.Г. (КНЦ РАН), д.х.н. Милютин В.В., д.х.н. Харитонов О.В., к.х.н. Фирсова Л.А. (ИФХЭ РАН), д.т.н. Соболев А.И. (на дату семинара временно не работает, до 12.2023 – ИБРАЭ РАН), к.х.н. Матвеев П.И., к.х.н. Евсюнина М.В. (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Председатель: чл.-корр. РАН, д.х.н. Колотов Владимир Пантелеймонович

Слушали: доклад Бежина Николая Алексеевича по материалам диссертационной работы на тему: **«Решение задач морской радиохимии с использованием природных, космогенных и техногенных радионуклидов и методов сорбционного концентрирования»**, представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – Радиохимия.

Краткое содержание доклада:

Основной целью представленной работы является разработка комплекса методологических решений для определения техногенных (^{90}Sr , ^{137}Cs), природных (^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}Th) и космогенных (^7Be , ^{32}P , ^{33}P) радионуклидов в высокосолевых водных системах, включая морскую воду, для решения фундаментальных и научно-ориентированных задач в радиоэкологии, экологии, океанологии и радиохимии.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– выбрать/синтезировать и охарактеризовать сорбенты различной природы: 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 (ферроцианидные сорбенты), композитные материалы на основе силиката бария, полимерные матрицы (резорцин формальдегидные смолы);

– путем моделирования изучить процессы сорбции широкого круга радионуклидов из морской воды на различных материалах, определить основные равновесные и кинетические параметры процесса сорбции, характеристики и механизмы сорбции для выбора наиболее эффективных материалов для сорбционного концентрирования в динамическом режиме;

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

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

– оценить особенности распределения космогенных, природных и техногенных радионуклидов в Черном море;

– исследовать субмаринную разгрузку подземных вод как потенциального источника пресной воды в акватории Балаклавского побережья с использованием радиотрассерных методов;

– оценить количественные показатели седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря с использованием пар $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ и $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$; сезонную изменчивость параметров биодинамики фосфора с использованием космогенных изотопов ^{32}P и ^{33}P , как показателей экологического состояния, на примере акватории Гераклеийского полуострова.

В докладе приведены результаты решения поставленных задач. Разработан комплекс методологических решений для определения техногенных, природных и космогенных радионуклидов в высокосолевых водных системах, включая морскую воду, для решения фундаментальных и научно-ориентированных задач в радиоэкологии, экологии, океанологии и радиохимии.

Выбран, 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), оксида фосфора(V), неорганические матрицы с комплексообразующими лигандами (ферроцианидные сорбенты), композитные

материалы на основе силиката бария, полимерные матрицы (резорцин формальдегидные смолы).

Проведено моделирование процессов сорбции широкого круга радионуклидов из морской воды на данных материалах для выявления основных равновесных и кинетических параметров процесса сорбции, характеристик и механизма сорбции для выбора наиболее эффективных материалов для сорбционного концентрирования в динамическом режиме. Установлено, что следующие сорбенты оптимальны для выделения из морской воды: ^{137}Cs – ферроцианидные сорбенты; ^{90}Sr – сорбционно-реагентный материал на основе силиката бария (СРМ-Sr) и сорбенты на основе диоксида марганца; Р – сорбенты на основе гидроксида железа(III); Ве – сорбенты на основе диоксида марганца и гидроксида железа(III). Для выбранных сорбционных систем определены конкретные режимы выделения указанных изотопов в динамических условиях.

Разработаны подходы к масштабированию процесса динамического сорбционного концентрирования и количественного определения в морской воде космогенных (^7Be , ^{32}P , ^{33}P), природных (^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}Th) и техногенных (^{137}Cs) радионуклидов для решения практических задач. Благодаря разработанным способам концентрирования радионуклидов с последующим определением существенно повышена правильность результатов анализа при исследовании больших объемов образцов (более 200 л) в условиях морских экспедиций.

С использованием разработанных методик решен ряд важных задач морской радиохимии: получено подробное распределение ^{137}Cs в акватории Черного моря; впервые определены вертикальные профили активности ^{32}P , ^{33}P , ^{228}Ra и пространственную изменчивость концентраций ^{210}Pb и ^{228}Ra в Черном море; впервые проведена оценка потоков субмаринной разгрузки подземных вод на мысе Айя с использованием ^{226}Ra и ^{228}Ra , установлена возможность использования данного источника путем каптирования как потенциального источника пресной воды; 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}P и ^{33}P , установлена повышенная антропогенная нагрузка в исследуемом регионе.

После доклада Бежина Н.А. были заданы следующие вопросы:

к.х.н. Матвеев П.И. (МГУ имени М.В. Ломоносова):

1. При исследовании кинетики сорбции использовали ли перемешивание? За счет чего осуществлялось перемешивание?

2. Есть ли закономерность между результатами кинетики сорбции и результатами, которые получились в динамических экспериментах?

д.х.н. Марютина Т.А. (ГЕОХИ РАН):

1. На какие группы можно разбить все радионуклиды? В докладе упоминается три группы радионуклидов, какие еще группы радионуклидов существуют?

к.г.-м.н. Зайцев В.А. (ГЕОХИ РАН):

1. Как выбираются оптимальные условия использования сорбентов в экспедиционных условиях?

2. Каким образом хозяйственная и туристическая деятельность может привести к увеличению содержания радиоактивного фосфора?

д.х.н. Милютин В.В. (ИФХЭ РАН):

1. Эффективность используемых сорбентов зависит от содержания активного компонента в сорбентах или есть влияние фактора увеличения удельной поверхности, размера пор?

к.х.н. Никашина В.А. (ГЕОХИ РАН):

1. Не пробовали ли Вы использовать природные сорбенты в своих исследованиях? Например, сорбцию на природном клиноптилолитсодержащем туфе?

к.х.н. Казаков А.Г. (ГЕОХИ РАН):

1. Может стоит указать на слайдах стоимость оптимальных сорбентов с точки зрения получения больших объемов сорбентов и доступности?

2. Насколько общепринят термин «морская радиохимия»?

академик, д.х.н. Мясоедов Б.Ф. (президиум РАН):

1. В чем больше Ваш вклад, в разработке методов количественного выделения из больших объемов проб или же конкретные данные содержания радионуклидов в водах Черного моря?

2. Почему в докладе не сказано о специфике исследуемого Черного моря?

При обсуждении работы выступили:

чл.-корр. РАН, д.х.н. Тананаев И.Г. (КНЦ РАН) (научный консультант) – отметил, что Бежин Н.А. в процессе подготовки материалов диссертационной работы выполнил большой объем теоретической и экспериментальной работы, в том числе экспедиционной, проявил себя как ответственный и инициативный специалист, способный самостоятельно сформулировать основные направления и задачи исследования. Подготовленная диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – Радиохимия, и может быть представлена к рассмотрению в диссертационный совет.

д.х.н. Харитонов О.В. (ИФХЭ РАН) (рецензент, рецензия прилагается) – отметил значимость представленной работы. Автором проведен выбор наиболее эффективных сорбционных материалов и параметров процесса извлечения техногенных, природных и космогенных радионуклидов из больших объемов морской воды, разработан комплекс методологических решений для определения радионуклидов в морской воде для решения фундаментальных и научно-ориентированных задач в радиоэкологии, экологии, океанологии и радиохимии. Изменения, внесенные в диссертационную работу, положительно повлияли на ее представление. Доклад стал более полным и более объемным. Кардинально переработана часть, которая относится к введению. Практическая значимость работы не вызывает сомнений. Достоверность и обоснованность научных положений, результатов и выводов обеспечена использованием современного сертифицированного аналитического оборудования, применением в работе различных методов исследования в независимых лабораториях, апробацией основных результатов работы на большом числе российских и международных конференций. Работа хорошо оформлена и содержит достаточное количество иллюстрационного материала, в том числе результатов, полученных в ходе экспедиционных исследований, является законченной исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне. Рекомендовал работу к защите в диссертационном совете ГЕОХИ РАН.

д.т.н. Соболев А.И. (на дату семинара временно не работает, до 12.2023 – ИБРАЭ РАН) (рецензент, рецензия прилагается) – отметил актуальность представленной диссертационной работы, особенно в связи с производимыми с АЭС Фукусима сбросами в морскую воду. Представленные автором диссертационной работы научные результаты и положения отличаются несомненной научной новизной. Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современного аналитического оборудования, применением различных методов исследования, а также апробацией основных результатов работы на большом числе российских и международных конференций. Практическая значимость диссертационной работы очевидна: в качестве важнейшего результата следует отметить разработанные методологические решения для концентрирования и определения радионуклидов различного происхождения из морской воды с использованием коммерчески доступных сорбентов и сорбентов, синтезированных автором. В работу внесены существенные доработки, переработаны разделы введения и выводов, улучшена лаконичность изложения и формулировок. Вместе с тем, необходимо скорректировать пятый вывод диссертации. Рекомендовал диссертационную работу к защите по специальности 1.4.13 – Радиохимия.

к.х.н. Захарченко Е.А. представила рецензию д.х.н. Полякова Е.В. (ИХТТ УрО РАН) (рецензент, рецензия прилагается) – отмечено, что Бежин Н.А успешно решил все основные задачи, сформулированные им для достижения поставленной цели. Диссертацию отличает современный экспериментальный уровень выполненных радиохимических и экспедиционных исследований, большой объём данных по физико-химическим свойствам разработанных сорбентов, механизмам сорбции, методикам проведения концентрирования радионуклидов. Результаты определения механизмов массопереноса радионуклидов в акватории Черного моря получены в процессе экспедиционных исследований и имеют большое значение для морской геохимии этого региона. По теме диссертации опубликованы 23 статьи в рецензируемых российских и международных научных изданиях. Большой объем выполненных исследований определил привлечение к тематике диссертационной работы ведущих представителей отечественной радиохимии (сотрудники ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН, ИХ ДВО РАН, МГИ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, ГЕОХИ РАН). Рекомендовал диссертационную работу к защите по специальности 1.4.13 – Радиохимия.

чл.-кор. РАН, д.х.н. Колотов В.П. (ГЕОХИ РАН) – отметил, что представленная работа выглядит законченной квалификационной работой, которая получила должное воплощение в текстах автореферата и диссертации, а также при представлении. Бежиным Н.А. учтены все замечания. Рекомендовал работу к защите в диссертационном совете ГЕОХИ РАН.

академик, д.х.н. Мясоедов Б.Ф. (президиум РАН) – отметил актуальность диссертационной работы, большой объем выполненных исследований. Предложил изменить название работы на «Концентрирование, выделение и определение техногенных и природных радионуклидов в морской воде», как наиболее полно отражающее суть работы. Рекомендовал улучшить представление работы путем уменьшения объема доклада. В заключении отметил, что замечания к докладу являются устранимыми, и рекомендовал диссертацию к защите в совете ГЕОХИ РАН.

чл.-корр. РАН, д.х.н. Хамизов Р.Х. (ГЕОХИ РАН) – отметил представление работы: подачу актуальности, фундаментальной идеи, физико-химических закономерностей, переход к масштабированию и решение практических задач. Указал на состоятельность работы. Согласился с изменением названия диссертации, отметил, что новое название будет наиболее адекватно отражать суть работы. Рекомендовал работу к защите в диссертационном совете ГЕОХИ РАН.

По итогам обсуждения принято следующее **заключение:**

- необходимо изменить название диссертационной работы на *«Концентрирование, выделение и определение техногенных и природных радионуклидов в морской воде».*

- диссертационная работа Бежина Н.А. *«Концентрирование, выделение и определение техногенных и природных радионуклидов в морской воде»* может быть

представлена к защите в диссертационном совете 24.1.195.01 в ГЕОХИ РАН на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – Радиохимия.

Постановили:

1. Диссертационная работа Бежина Н.А. «Концентрирование, выделение и определение техногенных и природных радионуклидов в морской воде» на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – Радиохимия выполнена с соблюдением требований, предъявляемых к докторским диссертациям и установленных в пунктах 9-11 и 13-14 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 "О порядке присуждения ученых степеней" (вместе с "Положением о присуждении ученых степеней") (в текущей ред.). В работе разработан комплекс методологических решений для определения техногенных (^{90}Sr , ^{137}Cs), природных (^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}Th) и космогенных (^7Be , ^{32}P , ^{33}P) радионуклидов в высокосолевых водных системах, включая морскую воду, для решения актуальных фундаментальных и научно-ориентированных задач радиохимии. Автором впервые определены вертикальные профили активности ^{32}P , ^{33}P , ^{228}Ra и пространственная изменчивость концентраций ^{210}Pb и ^{228}Ra в Черном море, проведена оценка потоков субмаринной разгрузки подземных вод на мысе Айя с использованием ^{226}Ra и ^{228}Ra , определены показатели седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря с использованием пар $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ и $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$, изучена сезонная изменчивость параметров биодинамики фосфора в акватории Гераклейского полуострова с использованием изотопов ^{32}P и ^{33}P .

Содержание диссертации соответствует специальности 1.4.13 – Радиохимия (отрасль наук – химические), а именно следующим областям исследований, предусмотренным паспортом этой специальности: 5. Методы выделения, разделения и очистки радиоактивных элементов и изотопов. Экстракционные, сорбционные, электрохимические, хроматографические процессы разделения в радиохимии. Ядерно-физические методы в радиохимии. 9. Формы существования и миграции радионуклидов в природных средах. Естественные и техногенные радионуклиды в биосфере. Определение радионуклидов в объектах окружающей среды. Радиоактивное загрязнение окружающей среды и возможности современной радиохимии в области мониторинга. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами.

Актуальность темы диссертационной работы. Концентрирование, выделение и определение техногенных и природных радионуклидов в морской воде необходимо для решения задач радиоэкологии, экологии, океанологии и радиохимии.

Одной из важных задач, которая может быть решена с использованием указанных выше методов, является радиоэкологический мониторинг. Радиоэкологическое состояние окружающей среды определяет содержание ^{137}Cs и

^{90}Sr . Постоянный контроль их поступления в моря и океаны, в особенности в прибрежную зону, актуален для нашей страны, омываемой двенадцатью морями. Несмотря на то, что в настоящее время активность данных радионуклидов в Мировом океане невелика, постоянный радиоэкологический мониторинг необходим, вследствие возможности возникновения аварийных ситуаций, связанных с работой предприятий ядерно-топливного цикла, а также враждебной террористической деятельностью со стороны не дружественных государств.

Важным инструментом для оценки экологического состояния планеты является ее тепловой баланс, который тесно связан с удалением избыточного количества углекислого газа из атмосферы. Основным его механизмом является оседание биогенной взвеси из поверхностного слоя гидросферы совместно с процессами фотосинтеза фитопланктона. Решить данную задачу возможно благодаря определению количественных показателей процессов седиментации взвешенного вещества и потоков взвешенного органического углерода (РОС). Это позволяют сделать природные радионуклиды ^{210}Pb , ^{210}Po и ^{234}Th . Однако в России данные исследования с использованием радиотрассерных методов ранее не проводились. В отечественной науке для изучения параметров седиментации применяются седиментационные ловушки, ограничением которых является небольшое количество специальных станций, сложность в эксплуатации, длительность эксперимента, ограничение минимальной глубиной залегания в 150 метров из-за морского судоходства. Это не дает возможности получить подробное распределение и делает такие исследования недостаточно достоверными.

Важнейшим условием для выживания и развития экономики региона или страны является наличие достаточного количества такого жизненно важного ресурса как пресная вода. Особенно эта проблема остро стоит для вододефицитных регионов, таких как Республика Крым и город Севастополь. Для поиска пресных подземных вод в приморских регионах, а также изучения процессов массопереноса в океане и на границе раздела с сушей используются изотопы радия ^{226}Ra и ^{228}Ra . Эти изотопы рекомендованы МАГАТЭ как трассеры для изучения субмаринной разгрузки подземных вод в прибрежных районах как источника технической и питьевой воды, что делает эту работу экономически обоснованной. Многочисленные субмаринные источники известны в Средиземноморском регионе, в Черном море и Восточно-Арктических морях России. Однако, в РФ они слабо изучены. В частности, в Черном море подобные исследования с использованием радиотрассерных методов ранее не проводились.

Значимым с точки зрения фундаментальной науки является понимание процессов, происходящих в поверхностном слое Мирового океана. Так малый период полураспада космогенного изотопа ^7Be (53,3 сут), его адсорбция на взвешенном веществе и отсутствие источников радионуклида в морской среде делают этот радионуклид полезным трассером для изучения процессов вертикального переноса. Распределение радионуклида ^7Be в Черном море было

хорошо изучено. Полученные данные позволили построить математическую модель распределения ^7Be в поверхностном слое Черного моря. Однако авторы для определения активности ^7Be использовали метод Силкера, предложенный еще в 60-х годах прошлого века. Данный метод подразумевает извлечение бериллия на оксиде алюминия. Однако эффективность извлечения при его использовании составляет всего 50 – 60 %, а вследствие малой активности ^7Be в морской воде и его малого периода полураспада приходится обрабатывать большой объем воды, который достигают от 2 до 8 м³.

Важным является получение более полных и точных оценок экологического состояния прибрежных акваторий. Эту возможность дает оценка параметров биодинамики фосфора с использованием космогенных радионуклидов ^{32}P и ^{33}P . Распределение активности ^{32}P и ^{33}P в морской воде в нашей стране ранее не изучалось.

Таким образом, в отечественной науке наблюдаются лишь единичные исследования концентрирования, выделения и определения техногенных и природных радионуклидов для решения вышеупомянутых задач. Поэтому разработка эффективных методов извлечения радионуклидов из морской воды является актуальной задачей.

При этом необходимо отметить, что морская вода является сложной химической системой, что обусловлено высоким солесодержанием (до 36 ‰), гетерогенностью субстанции и непостоянством характеристик, зависящих от места, времени, глубины отбора проб. Сочетание этих особенностей с низкой концентрацией большинства радионуклидов делает морскую воду одним из наиболее сложных объектов радиохимии, объемы проб для определения содержания некоторых радионуклидов достигают нескольких кубических метров.

Основным и наиболее эффективным методом концентрирования радионуклидов из морской воды является сорбция, что обусловлено возможностью проводить концентрирование из растворов большого объема, обеспечить селективное извлечение одного или нескольких радионуклидов, значительно упростить аналитическую процедуру по сравнению с процессами соосаждения. Преимуществом сорбции является ее высокая производительность, которая необходима для обработки большого количества проб и получения большого массива данных в экспедиционных исследованиях.

Однако необходимо отметить отсутствие методологии концентрирования, выделения и определения радионуклидов из морской воды с применением сорбционных материалов, фрагментарность многих исследований, не охватывающих всю специфику изучения процесса сорбции – от разработки сорбентов, изучения их характеристик до их практического применения. Кроме того, существующие в нашей стране коммерчески доступные сорбенты разработаны прежде всего для извлечения радионуклидов из радиоактивных отходов, имеющих среднюю и высокую активность.

Поэтому в настоящей работе проводятся исследования концентрирования ряда радионуклидов различного происхождения, космогенных – ^7Be , ^{32}P , ^{33}P , природных – ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{234}Th , техногенных – ^{90}Sr , ^{137}Cs из морской воды, включая выбор наиболее эффективных сорбентов и параметров процесса извлечения, создание методологии извлечения широкого спектра радионуклидов из морской воды, и изучение их поверхностного и вертикального распределения в Черном море.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– впервые проведено моделирование процессов сорбции широкого круга радионуклидов из морской воды, выявлены основные равновесные и кинетические параметры процесса сорбции, характеристики и механизмы сорбции для выбора наиболее эффективных сорбентов для сорбционного концентрирования в динамическом режиме;

– впервые для Черного моря получены вертикальные профили активности ^{32}P , ^{33}P , ^{228}Ra и пространственная изменчивость концентраций ^{210}Pb и ^{228}Ra ;

– впервые выполнено исследование и оценка потока субмаринной разгрузки подземных вод в акватории Балаклавского побережья с использованием радиотрассерных методов;

– впервые с использованием пары $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ 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}P и ^{33}P в растворенной и взвешенной формах определены количественные параметры биодинамики фосфора (степень, скорость и время обращения фосфора), изучена их сезонная изменчивость.

Практическая значимость работы.

– 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 (ферроцианидные сорбенты), композитные материалы на основе силиката бария, полимерные матрицы (резорцин формальдегидные смолы);

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

– обеспечена правильность результатов анализа при исследовании больших объемов образцов (более 250 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 $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ 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.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были представлены соискателем на следующих научных мероприятиях: V, VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Изотопы: технологии, материалы и применение» (Томск, 2018, 2020); международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность» (Севастополь, 2018, 2021); Всероссийской научной конференции «Моря России» (Севастополь, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023); IV, V, VI Всероссийской научной конференции молодых ученых «Комплексные исследования Мирового океана» (Севастополь, 2019; Калининград, 2020; Москва, 2021; Санкт-Петербург, 2023); 26th International Conference on Marine Science and Technology for Sustainable Development «PACON-2019» (Владивосток, 2019); Чтениях памяти академика Г.Г. Поликарпова «Радиохемозология: успехи и перспективы» (Севастополь, 2019); III, VI Международной (XVI, XIX Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск» (Обнинск, 2020, 2023); International Conference «Goldschmidt-2020» (Honolulu, 2020); Всероссийской он-лайн конференции «Актуальные проблемы изучения Черноморских экосистем» (Севастополь, 2020); VI Всероссийского симпозиума «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии» с международным участием» (Краснодар, 2021); Всероссийского симпозиума «Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях» (Севастополь, 2021, 2023); XXII Всероссийской научно-практической конференции «Дни науки – 2022» (Озёрск, 2022); X Российской конференции «Радиохимия» (Санкт-Петербург, 2022); X конференции молодых учёных «Океанологические исследования» (Владивосток, 2023).

Степень достоверности результатов. Работа выполнена на современном экспериментальном уровне, используемые методики исследования и проведённые расчёты являются корректными. Достоверность полученных результатов обеспечена применением современных апробированных методов лабораторных исследований и сертифицированного оборудования; достаточным объемом

проведенных экспериментальных исследований; воспроизводимостью данных и соответствием данных соискателя с известными литературными данными. Сформулированные выводы являются обоснованными и соответствуют полученным результатам.

Личный вклад автора заключался 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., Шибецкой Ю.Г., Слизченко Е.В., Разиной В.А.) и научным консультантом (член-корреспондентом РАН, д.х.н. Тананаевым И.Г.).

Исследования структуры сорбентов выполнены совместно с заведующим лаборатории сорбционных процессов, к.х.н. Егориным А.М. (ИХ ДВО РАН) и в.н.с. лаборатории фундаментальной и прикладной химии, к.х.н. Токарем Э.А. (СахГУ). Определение активности ^{137}Cs на сцинтилляционном гамма-спектрометре выполнялись совместно с с.н.с. отдела биогеохимии моря, к.г.н. Кременчуцким Д.А. (МГИ РАН). Определение активности радионуклидов на полупроводниковом гамма-спектрометре выполнялось совместно с в.н.с. лаборатории дозиметрии и радиоактивности окружающей среды, д.х.н. Сапожниковым Ю.А. (МГУ им. М.В. Ломоносова) и с.н.с. лаборатории радиохимии окружающей среды Борисовым А.П. (ГЕОХИ РАН). Автор выражает им благодарность за помощь и поддержку при проведении исследований.

Публикации. Полученные экспериментальные результаты и выводы в полном объеме опубликованы в 23 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК (из них 20 входят в перечень рецензируемых научных изданий из международных систем цитирования WoS/Scopus, 6 – в список RSCI). Результаты работы представлены в 46 тезисах докладов на российских и международных конференциях. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным в пп. 9-11, 13-14 "Положения о порядке присуждения ученых степеней».

2. Рекомендовать диссертационную работу Н.А. Бежина **«Концентрирование, выделение и определение техногенных и природных радионуклидов в морской воде»**, представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – Радиохимия, для защиты на диссертационном совете 24.1.195.01 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

3. Рекомендовать в качестве **официальных оппонентов**:

Харитонова Олега Викторовича, д.х.н., главного научного сотрудника лаборатории хроматографии радиоактивных элементов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН);

Полякова Евгения Валентиновича, д.х.н., заведующего лабораторией физико-химических методов анализа Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химии твёрдого тела Уральского отделения Российской академии наук (ИХТТ УрО РАН);

Смирнова Игорь Валентиновича, д.х.н., ученого секретаря – начальника отдела ученого секретаря Акционерного общества «Радиевый институт имени В.Г. Хлопина».

5. Рекомендовать в качестве **ведущей организации**: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва

Результаты голосования: «за» - 30, «против» - 0, «воздержалось» - 0, протокол № 2 от 22.03.2024.

Председатель семинара,
чл.-корр. РАН, д.х.н.



Владимир Пантелеймонович Колотов

Секретарь семинара, к.х.н.



Елена Александровна Захарченко

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной деятельности

ФГАОУ ВО «Севастопольский

государственный университет»

И.В.Игнатьев М.П.



20 22г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Севастопольский государственный университет»
(ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»)

Диссертация **«Сорбционное концентрирование природных, космогенных и техногенных радионуклидов из морской воды»** выполнена в ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет».

В период подготовки диссертации Бежин Николай Алексеевич работал в должностях доцента и старшего научного сотрудника кафедры «Химия и химические технологии» Института ядерной энергии и промышленности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет».

В 2010 г. Бежин Н.А. окончил Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности по специальности «Химические технологии редких рассеянных элементов и материалов на их основе».

В 2014 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Извлечение стронция из жидких радиоактивных отходов сорбентом, импрегнированным дибензо-18-краун-6» по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность (ДК № 023219, выдан 26 июня 2014 года).

В 2018 г. получил звание доцента по специальности 05.17.02 – технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов (ЗДЦ № 017441, выдан 5 сентября 2018 года).

Научный консультант – Тананаев Иван Гундарович, доктор химических наук, член-корреспондент РАН, заместитель генерального директора по научно-инновационной работе ФИЦ «Кольский научный центр РАН».

(выписка из протокола межкафедрального семинара кафедры «Химия и химические технологии» от 26 октября 2022 года)

Присутствовало 32 человека: академик РАН, д.б.н., профессор Егоров В.Н. (ФИЦ ИнБЮМ), член-корреспондент РАН, д.х.н. Тананаев И.Г. (ФИЦ КНЦ РАН), д.х.н., профессор Пестряков А.Н. (ТПУ), д.ф.-м.н., профессор Дегтерев А.Х., д.т.н., профессор Акимов А.М., д.т.н., доцент Моисеев Д.В., к.х.н., доцент Омельчук Ю.А., к.х.н., доцент Толстенко Ю.В., к.х.н., доцент Лукина Л.И., к.т.н., доцент Магдыч Е.А., к.т.н., доцент Кучерик Г.В., к.т.н., доцент Дербасова Н.М., к.т.н., доцент Черкашина Н.И., к.т.н., доцент Ткаченко Э.В., к.т.н., доцент Ковалев Н.И., к.т.н. Козырь Д.А., к.пед.н., доцент Федорова С.А. (все – СевГУ), к.х.н., доцент Сарнит Е.А., к.х.н., доцент Вяткина О.В., к.х.н., доцент Панов Д.А. (все – КФУ им. В.И. Вернадского), к.х.н. Янковская В.С. (ЦГиЭ в Республике Крым и городе федерального значения Севастополе), к.х.н. Капранов С.В., к.б.н. Мирзоева Н.Ю., к.б.н. Терещенко Н.Н., к.б.н. Гуреева Е.В. (все – ФИЦ ИнБЮМ), к.г.н. Кременчуцкий Д.А. (ФИЦ МГИ), к.х.н. Пыряев А.Н. (ИГМ СО РАН), к.г.-м.н. Хващевская А.А. (ТПУ), к.г.-м.н. Никитенков А.Н. (ТПУ), к.г.-м.н. Новиков Д.А. (ИНГГ СО РАН), к.г.-м.н. Корнеева Т.В. (ИНГГ СО РАН), к.т.н. Мороз Н.А. (ВНИИАЭС).

Председатель: к.т.н., доцент Магдыч Е.А.

Слушали: доклад Бежина Н.А. по диссертационной работе на тему: **«Сорбционное концентрирование природных, космогенных и техногенных радионуклидов из морской воды»**, представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – Радиохимия.

Краткое содержание доклада:

Целью диссертационной работы является исследование физико-химических и сорбционных характеристик собственных и коммерчески доступных сорбентов для извлечения радионуклидов из растворов морской воды на природном изотопном составе (стронций, в том числе как аналог радия)

или с добавкой стабильного носителя (фосфор, цезий, бериллий) и разработка методов сорбционного концентрирования космогенных (^7Be , ^{32}P , ^{33}P), природных (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}Th) и техногенных (^{90}Sr , ^{137}Cs) радионуклидов из морской воды с использованием наиболее эффективных сорбентов.

В соответствии с поставленной целью потребовалось решить следующие задачи:

– разработка новых и оптимизация известных методик получения сорбентов импрегнированного типа на основе диоксида марганца, гидроксида железа(III) и ди-*трет*-бутилдициклогексил-18-краун-6;

– испытание собственных и коммерчески доступных сорбентов для извлечения радионуклидов из растворов морской воды на природном изотопном составе (стронций, в том числе как аналог радия) или с добавкой стабильного носителя (фосфор, цезий, бериллий) при различной скорости элюирования с целью определения наиболее эффективных сорбентов;

– испытание сорбентов для извлечения микроколичеств ^{90}Sr и ^{137}Cs из морской воды;

– определение физико-химических характеристик сорбентов на природном содержании (стронций, в том числе как аналог радия) или с добавкой стабильного носителя (цезий, фосфор, бериллий), включая определение оптимальных параметров процесса извлечения;

– оценка эффективности извлечения космогенных (^7Be , ^{32}P , ^{33}P), природных (^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}Th) и техногенных радионуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs) из морской воды сорбентами различных типов;

– разработка новых и адаптация известных методик извлечения широкого спектра радионуклидов из морской воды с использованием собственных и коммерчески доступных сорбентов;

– исследование поверхностного и вертикального распределения космогенных, природных и техногенных радионуклидов в Черном море с использованием разработанных методик, а также субмаринной разгрузки подземных вод на мысе Айя и биодинамики фосфора в акватории бухты Ласпи.

В докладе приведено решение поставленных целей и задач. Предложены и оптимизированы методики получения сорбентов импрегнированного типа на основе диоксида марганца (ПАН- MnO_2), гидроксида железа(III) (ПАН- $\text{Fe}(\text{OH})_3$) и ди-*трет*-бутилдициклогексил-18-краун-6 (Sorbentex-Sr). Полученные образцы

сорбентов охарактеризованы физико-химическими методами исследования структуры – инфракрасной спектроскопией, дериватографией, сканирующей электронной микроскопией.

Установлены сорбционные (коэффициенты распределения, ДОЕ и ПДОЕ) и физико-химические (изотерма, кинетика) параметры извлечения цезия из морской воды сорбентами на основе ферроцианидов переходных металлов (Анфеж, Никет, Уникет, ФСС, ФД-М, ФЖУ, Термоксид 35, НКФ-Ц), резорцино-формальдегидного полимера (Axionit RCs), фосфата циркония (Термоксид 3А), стронция – сорбентами на основе оксида марганца (ПАН-MnO₂, Модикс, МДМ, ДММ), оксида фосфора (ФД), гидроксида циркония (Термоксид 3К), силиката бария (СРМ-Sr), бериллия и фосфора – гранулированным оксидом алюминия, активированным углем, импрегнированным Fe(OH)₃ (ФЖУ А) и волокнистыми сорбентами, импрегнированными Fe(OH)₃ (ПАН-Fe(OH)₃). Определены наиболее эффективные сорбенты, оптимальные параметры процесса извлечения из морской воды.

Проведена оценка эффективности извлечения космогенных (⁷Be, ³²P, ³³P), природных (²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²³⁴Th) и техногенных радионуклидов (⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs) из морской воды сорбентами различных типов. Установлено, что наилучшую эффективность сорбции ³²P, ³³P из морской вод показывает сорбент Fe-Н, ⁷Be – сорбенты Модикс, ФД и Fe-Н, ¹³⁷Cs – ферроцианидные сорбенты Никет, Уникет, Термоксид 35 и ФЖУ.

Сорбенты Модикс, МДМ, ДММ, СРМ-Sr и ПАН-MnO₂ эффективно извлекают ²²⁶Ra, ²²⁸Ra и ²³⁴Th из морской воды. Однако показывают низкую эффективность извлечения ⁹⁰Sr из морской воды из-за высокого общего содержания солей в морской воде и высокой концентрации ближайшего аналога стронция – кальция и ряда других микрокомпонентов, например, изотопов радия, которые сорбируются на этих материалах лучше, чем стронций. Поэтому для радиоаналитического определения ⁹⁰Sr в морской воде выбран селективный сорбент собственного производства на основе ди-*трет*-бутилдициклогексил-18-краун-6.

По полученным результатам разработаны новые и адаптированы известные методики извлечения широкого спектра радионуклидов из морской воды с использованием собственных и коммерчески доступных сорбентов.

Проведено исследование поверхностного и вертикального распределения космогенных, природных и техногенных радионуклидов в Черном море с использованием разработанных методик. Так на НИС «Профессор Водяницкий» в ходе 95 (14 июня – 4 июля 2017 г.) и 121 (19 апреля – 14 мая 2022 г.) рейсах проведено исследование поверхностного и вертикального распределения ^{137}Cs и ^{90}Sr , в ходе 101 рейса (14 – 28 декабря 2017 г.) – поверхностного распределения ^{210}Pb , в ходе 106 рейса (18 апреля – 13 мая 2019 г.) – поверхностного распределения ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{234}Th близ Гераклеийского полуострова, в ходе 113 (4 – 29 июня 2020 г.) и 116 (22 апреля – 17 мая 2021 г.) рейсов – поверхностного распределения ^7Be , ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{234}Th .

Проведено изучение сезонной изменчивости биодинамики фосфора в акватории бухты Ласпи с использованием изотопов ^{32}P и ^{33}P в ходе 103 рейса (28 августа – 20 сентября 2018 г.) 19 сентября 2018 г., 106 рейса (18 апреля – 13 мая 2019 г.) 12 мая 2019 г. и 113 рейсе (4 – 29 июня 2020 г.) 28 июня 2020 г. НИС «Профессор Водяницкий». Определены параметры обращения фосфора в неорганическую и взвешенную органическую формы.

Проведено изучение субмаринной разгрузки подземных вод в ходе прибрежных экспедиции на мыс Айя 23 марта 2019 г. и 19 июля 2020 г. По полученным данным активности изотопов ^{228}Ra и ^{226}Ra рассчитан дебит источника субмаринной разгрузки.

После доклада Бежину Н.А. были заданы следующие вопросы:

д.х.н., профессор Пестряков А.Н.

Насколько селективными к извлекаемым радионуклидам являются испытанные сорбенты?

д.ф.-м.н., профессор Дегтерев А.Х.

По каким механизмам идет сорбция радионуклидов различными сорбентами?

к.х.н., доцент Лукина Л.И.

Что показывают различные модели кинетики сорбции?

к.х.н. Пыряев А.Н.

Какие концентрации добавок использовались при изучении сорбции?

к.х.н., доцент Сарнит Е.А.

Проводилась ли десорбция сорбируемых радионуклидов?

д.т.н., доцент Моисеев Д.В.

Сформулируйте, что в целом дают разработанные в диссертации методы концентрирования?

к.т.н., доцент Ковалев Н.И.

Эксперименты проводились на модельных растворах или реальной морской воде?

к.г.-м.н. Новиков Д.А.

Фильтровались ли пробы морской воды непосредственно перед сорбцией? И если да, то как?

к.б.н. Мирзоева Н.Ю.

Какие приборы использовали для определения активности радионуклидов? Как проводилась их калибровка?

к.т.н. Мороз Н.А.

Для решения каких задач использовалось концентрирование радионуклидов из морской воды?

На все вопросы докладчик дал обоснованные и аргументированные ответы.

При обсуждении работы выступили:

член-корреспондент РАН, д.х.н. Тананаев И.Г. (научный консультант) отметил, что диссертационная работа Бежина Н.А. является результатом кропотливой работы, в которую вошли научные результаты, полученные при проведении научных исследований в рамках семи научных грантов, список которых приведен в тексте диссертационной работы и автореферате. Полученные результаты опубликованы в отечественных и зарубежных рецензируемых научных журналах, индексируемых системами Web of Science, Scopus и рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. Научный консультант также отметил, что в диссертации создана методология извлечения широкого спектра радионуклидов различного происхождения из морской воды, что позволило впервые провести оценку дебита субмаринного источника у мыса Айя с использованием долгоживущих изотопов радия, сезонной изменчивости биодинамики фосфора в бухте Ласпи с использованием ^{32}P и ^{33}P , а также поверхностного распределения ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{228}Ra в Черном море. Научный

консультант резюмировал, что диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, изложенным в пп. 9-11, 13-14 «Положении о присуждении ученых степеней», а ее автор Бежин Н.А. заслуживает присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – Радиохимия.

д.ф.-м.н., профессор Дегтерев А.Х. отметил, что работа удовлетворяет требованиям ВАК к докторским диссертациям и может быть представлена к защите на диссертационном совете. Кроме того, Дегтерев А.Х. рекомендовал переформулировать цель диссертационной работы и дополнительно поработать с выводами.

д.т.н., профессор Акимов А.М. отметил большой объем проделанной докладчиком экспериментальной работы и акцентировал внимание на необходимости улучшения презентационных материалов. Рекомендовал диссертационную работу к защите.

к.б.н. Мирзоева Н.Ю. согласилась с мнением выступающих о докладе и отметила, что результаты, изложенные в диссертации, имеют большое значение для решения задач океанологии и радиоэкологии.

По результатам обсуждения принято следующее заключение:

Заключение: диссертационная работа Бежина Н.А. «Сорбционное концентрирование природных, космогенных и техногенных радионуклидов из морской воды» может быть представлена к защите на диссертационном совете 24.1.195.01 в ГЕОХИ РАН на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – Радиохимия.

Постановили:

1. Диссертационная работа Бежина Н.А. «Сорбционное концентрирование природных, космогенных и техногенных радионуклидов из морской воды» на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – Радиохимия выполнена с соблюдением требований, предъявляемых к докторским диссертациям. В данной работе изложены новые научно обоснованные решения сорбционного концентрирования природных, космогенных и техногенных радионуклидов из морской воды, внедрение которых вносит значительный вклад в упрощение изучения распределения радионуклидов в морях и океанах для решения океанологических и радиоэкологических задач.

Содержание диссертации соответствует специальности 1.4.13 – Радиохимия, а именно следующим областям исследований, предусмотренным паспортом этой специальности:

п. 5 – Методы выделения, разделения и очистки радиоактивных элементов и изотопов. Экстракционные, сорбционные, электрохимические, хроматографические процессы разделения в радиохимии. Ядерно-физические методы в радиохимии.

п. 7 – Определение радиоактивных элементов и изотопов. Методы радиохимического анализа. Авторадиография. Аналитический контроль радиохимических производств. Радиохимические аспекты радиационной безопасности.

п. 9 – Формы существования и миграции радионуклидов в природных средах. Естественные и техногенные радионуклиды в биосфере. Определение радионуклидов в объектах окружающей среды. Радиоактивное загрязнение окружающей среды и возможности современной радиохимии в области мониторинга. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами.

Актуальность работы. Морская вода является сложной химической системой, что обусловлено высоким солесодержанием (до 36 ‰), наличием взвешенного вещества и непостоянством характеристик, зависящих от места, времени, глубины отбора проб. Сочетание этих особенностей с низкой концентрацией большинства радионуклидов делает морскую воду одним из наиболее сложных объектов радиохимии, объемы проб для определения содержания некоторых радионуклидов достигают нескольких кубических метров. Все это приводит к трудностям при получении большого объема натуральных данных необходимых для решения задач океанологии и радиоэкологии.

Определение природных значений активности радионуклидов в морской воде и на взвеси используется для радиоэкологического мониторинга и изучения ряда океанологических процессов, в том числе вертикального переноса, определение потоков взвешенного органического вещества, биодинамики фосфора, субмаринной разгрузки подземных вод и т.д.

Кроме того, большой интерес представляет сорбционное извлечение, концентрирование и выделение наиболее опасных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из радиоактивных отходов, содержащих морскую воду. Эти отходы образуются

при работе атомных подводных лодок, атомных ледоколов, большие количества подобных РАО образовалось при аварии на АЭС Фукусима.

Поэтому разработка эффективных методов извлечения радионуклидов из морской воды является актуальной задачей.

Сорбционные методы получили широкое распространение в морской радиохимии. При этом поиск эффективных сорбентов, определение степени извлечения радионуклидов или параметров процесса количественного извлечения радионуклидов из морской воды продолжается. Разработки в данной области проводят десятки исследователей, в тоже время необходимо отметить отсутствие единой методологии с учетом специфики использования сорбентов, имеющих различное строение и фрагментарность многих исследований, не охватывающих всю специфику изучения процесса сорбции – от разработки сорбентов, изучения их характеристик и до их практического применения.

В настоящей работе проводятся исследования концентрирования ряда радионуклидов различного происхождения, космогенных – ^7Be , ^{32}P , ^{33}P , природных – ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{234}Th , техногенных – ^{137}Cs , ^{90}Sr из морской воды, включая выбор наиболее эффективных сорбентов и параметров процесса извлечения, создание методологии извлечения широкого спектра радионуклидов из морской воды, и изучение их поверхностного и вертикального распределения в Черном море.

Научная новизна:

– впервые проведены испытания собственных и коммерчески доступных сорбентов для извлечения радионуклидов из растворов морской воды на природном изотопном составе (стронций, в том числе как аналог радия) или с добавкой стабильного носителя (фосфор, цезий, бериллий) с целью определения наиболее эффективных сорбентов;

– впервые определены сорбционные и кинетические закономерности извлечения, включая определение оптимальных параметров процесса извлечения;

– впервые определены количественные показатели сорбции микроколичеств радионуклидов из морской воды;

– проведены исследования поверхностных и вертикальных распределений космогенных, природных и техногенных радионуклидов в Черном море;

– впервые проведена оценка субмаринной разгрузки подземных вод на мысе Айя и биодинамики фосфора в акватории бухты Ласпи с использованием радиотрассерных методов.

Практическая значимость:

– получены и определены составы сорбентов импрегнированного типа на основе диоксида марганца, гидроксида железа(III) и ди-*трет*-бутилдициклогексил-18-краун-6 для выделения радионуклидов из морской воды;

– проведены укрупненные испытания наиболее эффективных сорбентов для извлечения космогенных, природных и техногенных радионуклидов из морской воды;

– создана методология извлечения широкого спектра радионуклидов из морской воды для решения фундаментальных задач океанологии и радиоэкологии;

– впервые проведены испытания по разработанным методикам в пробах морской воды, отработаны разработанные методики.

Достоверность полученных результатов обеспечена применением современных апробированных методов лабораторных исследований и сертифицированного оборудования; достаточным объемом проведенных экспериментальных исследований; воспроизводимостью данных и соответствием данных соискателя с известными литературными данными.

Личный вклад автора заключался в постановке целей и задач исследования, обобщении результатов, формулировке выводов; планирование и выполнение экспериментальных исследований, их интерпретация и написание статей выполнялись совместно с аспирантами (Козловской О.Н., Шибецкой Ю.Г., Слизченко Е.В.) и научным консультантом (член-корреспондентом РАН, д.х.н. Тананаевым И.Г.).

Полученные экспериментальные результаты и выводы в полном объеме опубликованы в 1 патенте и 23 статьях в отечественных и зарубежных рецензируемых научных журналах, индексируемых системами Web of Science, Scopus и рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным в пп. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении

ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. в ред. Постановления № 1690 от 26 сентября 2022 г.)

2. Рекомендовать диссертационную работу Бежина Н.А. «Сорбционное концентрирование природных, космогенных и техногенных радионуклидов из морской воды» на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – Радиохимия к защите на диссертационном совете 24.1.195.01 в ГЕОХИ РАН.

Заключение принято на межкафедральном семинаре кафедры «Химия и химические технологии» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет». Присутствовало на семинаре 32 чел. Результаты голосования: «за» – 32 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 1 от «26» октября 2022 г.

Председатель семинара,
зав. каф. «Химия и химические
технологии», к.т.н., доцент

Е.А. Магдыч

Секретарь семинара,
зав. каф. «Радиоэкология и экологическая
безопасность», к.т.н., доцент

Г.В. Кучерик

РЕЦЕНЗИЯ

на диссертацию **Бежина Николая Алексеевича** «СОРБЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ, КОСМОГЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ» на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 (02.00.14) – Радиохимия

Актуальность работы

Морская вода является сложной химической системой, что обусловлено высоким содержанием (до 36 ‰), наличием взвешенного вещества и непостоянством характеристик, зависящих от места, времени, глубины отбора проб. Сочетание этих особенностей с низкой концентрацией большинства радионуклидов делает морскую воду одним из наиболее сложных объектов радиохимии, объемы проб для определения содержания некоторых радионуклидов достигают нескольких кубических метров. Все это приводит к трудностям при получении большого объема натуральных данных необходимых для решения задач океанологии и радиоэкологии.

Определение активности радионуклидов в морской воде и на взвеси используется для радиоэкологического мониторинга (^{137}Cs , ^{90}Sr) и изучения ряда океанологических процессов, в том числе вертикального переноса (^7Be , ^{32}P , ^{33}P), определение параметров седиментации и потоков взвешенного органического вещества (^{210}Pb , ^{210}Po , ^{234}Th), биодинамики фосфора (^{32}P , ^{33}P), субмаринной разгрузки подземных вод (^{226}Ra , ^{228}Ra) и т.д.

Кроме того, большой интерес представляет сорбционное извлечение, концентрирование и выделение наиболее опасных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из радиоактивных отходов, содержащих морскую воду. Эти отходы образуются при работе атомных подводных лодок, атомных ледоколов, большие количества подобных РАО образовалось при аварии на АЭС Фукусима.

Поэтому актуальным является разработка эффективных методов сорбционного концентрирования радионуклидов различного происхождения, космогенных – ^7Be , ^{32}P , ^{33}P , природных – ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{234}Th , техногенных – ^{90}Sr , ^{137}Cs из морской воды, включая выбор наиболее эффективных сорбентов и параметров процесса извлечения, и изучение их поверхностного и вертикального распределения в Черном море.

Целями диссертационной работы являлось исследование физико-химических и сорбционных характеристик полученных и коммерчески доступных сорбентов для извлечения радионуклидов из морской воды на природном изотопном составе (стронций, в том числе как аналог радия) или с добавкой стабильного носителя (цезий, фосфор, бериллий) и разработка методов сорбционного концентрирования космогенных (^7Be , ^{32}P , ^{33}P), природных (^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}Th) и техногенных (^{90}Sr , ^{137}Cs) радионуклидов из морской воды с использованием наиболее эффективных сорбентов для решения радиоэкологических и океанологических задач.

Научная новизна работы:

– проведены испытания полученных и коммерчески доступных сорбентов для извлечения радионуклидов из растворов морской воды на природном изотопном составе (стронций, в том числе как аналог радия) или с добавкой стабильного носителя (фосфор, цезий, бериллий) с целью определения наиболее эффективных сорбентов;

- впервые определены сорбционные и кинетические закономерности извлечения, включая определение оптимальных параметров процесса извлечения;
- впервые для Черного моря получены вертикальные профили активности ^{32}P , ^{33}P , ^{228}Ra и пространственная изменчивость концентраций ^{210}Pb и ^{228}Ra ;
- впервые выполнено исследование и оценка потока субмаринной разгрузки подземных вод на мысе Айя с использованием радиотрассерных методов;
- впервые с использованием пары $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ выполнена оценка количественных показателей седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря;
- впервые для акватории бухты Ласпи и Балаклавского побережья Черного моря с использованием данных объемной активности ^{32}P и ^{33}P в растворенной и взвешенной формах определены количественные параметры биодинамики фосфора (степень, скорость и время обращения фосфора), изучена их сезонная изменчивость.

Практическая значимость:

- получены и определены составы сорбентов на основе диоксида марганца и гидроксида железа(III) для выделения радионуклидов различного происхождения из морской воды, впервые предложен способ модифицирования волокна гидроксидом железа(III) с использованием феррата натрия в щелочной среде;
- проведены укрупненные испытания сорбентов различных типов для извлечения космогенных, природных и техногенных радионуклидов из морской воды;
- создана и отработана методология извлечения широкого спектра радионуклидов из морской воды с использованием наиболее эффективных сорбентов для решения фундаментальных задач океанологии и радиоэкологии;
- проведена оценка субмаринного источника на мысе Айя, 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 $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ и $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$, показана сопоставимость полученных результатов;
- проведена комплексная экологическая оценка состояния акватории бухты Ласпи и Балаклавского побережья с использованием разработанных методик, получены показатели состояния прибрежных экосистем: значения содержания форм растворенного и взвешенного фосфора, параметры биодинамики фосфора.

Достоверность полученных результатов диссертационной работы обеспечена применением современных апробированных методов лабораторных исследований и сертифицированного оборудования; достаточным объемом проведенных экспериментальных исследований; воспроизводимостью данных и соответствием данных соискателя с известными литературными данными.

Основное содержание работы

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, отмечена ее научная новизна и практическое значение, сформулированы цели и задачи исследования, изложены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** приведены характеристики важнейших радионуклидов и их поведение в морской воде, проведены анализ литературных данных и обобщены результаты работ по

использованию сорбционных процессов для концентрирования важнейших техногенных, природных и космогенных радионуклидов из морской воды, рассмотрены преимущества и недостатки материалов, применяемых для проведения извлечения того или иного радионуклида, варианты проведения сорбционного извлечения.

Во **второй главе** представлена информация об используемых приборах, вспомогательных устройствах, материалах, растворах. Приведены характеристики коммерчески доступных сорбентов, использованных в работе для извлечения техногенных, природных и космогенных радионуклидов из морской воды. Описаны методики получения сорбентов на основе полиакрилонитрильного волокна и различных модификаторов: диоксида марганца ПАН-MnO₂ и гидроксида железа(III) ПАН-Fe(OH)₃. Приведены методики лабораторных испытаний сорбентов на морской воде в статических и динамических условиях. Представлены особенности пробоотбора больших объемов морской воды, методики укрупненных испытаний сорбентов в ходе экспедиционных работ, определения концентрации радионуклидов.

Третья глава посвящена подбору оптимальных условий и методов получения сорбентов на полиакрилонитрильном волокне ПАН-MnO₂ и ПАН-Fe(OH)₃. Представлены результаты исследования структуры полученных сорбентов с использованием инфракрасной спектроскопии, дифференциального термического и термогравиметрического анализа, сканирующей электронной микроскопии.

В **четвертой главе** приведены результаты испытаний полученных и коммерчески доступных сорбентов для извлечения радионуклидов из растворов морской воды на природном изотопном составе (стронций, в том числе как аналог радия) или с добавкой стабильного носителя (цезий, фосфор, бериллий) в статических и динамических условиях.

Определены коэффициенты распределения, значения динамической и полной динамической обменной емкости исследуемых сорбентов. Приведены выходные кривые сорбции цезия, стронция, фосфора и бериллия при различной скорости пропускания морской воды.

Пятая глава посвящена оценке зависимостей степени извлечения цезия, стронция, фосфора и бериллия из морской воды от времени сорбции (кинетика) и емкости исследуемых сорбентов от равновесных концентраций извлекаемых элементов в растворе (изотерма). Установлено время достижения сорбционного равновесия и максимальная емкость для каждого сорбента. Полученные результаты охарактеризованы с помощью уравнений изотерм Ленгмюра, Фрейндлиха и Дубинина-Радушкевича, а также кинетических моделей псевдопервого и псевдovторого порядка, внутричастичной диффузии и модели Еловича.

В **шестой главе** приведены результаты экспедиционных исследований на больших объемах морской воды по оценке эффективности извлечения радионуклидов полученными и коммерчески доступными сорбентами, изучению распределения радионуклидов различного происхождения в Черном море.

По полученным результатам разработаны новые и адаптированы известные методики извлечения широкого спектра радионуклидов из морской воды с использованием наиболее эффективных сорбентов. Впервые с использованием радиотрассерных методов проведено изучение и оценка потоков субмаринной разгрузки подземных вод на мысе Айя. Полученные по активностям изотопов ²²⁶Ra и ²²⁸Ra величины потоков субмаринной разгрузки (более 7000 м³/сут) указывают на возможность использования данного источника путем каптирования как

потенциального источника пресной воды. Выполнена оценка количественных показателей седиментации (потока, скорости седиментации и периода биогеохимического круговорота) взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря с использованием пар $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ и $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$. Впервые с использованием изотопов ^{32}P и ^{33}P проведена оценка сезонной изменчивости параметров биодинамики фосфора в акватории бухты Ласпи и Балаклавского побережья. Определены время, скорость и степень обращения фосфора в неорганическую и взвешенную органическую формы. Установлены повышенные значения параметров биодинамики фосфора в весенний и летний период, объясняющиеся особенностью хозяйственной и курортной деятельности поселка городского типа Ласпи и города Балаклавы, которая негативно влияет на состояние морской экосистемы, однако на сегодняшний день не приводит к серьезным экологическим последствиям в виде эвтрофикации прибрежной зоны.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. В методической части описание методик анализов чрезмерно детализировано. Достаточно было привести соответствующие ссылки.
2. С.100. Термин стабильные изотопы представляется неуместным. В исследуемую систему вводятся природные химические элементы и далее изучаются количественные характеристики этих элементов. Не указаны хим. формы вносимого в растворы фосфора.
3. С.124. В табл.3.1 не указаны погрешности сорбционных показателей.
4. В главах 1 и 4 при изучении сорбции радионуклидов в динамических условиях скорость пропускания следует выражать не в мл/мин, а либо в мл/мин·см² площади сечения колонны, либо в колоночных объемах (к.о.) на единицу времени.
5. С.212. При обосновании оптимальности скорости пропускания морской воды через сорбенты следует приводить такой важный параметр, как соотношение высоты слоя сорбента к диаметру колонки.
6. С.212 Как достигается и чем контролируется равномерность распределения стабильной добавки цезия во всем объеме пробы большого объема?
7. С.225 Проводилась ли оценка потерь определяемых радионуклидов при озолении?

Высказанные выше замечания носят не принципиальный характер и не влияют на общую положительную оценку данной диссертационной работы. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций сомнений не вызывает. Основные выводы диссертанта убедительно подтверждены полученными экспериментальными результатами, в том числе полученными при проведении морских экспедиционных исследований на больших объемах морской воды.

Законченность и полноту исследования подтверждают наличие 20 статей, в том числе в журналах Q1 и Q2 из списков Web of Science и Scopus. Результаты работы неоднократно докладывались на престижных российских и международных конференциях.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Заключение

Представленная диссертационная работа Бежина Н.А. соответствует паспорту специальности 1.4.13 - радиохимия в области исследований «Методы выделения, разделения и очистки радиоактивных элементов и изотопов. Экстракционные, сорбционные, электрохимические, хроматографические процессы разделения в радиохимии. Ядерно-физические методы в радиохимии» и «Формы существования и миграции радионуклидов в

природных средах. Естественные и техногенные радионуклиды в биосфере. Определение радионуклидов в объектах окружающей среды. Радиоактивное загрязнение окружающей среды и возможности современной радиохимии в области мониторинга. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами», что позволяет классифицировать представленную работу по отрасли наук – «Химические науки».

Диссертационная работа Бежина Николая Алексеевича полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным в п.9 Постановления правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 №842 в ред. от 18.03.2023 (вместе с «Положением о присуждении ученых степеней»), является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема исследования поведения важнейших природных, космогенных и техногенных радионуклидов в морской воде с целью их сорбционного концентрирования для решения радиоаналитических, радиоэкологических и океанологических задач, что вносит значительный вклад в радиохимию и способствует повышению технологической и экологической безопасности страны.

Работа может быть представлена в диссертационный совет ГЕОХИ РАН на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – радиохимия.

Рецензент:

Харитонов Олег Викторович, доктор химических наук (специальность 02.00.14- радиохимия), главный научный сотрудник лаборатории хроматографии радиоактивных элементов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН)

Почтовый адрес: 119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4

Телефон: +7(495) 955-46-01, e-mail: ovxa@mail.ru

Я, Харитонов Олег Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

« 05 » июня 2023 г.

Подпись Харитонova Олега Викторовича заверяю:
Зав. канцелярией ИФХЭ РАН
Емельянова Н.А.


(подпись)



ПОВТОРНАЯ РЕЦЕНЗИЯ

на диссертацию **Бежина Николая Алексеевича** «Решение задач морской радиохимии с использованием природных, космогенных и техногенных радионуклидов и методов сорбционного концентрирования», представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – Радиохимия

При повторном рассмотрении диссертации Бежина Н.А., представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13– Радиохимия хочу отметить следующее:

1. Изменено название диссертации, которое более точно определяет цель и содержание диссертации.
2. Значительно переработано введение: более четко сформулированы цели, задачи, научная новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту.
3. Изменены и более грамотно сформулированы выводы.
4. Более наглядно представлены графики и рисунки.
5. В главе 5 добавлены выводы по результатам лабораторных испытаний сорбентов.
6. По-новому сгруппированы графики зависимости эффективности сорбции от скорости пропускания морской воды - по радионуклидам, ранее - по сорбентам.
7. В главе 6 и в автореферате добавлена обобщенная таблица разработанных методик концентрирования радионуклидов из морской воды.
8. В главе 6 и в автореферате добавлена комплексная методика концентрирования радионуклидов из морской воды.
9. В автореферате более подробно отражено содержание 1 и 2 глав.
10. Практически все замечания по оформлению, указанные мной в первоначальной рецензии автором диссертации устранены.

На основании вышеизложенного считаю, что новая редакция диссертационной работы Бежина Н.А. значительно улучшилась и более строго соответствует паспорту специальности 1.4.13 - радиохимия в области исследований «Методы выделения, разделения и очистки радиоактивных элементов и изотопов. Экстракционные, сорбционные, электрохимические, хроматографические процессы разделения в радиохимии. Ядерно-физические методы в радиохимии» и «Формы существования и миграции радионуклидов в природных средах. Естественные и техногенные радионуклиды в биосфере. Определение радионуклидов в объектах окружающей среды. Радиоактивное загрязнение окружающей среды и возможности современной радиохимии в области мониторинга. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами», что позволяет классифицировать представленную работу по отрасли наук – «Химические науки».

Считаю, что диссертационная работа Бежина Николая Алексеевича полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным в п.9 Постановления правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 №842 в ред. от 18.03.2023 (вместе с «Положением о присуждении ученых степеней»), является законченной научно-квалификационной работой, в которой решены важные задачи морской радиохимии с использованием природных, космогенных и техногенных радионуклидов и методов их сорбционного концентрирования, что вносит значительный вклад в радиохимию и способствует повышению технологической и экологической безопасности страны.

Работа может быть представлена в диссертационный совет ГЕОХИ РАН на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 – радиохимия.

Рецензент:

Харитонов Олег Викторович, доктор химических наук (специальность 02.00.14- радиохимия), главный научный сотрудник лаборатории хроматографии радиоактивных элементов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН)

Почтовый адрес: 119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4

Телефон: +7(495) 955-46-01, e-mail: ovxa@mail.ru

Я, Харитонов Олег Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

« 04 » марта 2024 г.



(подпись)

Подпись Харитонova Олега Викторовича заверяю:
Зав. канцелярией ИФХЭ РАН
Емельянова Н.А.



(подпись)

Рецензия на докторскую диссертацию Бежина Николая Алексеевича «Сорбционное концентрирование природных, космогенных и техногенных радионуклидов из морской воды» по специальности 1.4.13 – Радиохимия.

Научный консультант, - чл.-корр. РАН, доктор химических наук Тананаев Иван Гундарович.

Предметом диссертации Николая Алексеевича Бежина является решение актуальной проблемы радиохимии, состоящей в совершенствовании методов концентрирования радионуклидов природного и техногенного происхождения из морской воды с целью повышения чувствительности и точности современных экспериментальных возможностей радиоэкологии и геохимии радиоактивных элементов.

Особенность поставленной автором цели состоит в установлении физико-химических и сорбционных характеристик как полученных автором, так и коммерчески доступных сорбентов на радионуклиды космогенного (^7Be , $^{32,33}\text{P}$), природного (^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}Th) и техногенного (^{90}Sr , ^{137}Cs) происхождения. Область применения сорбентов на эти радионуклиды - радиохимический анализ морской воды для решения радиоэкологических и океанологических задач.

Из текста диссертации следует, что диссертант успешно решил все основные задачи, сформулированные им для достижения поставленной цели. Это, - разработка новых и оптимизация известных методов получения сорбентов на основе диоксида марганца и гидроксида железа(III); проведение испытаний полученных и коммерчески доступных сорбентов для извлечения радионуклидов из растворов морской воды как в статическом, так и динамическом режимах сорбции; определение оптимальных режимов концентрирования радионуклидов как без носителя, так и с добавлением стабильных носителей; разработка новых и адаптивное известное методик извлечения широкого спектра радионуклидов из морской воды с использованием полученных и коммерчески доступных сорбентов. Практическое применение полученных диссертантом результатов относится к выяснению особенностей распределения космогенных, природных и техногенных радионуклидов в Черном море с использованием разработанных методик. Особое значение имеют результаты, характеризующие перспективы идентификации подводных источников пресной воды на шельфе полуострова Крым, данные по гидрологическим механизмам разгрузки подземных вод на мысе Айя полуострова седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря с использованием пар $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$, $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$, $^{32,33}\text{P}$ в акватории состояния исследуемого региона.

Диссертацию отличает современный экспериментальный уровень выполненных радиохимических и экспедиционных исследований, большой объём данных по физико-химическим свойствам разработанных сорбентов, механизмам сорбции, методикам проведения концентрирования радионуклидов. Результаты определения механизмов массопереноса радионуклидов в акватории Черного моря получены в процессе экспедиционных исследований и имеют большое значение для морской геохимии этого региона.

2 июня 2023 г. Екатеринбург, ИХТТ УрО РАН

Результаты диссертации апробированы на площадках более 40 международных и отечественных специализированных конференций. По теме диссертации опубликованы 20 статей в рецензируемых российских и международных научных изданиях и тезисах докладов на конференциях. Большой объем выполненных исследований определил привлечение к тематике диссертационной работы ведущих представителей отечественной радиохимии (сотрудники ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН, ИХ ДВО РАН, МГИ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, ГЕОХИ РАН).

Я считаю, что обсуждаема диссертационная работа Бежина Николая Алексеевича «Сорбционное концентрирование природных, космогенных и техногенных радионуклидов из морской воды», выполненная в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Севастопольский государственный университет», отвечает всем требованиям ВАК к докторским диссертациям и может быть рекомендована к защите по специальности 1.4.13 – Радиохимия.

Поляков Евгений Валентинович



Доктор химических наук по специальности физическая химия

Старший научный сотрудник

Заместитель директора ФГБУН Института химии твёрдого тела Уральского Отделения Российской академии наук

Заведующий лабораторией Физико-химических методов анализа

620108 Екатеринбург, улица Первомайская, 91

www.ihim.uran.ru ; polyakov@ihim.uran.ru ; тел.+7-343-374-4814 ;

Рецензия на докторскую диссертацию Бежина Николая Алексеевича «Решение задач морской радиохимии с использованием природных, космогенных и техногенных радионуклидов и методов сорбционного концентрирования» по специальности 1.4.13 – Радиохимия.

Научный консультант, - чл.-корр. РАН, доктор химических наук Тананаев Иван Гундарович.

Предметом диссертации Николая Алексеевича Бежина является решение актуальной проблемы радиохимии, - повышение чувствительности методов определения радионуклидов природного и техногенного происхождения из морской воды их сорбционным концентрированием для решения задач радиоэкологии и геохимии радиоактивных элементов.

Особенность поставленной автором цели состоит в установлении физико-химических и сорбционных характеристик как полученных автором, так и коммерчески доступных сорбентов на радионуклиды космогенного (^7Be , $^{32,33}\text{P}$), природного (^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}Th) и техногенного (^{90}Sr , ^{137}Cs) происхождения. Область применения сорбентов на эти радионуклиды - радиохимический анализ морской воды для решения радиоэкологических и океанологических задач.

Диссертант успешно решил все основные задачи, сформулированные им для достижения поставленной цели. Это, - разработка новых и оптимизация известных методов получения сорбентов на основе диоксида марганца и гидроксида железа(III); проведение испытаний полученных и коммерчески доступных сорбентов для извлечения радионуклидов из растворов морской воды как в статическом, так и динамическом режимах сорбции; определение оптимальных режимов концентрирования радионуклидов как без носителя, так и с добавлением стабильных носителей; разработка новых и адаптивное известное методик извлечения широкого спектра радионуклидов из морской воды с использованием полученных и коммерчески доступных сорбентов. Практическое применение полученных диссертантом результатов относится к выяснению особенностей распределения космогенных, природных и техногенных радионуклидов в Черном море с использованием разработанных методик. Особое значение имеют результаты, характеризующие перспективы идентификации подводных источников пресной воды на шельфе полуострова Крым, данные по гидрологическим механизмам разгрузки подземных вод на мысе Айя полуострова седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря с использованием пар $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$, $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$, $^{32,33}\text{P}$ в акватории состояния исследуемого региона.

Диссертацию отличает современный экспериментальный уровень выполненных радиохимических и экспедиционных исследований, большой объем данных по физико-химическим свойствам разработанных сорбентов, механизмам сорбции, методикам проведения концентрирования радионуклидов. Результаты определения механизмов массопереноса радионуклидов в акватории Черного моря получены в процессе

09 марта 2024 г. Екатеринбург, ИХТТ УрО РАН

экспедиционных исследований и имеют большое значение для морской геохимии этого региона.

Результаты диссертации апробированы на площадках более 40 международных и отечественных специализированных конференций. По теме диссертации опубликованы 20 статей в рецензируемых российских и международных научных изданиях и тезисах докладов на конференциях. Большой объем выполненных исследований определил привлечение к тематике диссертационной работы ведущих представителей отечественной радиохимии (сотрудники ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН, ИХ ДВО РАН, МГИ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, ГЕОХИ РАН).

Я считаю, что обсуждаема диссертационная работа Бежина Николая Алексеевича «Решение задач морской радиохимии с использованием природных, космогенных и техногенных радионуклидов и методов сорбционного концентрирования», выполненная в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Севастопольский государственный университет», отвечает всем требованиям ВАК к докторским диссертациям, улучшила форму и содержание после доработки и может быть рекомендована к защите по специальности 1.4.13 – Радиохимия.

Поляков Евгений Валентинович



Доктор химических наук по специальности физическая химия

Старший научный сотрудник

Заместитель директора ФГБУН Института химии твёрдого тела Уральского Отделения Российской академии наук

Заведующий лабораторией Физико-химических методов анализа

620108 Екатеринбург, улица Первомайская, 91

www.ihim.uran.ru ; polyakov@ihim.uran.ru ; тел.+7-343-374-481.

РЕЦЕНЗИЯ

на диссертационную работу Бежина Николая Алексеевича «Сорбционное концентрирование природных, космогенных и техногенных радионуклидов из морской воды», представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 - Радиохимия

Актуальность тематики диссертационного исследования обусловлена широким спектром задач, связанных с реализацией и эффективным решением проблемы обеспечения благополучия морской экосистемы Черного моря как на стадии осуществления радиоэкологического мониторинга, так и при организации технологических процессов выделения радионуклидов из морских вод при обеспечении радиационной безопасности объектов использования атомной энергии, расположенных в прибрежных морских зонах.

Известно, что морская вода представляет собой сложную химическую систему, обусловленную высоким содержанием (до 36‰), а также разнообразием взвешенных компонентов, характеризующимися значительным непостоянством физико-химических свойств в зависимости от места, времени и глубины отбора проб. Сочетание этих особенностей с низкой концентрацией большинства радионуклидов делает морскую воду одним из наиболее сложных объектов радиохимии, объемы проб для достоверного определения содержания некоторых радионуклидов могут достигать до нескольких кубических метров. Все это приводит к трудностям при получении натуральных данных, необходимых для решения задач океанологии и радиоэкологии.

Определение активности радионуклидов непосредственно в морской воде, а также на взвесах является основой для проведения радиоэкологического мониторинга (^{137}Cs , ^{90}Sr) и изучения ряда океанологических процессов, в том числе вертикального переноса (^7Be , ^{32}P , ^{33}P), определение параметров седиментации и потоков взвешенного органического вещества (^{210}Pb , ^{210}Po , ^{234}Th), биодинамики фосфора (^{32}P , ^{33}P), субмаринной разгрузки подземных вод (^{226}Ra , ^{228}Ra) и т.д.

Кроме того, большой интерес представляет сорбционное извлечение, концентрирование и выделение наиболее опасных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из радиоактивных отходов, содержащих морскую воду. Эти отходы образуются при работе атомных подводных лодок, атомных ледоколов, большие количества подобных РАО образовались при аварии на АЭС Фукусима.

Поэтому решение задачи разработки эффективных методов сорбционного концентрирования радионуклидов различного происхождения, космогенных – ^7Be , ^{32}P , ^{33}P , природных – ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{234}Th , техногенных – ^{90}Sr , ^{137}Cs из морской воды, включая выбор наиболее эффективных сорбентов и обоснование параметров процесса извлечения, крайне актуально и своевременно.

Цель диссертационной работы – научное обоснование выбора сорбентов для решения радиоэкологических и океанологических задач на основе комплексного исследования физико-химических и сорбционных характеристик как для разработанных, так и уже применяемых на практике сорбентов для извлечения радионуклидов из морской воды.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 329 страницах машинописного текста, содержит введение, обзор литературы, результаты исследований и их обсуждение, выводы, список цитируемой литературы, включающий 361 наименование библиографических ссылок. Работа иллюстрирована 78 рисунками и 54 таблицами.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, отмечена ее научная новизна и практическое значение, сформулированы цели и задачи исследования, изложены положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведены характеристики важнейших радионуклидов и их поведение в морской воде, проведены анализ литературных данных и обобщены результаты работ по использованию сорбционных процессов для концентрирования техногенных, природных и космогенных радионуклидов из морской воды, рассмотрены преимущества и недостатки материалов, применяемых для проведения извлечения, а также алгоритмические схемы проведения сорбционного извлечения.

Во второй главе представлена информация об используемых приборах, вспомогательных устройствах, материалах, растворах. Приведены характеристики коммерчески доступных сорбентов, использованных в работе для извлечения техногенных, природных и космогенных радионуклидов из морской воды. Описаны методики получения сорбентов на основе полиакрилонитрильного волокна и различных модификаторов: диоксида марганца ПАН-MnO₂ и гидроксида железа(III) ПАН-Fe(OH)₃. Приведены методики лабораторных испытаний сорбентов на морской воде в статических и динамических условиях. Представлены особенности пробоотбора больших объемов морской воды, методики укрупненных испытаний сорбентов в ходе экспедиционных работ, определения концентрации радионуклидов.

Третья глава посвящена подбору оптимальных условий и методов получения сорбентов на полиакрилонитрильном волокне ПАН-MnO₂ и ПАН-Fe(OH)₃. Представлены результаты исследования структуры полученных сорбентов с использованием инфракрасной спектроскопии, дифференциального термического и термогравиметрического анализа, сканирующей электронной микроскопии.

В четвертой главе приведены результаты испытаний применяемых в работе сорбентов для извлечения радионуклидов из растворов морской воды на природном изотопном составе (стронций, в том числе как аналог радия) или с добавкой стабильного носителя (цезий, фосфор, бериллий) в статических и динамических условиях. Определены коэффициенты распределения, значения динамической и полной динамической обменной емкости исследуемых сорбентов. Приведены выходные кривые сорбции цезия, стронция, фосфора и бериллия при различной скорости пропускания морской воды.

Пятая глава посвящена оценке зависимостей степени извлечения цезия, стронция, фосфора и бериллия из морской воды от времени сорбции (кинетика) и емкости исследуемых сорбентов от равновесных концентраций извлекаемых элементов в растворе (изотерма). Установлено время достижения сорбционного равновесия и максимальная емкость для каждого сорбента. Полученные результаты охарактеризованы с помощью уравнений изотерм Ленгмюра, Фрейндлиха и Дубинина-

Радужкевича, а также кинетических моделей псевдопервого и псевдвторого порядка, внутричастичной диффузии и модели Еловича.

В шестой главе приведены результаты экспедиционных исследований на больших объемах морской воды по оценке эффективности извлечения радионуклидов полученными и коммерчески доступными сорбентами, изучению распределения радионуклидов различного происхождения в Черном море.

По полученным результатам разработаны новые и адаптированы известные методики извлечения широкого спектра радионуклидов из морской воды с использованием наиболее эффективных сорбентов. Впервые с использованием радиотраассерных методов проведено изучение и оценка потоков субмаринной разгрузки подземных вод на мысе Айя. Полученные по активностям изотопов ^{226}Ra и ^{228}Ra величины потоков субмаринной разгрузки (более $7000 \text{ м}^3/\text{сут}$) указывают на возможность использования данного источника путем каптирования как потенциального источника пресной воды. Выполнена оценка количественных показателей седиментации (потока, скорости седиментации и периода биогеохимического круговорота) взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря с использованием пар $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ и $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$. Впервые с использованием изотопов ^{32}P и ^{33}P проведена оценка сезонной изменчивости параметров биодинамики фосфора в акватории бухты Ласпи и Балаклавского побережья. Определены время, скорость и степень обращения фосфора в неорганическую и взвешенную органическую формы. Установлены повышенные значения параметров биодинамики фосфора в весенний и летний период, объясняющиеся особенностью хозяйственной и курортной деятельности поселка городского типа Ласпи и города Балаклавы, которая негативно влияет на состояние морской экосистемы, однако на сегодняшний день не приводит к серьезным экологическим последствиям в виде эвтрофикации прибрежной зоны.

Научная новизна работы Нежина Н.А. является несомненной.

В качестве новых результатов автором на основе изучения сорбционного концентрирования природных, космогенных и техногенных радионуклидов впервые определены сорбционные и кинетические закономерности извлечения с обоснованием оптимальных параметров процесса извлечения. Впервые для условий изучения Черного моря получены вертикальные профили активности ^{32}P , ^{33}P , ^{228}Ra и пространственная изменчивость концентраций ^{210}Pb и ^{228}Ra . Впервые выполнено исследование подземных вод на мысе Айя с установлением субмаринной разгрузки. Кроме того, с использованием значений пары $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ впервые выполнена оценка количественных показателей седиментации взвешенного вещества из поверхностного слоя Черного моря, а также впервые определены количественные параметры биодинамики фосфора растворенной и взвешенной формах (степень, скорость и время обращения фосфора), изучена их сезонная изменчивость для условий акватории бухты Ласпи и Балаклавского побережья Черного моря.

Практическая значимость работы заключается в том, что на основании результатов исследований разработаны и внедрены новые материалы и технологии, позволяющие повысить эффективность решения радиоэкологических и океанологических задач:

– составы сорбентов на основе диоксида марганца и гидроксида железа(III) для выделения радионуклидов различного происхождения из морской воды, особенно способ модифицирования волокна гидроксидом железа(III) с использованием феррата натрия в щелочной среде;

– методология извлечения широкого спектра радионуклидов из морской воды с использованием наиболее эффективных сорбентов для решения фундаментальных задач океанологии и радиоэкологии;

– оценка дебита субмаринного источника на мысе Айя как потенциального источника пресной воды для хозяйственных нужд;

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

– комплексная оценка экологического состояния акватории бухты Ласпи и Балаклавского побережья, показатели состояния прибрежных экосистем: значения содержания форм растворенного и взвешенного фосфора, параметры биодинамики фосфора.

Обоснованность и достоверность результатов. Все полученные в работе результаты и выводы достоверны и обоснованы, что подтверждается представительным объемом данных, полученных в ходе масштабных экспериментальных исследований. Автором использовались только аттестованные методики, а результаты исследований получены в аккредитованных испытательных и измерительных лабораториях. Кроме того, все промежуточные и общие выводы согласуются с радиационными и физико-химическими данными многолетнего мониторинга состояния экосистемы Черного моря. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и их достоверность подтверждается хорошей теоретической проработкой проблемы, использованием методов математической статистики при обработке большого массива данных, применение современных методов системного анализа.

Диссертация и автореферат оформлены на уровне современных редакторских возможностей, наполнены необходимым количеством иллюстрационного материала, изложение содержания работы выстроено логически правильно.

Принципиальных и существенных замечаний по работе в целом нет. Вместе с тем, такая масштабная работа не может быть несвободна от некоторых недостатков. При прочтении диссертации и автореферата возник ряд следующих вопросов и замечаний:

1. В разделе «1.2 Характеристики важнейших радионуклидов и изучаемых процессов, поведение радионуклидов в морской воде» автор относит радионуклиды ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs , а также ^{238}Pu , ^{239}Pu и ^{240}Pu 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.

2. Там же, в отношении определения радионуклида ^{90}Sr автор утверждает, что стронций-90 измеряется после концентрирования по дочернему радионуклиду ^{90}Y , с использованием β -спектрометрии, что не вызывает сомнений. И далее в Таблице 1.1 – «Характеристики важнейших радионуклидов» представлены основные методы измерения такие как масс-спектрометрия, альфа, гамма, бета- спектрометрия. Вызывает

вопрос отсутствие в этом перечне современного метода ЖС-спектрометрии, который особенно эффективен для анализа жидких фаз.

3. В разделе 2.6.2 «Количественное определение ^{137}Cs и ^{90}Sr в растворе» декларируется что погрешность определения ^{137}Cs и ^{90}Sr прямым радиометрическим методом с использованием спектрометрического комплекса СКС-50М составляла не более 10%. Однако, автором не указывается погрешность калибровочных эталонных источников. При условии, что погрешность источника может составлять до 5%, декларируемая в работе величина погрешности в 10% выглядит слишком оптимистичной.

4. В разделе 3.1.2 «Структура сорбента ПАН- MnO_2 » рисунок 3.2 – «ИК-спектры в области волнового значения» представлен в англоязычной нотации, что следует отнести к небрежности оформления работы.

5. В разделе 5.1.1 «Кинетика сорбции цезия» в таблице 5.2 – «Полученные параметры кинетических моделей сорбции цезия из морской воды» результаты необходимо приводить в единой математической нотации, т.е. количество знаков после запятой должно соответствовать погрешности измерений.

6. В разделе 6.2.2 «Распределение ^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{234}Th в акватории Гераклеяского полуострова весной 2019 года» концентрации радионуклидов представлены в размерности « dpm/m^3 ». Необходимо обосновать выбор такой нотации.

Отмеченные недостатки, безусловно, не снижают общего положительного впечатления от работы в целом, не умаляют качество проведенных исследований, и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Заключение

По своему содержанию диссертационная работа Бежина Николая Алексеевича соответствует шифру научной специальности 1.4.13-радиохимия в области исследований «Методы выделения, разделения и очистки радиоактивных элементов и изотопов. Экстракционные, сорбционные, электрохимические, хроматографические процессы разделения в радиохимии. Ядерно-физические методы в радиохимии» и «Формы существования и миграции радионуклидов в природных средах. Естественные и техногенные радионуклиды в биосфере. Определение радионуклидов в объектах окружающей среды. Радиоактивное загрязнение окружающей среды и возможности современной радиохимии в области мониторинга. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами», что позволяет классифицировать представленную работу по отрасли наук – «Химические науки».

Диссертационная работа «Сорбционное концентрирование природных, космогенных и техногенных радионуклидов из морской воды» Бежина Николая Алексеевича полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным в п.9 Постановления правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 №842 в ред. от 18.03.2023 (вместе с «Положением о присуждении ученых степеней»), и является научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема исследования природных, космогенных и

техногенных радионуклидов в морской воде, что вносит значительный вклад в экономическое развитие и повышение экологической безопасности страны.

Работа может быть представлена в диссертационный совет ГЕОХИ РАН на соискание ученой степени доктора наук по специальности 1.4.13 – радиохимия.

Рецензент:

Соболев Андрей Игоревич, д.т.н., главный специалист по оценке безопасности радиационных объектов, ФГБУН «Институт проблем безопасного развития атомной энергетики» Российской академии наук, 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и редкоземельных элементов

Почтовый адрес: 115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52

Телефон: (495) 955-22-15, e-mail: sobolev_ai@ibrae.ac.ru

Я, Соболев Андрей Игоревич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

 02.06.23

Дата, подпись (подпись необходимо заверить)

*Подпись Соболева Андрея Игоревича
удостоверено:
Ученый секретарь ИБРАЭ РАН
Калантаров Валентин
Свиродович.*

06.06.2023



РЕЦЕНЗИЯ (повторная)

на диссертационную работу Бежина Николая Алексеевича «Решение задач морской радиохимии с использованием природных, космогенных и техногенных радионуклидов и методов сорбционного концентрирования», представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 - Радиохимия

В июне 2023 года на расширенном семинаре при дирекции ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук была заслушана и обсуждена диссертационная работа Бежина Николая Алексеевича «Сорбционное концентрирование природных, космогенных и техногенных радионуклидов из морской воды» на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.13 - радиохимия.

В ходе обсуждения диссертационного исследования Н.А. Бежина был высказан ряд важных замечаний в части структуры работы, а также интерпретации основных положений и результатов диссертации.

За прошедшее время автором внесен ряд существенных доработок в содержание диссертации, к основным из которых следует отнести следующее.

1. Изменено название работы, а именно «Решение задач морской радиохимии с использованием природных, космогенных и техногенных радионуклидов и методов сорбционного концентрирования». Считаю, что новое название четко отражает цель исследования, соответствует содержанию работы и интерпретации основных результатов.

2. Существенно переработан раздел «Введение» в части формулирования целей, задач, научной новизны, практической значимости, а также положений, выносимых на защиту.

3. Значительно изменен и существенно переформулирован раздел «Выводы», а именно, сокращено общее количество с 8-ми до 6-ти формулировок, улучшена лаконичность изложения, повышена информативность формулировок. Замечания вызывает лишь вывод №5 в новой редакции, возможно требуется редактирование.

4. По тексту диссертации проведены полезные изменения в части представления графического материала. Доработаны разделы главы 5 за счет формулирования выводов по результатам лабораторных испытаний сорбентов. Доработана глава 6 путем добавления обобщенной таблицы, содержащей параметры разработанных методик извлечения природных и космогенных радионуклидов из морской воды. Кроме того, в главе 6 добавлено описание комплексной методики концентрирования радионуклидов из морской воды.

5. В новой редакции диссертационной работы автором учтены все мои замечания, указанные в предыдущей рецензии.

По своему содержанию диссертационная работа Бежина Николая Алексеевича соответствует шифру научной специальности 1.4.13-радиохимия в области исследований «Методы выделения, разделения и очистки радиоактивных элементов и изотопов. Экстракционные, сорбционные, электрохимические, хроматографические процессы разделения в радиохимии. Ядерно-физические методы в радиохимии» и «Формы существования и миграции радионуклидов в природных средах. Естественные и техногенные радионуклиды в биосфере. Определение радионуклидов в объектах окружающей среды. Радиоактивное загрязнение окружающей среды и возможности современной радиохимии в

области мониторинга. Реабилитация территорий, загрязненных радионуклидами», что позволяет классифицировать представленную работу по отрасли наук – «Химические науки».

Диссертационная работа «Решение задач морской радиохимии с использованием природных, космогенных и техногенных радионуклидов и методов сорбционного концентрирования» Бежина Николая Алексеевича полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным в п.9 Постановления правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 №842 в ред. от 18.03.2023 (вместе с «Положением о присуждении ученых степеней»), и является научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема исследования природных, космогенных и техногенных радионуклидов в морской воде, что вносит значительный вклад в экономическое развитие и повышение экологической безопасности страны.

Работа может быть представлена в диссертационный совет ГЕОХИ РАН на соискание ученой степени доктора наук по специальности 1.4.13 – радиохимия.

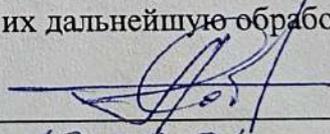
Рецензент:

Соболев Андрей Игоревич, д.т.н., профессор, Ветеран труда, Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники, 05.17.02 – Технология редких, рассеянных и редкоземельных элементов

Почтовый адрес: 109341, Москва, Люблинская ул., д. 163/1, 139

Телефон: (495) 347-65-47, e-mail: asd_1956@mail.ru

Я, Соболев Андрей Игоревич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

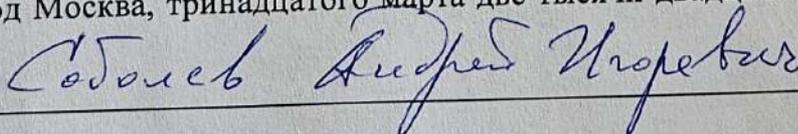


13.03.24

Дата, подпись (подпись необходимо заверить)

Город Москва, тринадцатого марта две тысячи двадцать четвёртого года.

заявитель



Российская Федерация

Город Москва

Тринадцатого марта две тысячи двадцать четвёртого года

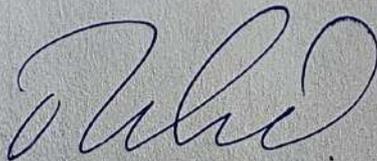
Я, Герасимова Ольга Геннадьевна, временно исполняющая обязанности нотариуса города Москвы Бадулина Артёма Сергеевича, свидетельствую подлинность подписи Соболева Андрея Игоревича.

Подпись сделана в моем присутствии.

Личность подписавшего документ установлена.

Зарегистрировано в реестре: № 77/813-н/77-2024-1-864.

Уплачено за совершение нотариального действия: 1500 руб. 00 коп.



О.Г.Герасимова