

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова
Уральского отделения Российской академии наук
(ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН)

На правах рукописи



Пучков Андрей Викторович

**Радионуклиды в экосистемах тундры: источники, уровни загрязнения,
антропогенные механизмы трансформации радиационного фона
(на примере ключевых участков Ненецкого автономного округа)**

Специальность: 1.6.21 – Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
кандидат геолого-минералогических наук
Яковлев Евгений Юрьевич

Архангельск – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОАКТИВНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ | 9 |
| 1.1 Радиоактивность и радиационные параметры компонентов окружающей среды | 9 |
| 1.2 Физико-географические условия Ненецкого автономного округа | 12 |
| 1.3 Основные изученные реки Ненецкого автономного округа | 14 |
| 1.4 Оценка общего экологического состояния региона | 17 |
| 1.5 Характеристика потенциальных источников радионуклидного загрязнения Ненецкого автономного округа | 19 |
| 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ | 22 |
| 2.1 Гамма-спектрометрический метод определения активностей гамма-излучающих радионуклидов | 22 |
| 2.2 Бета-радиометрический метод определения Sr-90 с радиохимической подготовкой | 24 |
| 2.3 Альфа-спектрометрический метод определения изотопов плутония с радиохимической подготовкой | 24 |
| 2.4 Альфа-бета радиометрический метод определения суммарных удельных активностей | 25 |
| 2.5 Радонометрический (эманационный) метод | 25 |
| 2.6 Расчетные методы для оценки коэффициента эманации и уровня (скорости) продуцирования радона | 26 |
| 2.7 Определение физико-химических параметров | 27 |
| 2.8 Определение уровня гамма-излучения | 27 |
| 2.9 Расчет внутренней дозы облучения от радионуклидов | 27 |
| 3 ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА | 28 |
| 3.1 Результаты аэрогаммасъёмки территории Ненецкого автономного округа в период с 1990 по 1992 гг. | 28 |
| 3.2 Оценка содержания техногенного Cs-137 в донных отложениях рек Канинской и Большеземельской тундр | 32 |
| 3.3 Закономерности накопления и миграции техногенных радионуклидов Cs-137, Sr-90, Am-241, Pu-238, Pu-239+240, их уровни запаса в ландшафтах Канинской тундры (на примере бассейна реки Несь) | 40 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 3.4 | Оценка содержания радионуклидов в биоте (на примере рыбы и северного оленя) и дозовых нагрузок для человека | 48 |
| 3.5 | Выводы | 50 |
| 4 | ИЗМЕНЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА В УСЛОВИЯХ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД | 52 |
| 4.1 | Оценка формирования радиационных параметров почвенно-растительного покрова в зависимости от изменения мерзлотных условий | 52 |
| 4.2 | Экспериментальные исследования распределения радона в условиях имитации участка криолитозоны и ее деградации | 57 |
| 4.3 | Выводы | 62 |
| 5 | ИЗМЕНЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ | 63 |
| 5.1 | Оценка содержания естественных радионуклидов в донных осадках рек Колва и Уса | 63 |
| 5.2 | Гамма-съемка и оценка радионуклидного состава почв, загрязненных нефтепродуктами, на участке Харьягинский – Усинск | 72 |
| 5.3 | Оценка содержания естественных радионуклидов в донных осадках устьевой части реки Печора | 76 |
| 5.4 | Оценка параметров радиационной безопасности для донных осадков и нефтешламов | 81 |
| 5.5 | Выводы | 83 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 85 |
| | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 87 |
| | Приложение А (Справочное). Содержание Cs-137 и физико-химические параметры донных отложений рек Ненецкого автономного округа и Республики Коми | 108 |
| | Приложение Б (Справочное). Плотности загрязнения техногенными радионуклидами в пробах почвы в бассейне реки Несь | 115 |
| | Приложение В (Справочное). Радиационные параметры и содержание нефтепродуктов в донных отложениях рек Колва и Уса | 116 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Ненецкий автономный округ обладают выраженным и стратегически важным с точки зрения геополитики географическим расположением. Данный факт вызывает особый интерес к данным территориям, связанным в первую очередь с ресурсно-экономическим потенциалом. Одной из важнейших составляющих данного потенциала является наличие большого количества углеводородных месторождений в восточной части Ненецкого автономного округа. С другой стороны, регион насыщен радиационными объектами, которые потенциально могут оказывать негативное влияние на окружающую среду. Среди таких объектов выделяются действующие предприятия по строительству, ремонту, модернизации и утилизации кораблей с ядерно-энергетической установкой, обращению с радиоактивными отходами, пункты захоронения радиоактивных отходов, а также "объекты ядерного наследия" - мирные ядерные взрывы, проведенные в Архангельской области и Ненецком автономном округе. Непосредственно близкое расположение к региону архипелага Новая Земля, на территории которого проводились ядерные испытания, также не могло не оказать влияния на объекты окружающей среды с точки зрения радиационного воздействия. Неизученной остается возможная трансформация естественного радиационного фона за счет интенсивного освоения углеводородных месторождений и деградации многолетнемерзлых пород. Суровые природно-климатические условия, а также тот факт, что большая часть Ненецкого автономного округа до сих пор остается труднодоступной в условиях отсутствия комплексного транспортного сообщения, стали причинами слабой радиационной изученности региона. В условиях наличия потенциально опасных радиационных факторов, а также потенциально возможных современных ядерных и радиационных инцидентов, крайне важным и актуальным становится проведение комплексного радиационного мониторинга с выявлением возможных зон повышенного содержания радионуклидов и их источников, а также предотвращение социальной напряженности среди населения путем информирования о радиационной обстановке в регионе.

Таким образом **целью работы** является оценка радиационно-экологических параметров тундровых территорий Ненецкого автономного округа для выявления повышенных уровней радиоактивного загрязнения в результате техногенного вмешательства и определения степени воздействия ионизирующего излучения на человека.

Основные задачи исследования:

1. Оценка содержания техногенного Cs-137 в донных отложениях рек Канинской и Большеземельской тундр Ненецкого автономного округа.

2. Выявление закономерностей накопления и миграции техногенных радионуклидов Cs-137, Sr-90, Am-241, Pu-238, Pu-239+240, их уровней запаса и источников поступления в ландшафтах Канинской тундры, в том числе на основе методов расчета изотопных отношений радионуклидов.

3. Оценка содержания естественных и техногенных радионуклидов в биоте Канинской тундры и расчет дозовых нагрузок на человека.

4. Оценка формирования радиационных параметров почвенно-растительного покрова в зависимости от изменения мерзлотных условий на тундровых территориях. Экспериментальные исследования распределения Rn-222 в условиях имитации участка криолитозоны и ее деградации.

5. Исследование качественных и количественных характеристик естественных радионуклидов в донных отложениях рек Печора, Колва и Уса, а также в грунтах, загрязненных нефтепродуктами, и нефтешламах на территории Большеземельской тундры. Категорирование загрязненных грунтов и нефтешламов в соответствии с требованиями действующих в Российской Федерации нормативно-правовых актов в области радиационной безопасности.

6. Оценка потенциальных источников повышенного содержания естественных радионуклидов в донных отложениях рек Колва, Уса и Печора.

Объект исследования: Объектами исследования являются компоненты окружающей среды тундровых территорий Ненецкого автономного округа: донные осадки, почвы, гидробионты, отдельные биологические системы северного оленя.

Предмет исследования: Радиационные (суммарная удельная активность по альфа- бета-излучению, удельная активность отдельных радионуклидов, мощность дозы гамма-излучения) и физическо-химические (гранулометрический состав донных отложений, зольность, содержание органического вещества и карбонатов в донных отложениях, почвах) параметры компонентов тундровых экосистем.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. На территории Канинской тундры Ненецкого автономного округа выделяется зона повышенного содержания Cs-137 в объектах окружающей среды (торф, донные осадки, рыба). Удельная активность Cs-137 в донных осадках реки Несь значительно превышает удельную активность Cs-137 в донных осадках других рек округа. Плотность загрязнения Cs-137 в почвах бассейна реки Несь составляет до 0,13 Ки/км², что выше в 2-3 раза имеемых данных о содержании данного радионуклида на территории округа. Латеральное распределение Cs-137, Sr-90, Am-241, Pu-238, Pu-239+240 в почвах бассейна реки Несь имеет зональную структуру, обусловленную рельефом территории. Основными источниками радиоактивного загрязнения являются глобальные атмосферные выпадения и авария на Чернобыльской АЭС.

2. Многолетнемерзлые породы характеризуются существенной барьерной функцией для потока радиоактивного газа Rn-222. Их деградация приводит к изменению естественного радиационного фона на тундровых территориях за счет увеличения потока Rn-222 и перераспределения продуктов его распада, а также увеличения уровня гамма-излучения. Увеличение плотности потока Rn-222 в приповерхностном почвенном воздухе после оттаивания почвы может достигать 10-20 раз в зависимости от радиационных характеристик источника Rn-222.

3. Донные осадки реки Колва Большеземельской тундры на участках, в пределах которых осуществляется нефтегазодобывающая деятельность, характеризуются содержанием Ra-226, превышающим фоновые значения в 4 - 5 раз. Выявлена сильная корреляционная связь между удельной активностью Ra-226 с содержанием нефтепродуктов в донных осадках. Основным источником загрязнения донных осадков реки Колва радионуклидом Ra-226 является поступление нефтепродуктов в речной бассейн.

Материалы исследования: В основу диссертационной работы положены результаты экспедиционных работ лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии им. Ф.Н. Юдахина Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук. Работы выполнялись в рамках следующих научных направлений, проектов и грантов:

– Тема ФНИР «Комплексные изотопно-геохимические исследования качества природной среды и идентификация процессов её трансформации на приморских территориях Европейского Севера в современности и прошлом», рег. № АААА-А19-119011890018-3;

– Тема ФНИР «Особенности миграции элементов и их изотопов в абиотических компонентах окружающей среды Западного сектора Российской Арктики в условиях климатических и техногенных изменений» № 122011300333-1;

– Грант «Повышение концентрации радона в условиях деградации мерзлоты: постановка эксперимента и математическая модель», предоставленный Проектным офисом развития Арктики (ПОРА) по договору № 245-Г от 19.04.2021.

– Грант «Техногенная радиоактивность объектов окружающей среды бассейна реки Несь (Ненецкий автономный округ): уровень загрязнения, источники, прогноз», предоставленного Проектным офисом развития Арктики (ПОРА) по договору № 245-Г от 19.04.2021.

– Грант Президента МК-4298.2022.1.5 «Совершенствование методики датирования торфяных отложений по неравновесному свинцу ^{210}Pb »;

– Грант РФФИ № 22-27-20079 «Радионуклиды в экосистемах тундры: источники, уровни загрязнения, антропогенные механизмы трансформации (на примере Ненецкого автономного округа)»;

– Грант РФФИ № 20-77-10057 «Диагностика деградации мерзлоты на базе изотопных трассеров ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, $\delta^{18}\text{O}+\delta^{2}\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}+^{14}\text{C}$).

Обоснованность результатов. Обоснованность результатов обеспечивается применением высокоточной аппаратуры радиационного контроля (радиометры, дозиметры, спектрометрические системы), ежегодно проходящей метрологическую поверку. Измерения радиационных характеристик выполнялись в лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии им. Ф.Н. Юдахина Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова УрО РАН, аккредитованной в области радиационного контроля, аттестат аккредитации № RA.RU.21HA54. Часть измерений выполнялась на базе радиометрической лаборатории отдела ядерной и радиационной безопасности Акционерного общества «Центр судоремонта «Звездочка», аккредитованной в области проведения радиационных измерений, аттестат аккредитации RA.RU.21AD95.

Обоснованность и достоверность результатов дополнительно обеспечивается использованием обширных фактических и картографических материалов, значительной представительностью полевых исследований (в общей сложности было отобрано более 50 проб почвы, 199 проб донных осадков, 40 проб воды, 11 проб нефтешлама, 91 кг биологических проб (рыба, олень).

Расчет данных для построения карт выполнялся с применением современных ГИС-технологий QGis и Surfer. Статистический анализ проводился с применением лицензионных программных пакетов OriginPro и MS Excel.

Научная новизна исследования.

Научная новизна заключается в получении новых данных о характере распределения естественных и техногенных радионуклидов в компонентах природной среды тундровых территорий Ненецкого автономного округа.

Впервые определены изотопные отношения естественных и техногенных радионуклидов в пробах окружающей среды данных территорий, позволившие оценить источники загрязнения.

Установлены новые закономерности вертикальной миграции естественных радионуклидов, обусловленные изменением мерзлотных условий.

Установлено, что интенсивная деятельность нефтегазовых предприятий на территории Ненецкого автономного округа приводит к изменению естественного радиационного фона тундровых территорий за счет дополнительного поступления изотопов радия, тория и калия в объекты окружающей среды вместе с попутными водами и нефтью.

Практическая значимость:

– Проведена оценка соответствия отдельных компонентов природной среды (донные отложения, пробы с песчаных карьеров, почва) требованиям основных санитарных правил, регламентирующих безопасность применения строительных материалов.

– Проведены исследования радиационных характеристик основных продуктов питания (рыба, мясо оленя) на соответствие требованиям законодательства Российской Федерации в области продовольственной безопасности.

– Результаты исследований распределения техногенных радионуклидов позволят скорректировать данные по плотностям загрязнения радионуклидами Cs-137 и Sr-90 на территории Ненецкого автономного округа.

– Результаты исследования донных осадков реки Колва и выявление зон повышенного содержания естественных радионуклидов могут быть использованы в подготовке и корректировке нормативно-правовой базы по обращению с отходами нефтегазодобывающей отрасли, содержащими радионуклиды естественного происхождения с повышенными значениями удельных активностей.

Личный вклад заключается в сборе фактического материала, обработке полученных данных и анализе результатов. Автором приняты участия в экспедиционных работах в устьевой части реки Печора (июль-август 2020 г.), рек Малоземельской и Канинской тундр (июнь 2021 г., июнь 2022 г.), на территории Приполярного Урала (август 2021 г.), бассейна реки Колва (август 2022 г.).

В полевых условиях автором проводились работы по отбору проб и первичной пробоподготовке, а также измерениям радиационных параметров (уровень гамма-излучения, мощность дозы гамма-излучения). В лабораторных условиях были выполнены работы по окончательной пробоподготовке (высушивание, озоление/выпаривание, подготовка счетных образцов) и измерениям с применением высокоточной аппаратуры радиационного контроля (радиометры, спектрометрические системы) и аттестованных методик.

Автором проведены расчеты параметров радиационной опасности объектов окружающей среды, категорирование сред с повышенным содержанием радионуклидов, оценка дозовых нагрузок на человека в условиях повышенных значений активности техногенных радионуклидов в рыбных ресурсах и биологических системах северного оленя, а также дана оценка соответствия результатов требованиям законодательства Российской Федерации и зарубежных норм.

Автором проведен анализ полученных результатов распределения естественных и техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды тундровых территорий, выявлены особенности поведения радионуклидов в условиях распространения мерзлоты.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

– Международная конференция «Радиобиология: современные проблемы 2020», Республика Беларусь, г. Гомель, 24-25 сентября 2020 года.

- Международная конференция «Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию», г. Архангельск, 11-14 ноября 2020 года.
- Всероссийская конференция «Науки о Земле: от теории к практике», г. Чебоксары, 5-8 ноября 2020 года.
- Российская конференция «Новое в познании процессов рудообразования», Москва, 23-27 ноября 2020 года.
- Всероссийский форум с международным участием «Актуальные проблемы и перспективы развития геокриологии», г. Якутск, 28 июня – 2 июля 2021 года.
- Международная конференция «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека», г. Томск, 20-24 сентября 2021 года.
- Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Технологии будущего нефтегазодобывающих регионов», г. Сургут, 23-24 марта 2022 года.
- X Международная научная конференция молодых ученых «Молодые – Наука о Земле», Москва, 31 марта – 1 апреля 2022 года.
- Международная научная конференция «Радиобиология и экологическая безопасность-2022», Республика Беларусь, г. Гомель, 26–27 мая 2022 года.
- Международная конференция «Биомониторинг в Арктике», г. Архангельск, 11-12 октября 2022 года.
- Международная научная конференция «Радиобиология и экологическая безопасность-2022», Республика Беларусь, г. Гомель, 26–27 мая 2023 года.

Все материалы конференций опубликованы в качестве тезисов докладов.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 24 научные работы, 5 из которых входят в список рецензируемых изданий, рекомендованный ВАК, 5 научных работы индексируются в международных базах данных Web of Science и Scopus.

Структура и объем работы.

Диссертация изложена на 118 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (244 источника) и трех приложений; содержит 17 таблиц и 52 рисунка.

Автор выражает глубокую признательность за руководство, всестороннюю помощь и поддержку при написании работы научному руководителю кандидату геолого-минералогических наук Яковлеву Евгению Юрьевичу, за ценные советы и консультации, предложения и замечания – коллективу лаборатории экологической радиологии ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (г. Архангельск) в лице Дружинина С.В., Дружининой А.С., Зыкова С.Б., Зыковой Е.Н., Игловского С.А., Баженова А.В., Кудрявцевой А.А., за помощь в проведении первичного анализа материала – Быкову В. М. Автор искренне благодарен за помощь и поддержку специалистам АО «ЦС «Звездочка» (г. Северодвинск) Олюкову А.В., Жданову М.Э., Соловьеву В.О., Фроловой Т.Н., Корельской С.Н., Пестовой Е.Ю., в том числе за формирование базового ядра знаний в области методологии проведения радиационных измерений, которые явились одной из основ для написания диссертационной работы.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОАКТИВНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Радиоактивность и радиационные параметры компонентов окружающей среды

Радиоактивность — это самопроизвольное превращение (распад) неустойчивых атомных ядер в более устойчивые ядра, сопровождающееся выделением энергии в виде излучения. Неустойчивые атомы, ядра которых самопроизвольно превращаются в другие атомные ядра, называют радиоактивными нуклидами или радионуклидами (Сапожников, 2006, Рихванов, 2009, Макаревич, 2013). Тяжелые радиоактивные элементы, генетически связанные цепочкой последовательных самопроизвольных ядерных превращений, образуют радиоактивное семейство. В настоящее время на Земле существует три естественных радиоактивных семейства: урановое (родоначальник – U-238), актиниевое (U-235) и ториевое (Th-232); и одно искусственное радиоактивное семейство с родоначальником Np-237 (Баранов, 1973, Сапожников, 2006, Макаревич, 2013, Арбузов, 2010).

Радиоактивный распад сопровождается выделением альфа-, бета- и/или гамма-излучения (Долгирев, 1966, Левин, 1973, Сапожников, 2006, Филов, 2006, Рихванов, 2009). Альфа-излучение – представляет собой поток альфа-частиц (ядер атомов гелия), имеющих значительную ионизирующую способность. Альфа-излучение имеет маленькую проникающую способность и не способно проникнуть через кожный покров человека. Альфа-частицы оказывают воздействие на человека только при внутреннем облучении органов и тканей. Бета-излучение – электронное или позитронное корпускулярное ионизирующее излучение с непрерывным энергетическим спектром. Из-за более низкой, чем у альфа-частиц, ионизирующей способности могут преодолеть большее расстояние в веществе (до 2-3 см в биологической ткани). Гамма-излучение - электромагнитное излучение с высокой энергией фотонов, возникающее при распаде ядер атомов. Имеет слабоионизирующую способность, но крайне высокую проникающую способность. Одной из основных характеристик радиоактивного распада является период полураспада, характеризующий временной промежуток, в течение которого распадается половина начального количества атомов (Антонов, 1978, Белоусова, 2006, Рихванов, 2009). Ионизирующее излучение, возникающее при радиоактивном распаде радионуклидов, образует радиационный фон. Радиационный фон подразделяется на естественный, техногенно измененный естественный и искусственный (Батрутдинов, 2017). Естественный радиационный фон постоянно присутствует в биосфере и обусловлен космическим излучением и естественными радионуклидами, содержащимися в земной коре, в атмосфере и гидросфере (Макаревич, 2013, Линге, 2021). Естественные радионуклиды подразделяются на два класса: первичные и космогенные (Козлов, 1999, Моисеев, 1992, Сапожников, 2006, Макаревич, 2013). Космогенные постоянно образуются в атмосфере при взаимодействии космического излучения с ядрами атомов азота, кислорода и аргона. К космогенным радионуклидам относятся H-3, C-14, Be-7, Na-22 и др. Вместе с атмосферными осадками данные радионуклиды поступают на поверхность земли. Первичные радионуклиды могут принадлежать радиоактивным семействам или находится вне данных цепочек. В первую группу входят Th-232, U-238, U-235, Ra-226, Pb-210 и т.д. Ко второй группе относятся 11 долгоживущих радионуклидов, среди которых ярким представителем является K-40. В результате деятельности человека естественный радиационный фон может быть трансформирован. В таком случае возникает понятие техногенно измененного естественного

радиационного фона (Батрутдинов, 2017), обусловленного, например, природными радионуклидами, поступающими в биосферу вместе с извлеченными на поверхность Земли полезными ископаемыми, или при сгорании органического топлива. Искусственный радиационный фон обусловлен рассеянными в биосфере искусственными радионуклидами, образующимися в результате деятельности человека. Основными источниками поступления искусственных радионуклидов в компоненты окружающей среды являются испытания ядерного оружия, применение ядерных взрывов в мирных целях, атомная энергетика, обращение с радиоактивными отходами, транспортные ядерно-энергетические установки, ядерные и радиационные инциденты и аварии и т.д. (Булатов, 1996, Белоусова, 2006, Кудельский, 2012, Aquilina, 2012, Martin-Garin, 2012, Gallardo, 2016, Ho Song, 2018, Sakakibara, 2019, Strand, 2017, Рихванов, 2009).

Ионизирующее излучение, возникающее при радиоактивном распаде, может оказывать воздействие на человека. Воздействие может быть обусловлено как внешним облучением, так и при внутреннем (Кузовкин, 2014, Адамян, 2015, Новиков, 2014, Онищенко, 2014).

Внутреннее облучение происходит после попадания радионуклидов в организм. Существует несколько возможных путей поступления радионуклидов в организм человека: ингаляционный (с вдыхаемым воздухом), пероральный (с пищей и водой), а также через неповрежденные участки кожного покрова или ожоговые и раневые поверхности (Квачева, 2015). Степень и характер воздействия на органы дыхания при ингаляционном поступлении радиоактивных веществ, прежде всего, зависят от их способности к проникновению, что, в свою очередь, определяется химической формой поступившего радионуклида (IAEA, 1999, Кутьков, 2006, Квачева, 2015). В случаях перорального попадания в организм человека радиоактивных веществ (через желудочно-кишечный тракт с пищей и водой) учитывается, что вещества с низкой всасываемостью (менее 5 %) оказывают местное поражающее действие, тогда как хорошо всасывающиеся (15–20 %) радионуклиды, поступая в кровь, либо равномерно распределяются по организму, либо избирательно концентрируются в «критических» органах и тканях (Калистратова, 2019). При попадании на неповрежденную кожу радиоактивные вещества вызывают местные поражения, скорость возникновения и тяжесть которых зависят от поглощенной дозы, а также скорости всасывания того или иного излучателя. При наличии повреждений кожного покрова (ссадины, ожоговые поверхности, кожно-мышечные раны) резорбция многократно увеличивается.

Внешнее облучение возникает в результате попадания потока частиц в организм человека извне. Такое облучение могут создавать радиоактивные вещества, технологические установки, содержащие радиоактивные изотопы или ускорители частиц. Воздействие источника внешнего облучения на организм зависит от той энергии, которую несут частицы, величины их свободного пробега, расстояния от источника и его активности, а также времени облучения. Наибольшую опасность представляют источники нейтронного и гамма-излучения, так как нейтроны и гамма-кванты обладают наибольшей проникающей способностью.

По степени радиационного воздействия на организм, ядерно-физическим характеристикам, вкладу в суммарную дозу, получаемую человеком, а также встречаемости в окружающей среде, можно выделить основные дозообразующие естественные и техногенные радионуклиды (Таблица 1.1) (Тихонов, 2011).

Таблица 1.1 – Основные дозообразующие радионуклиды

| Естественные радионуклиды | Период полураспада |
|----------------------------|--------------------|
| Углерод-14 | 5730 лет |
| Калий-40 | 1,2 млрд. лет |
| Радон-222 | 3,8 дня |
| Радий-226 | 1617 лет |
| Уран-235 | 800 млн. лет |
| Уран-238 | 4,5 млрд. лет |
| Искусственные радионуклиды | Период полураспада |
| Стронций-90 | 28 лет |
| Цезий-134 | 2 года |
| Йод-131 | 8 дней |
| Цезий-137 | 29,7 лет |
| Плутоний-239 | 24110 лет |
| Америций-241 | 432,6 лет |

При попадании в окружающую среду естественные и искусственные радионуклиды мигрируют и рассеиваются в наземной и морской экосистемах, биоте и донных отложениях водоемов и водотоков (Alokhina and Gudzenko 2021).

В соответствии с Основами государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу (Указ Президента, 2018), ядерная и радиационная безопасность является одной из важнейших составляющих национальной безопасности Российской Федерации (Линге, 2021). Согласно (ФЗ №3, 1996) радиационная безопасность населения – состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения. Для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения применяются нормы радиационной безопасности (НРБ, 2009). Радиационная безопасность человека достигается путем ограничения воздействия от всех основных видов облучения. Важным инструментом для обеспечения радиационной безопасности является мониторинг радиационной обстановки (Линге, 2021). С целью своевременного выявления изменений радиационной обстановки, оценки, прогнозирования и предупреждения возможных негативных последствий радиационного воздействия для населения и окружающей среды в Российской Федерации создана Единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки (ЕГАСМРО). В рамках системы мониторинга и ее функциональных подсистем Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также федеральные органы исполнительной власти и Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом", осуществляющие государственное управление использованием атомной энергии, осуществляют государственный мониторинг радиационной обстановки на территории

Российской Федерации в соответствии с их компетенцией, установленной законодательством Российской Федерации, и в порядке, утвержденном (Постановление, 2013).

Таким образом, оценка текущей радиоэкологической обстановки и своевременное выявление ее изменений, прогнозирование возможных негативных последствий радиационного воздействия для населения и окружающей среды, проведение радиоэкологического мониторинга в условиях потенциально возможного влияния радиационно-опасного объекта являются актуальными и необходимыми к решению задачами. Кроме этого не менее актуальным становится применение естественных и искусственных радионуклидов для решения научно-практических задач в области экологии (например, оценка миграции радионуклидов по пищевым цепочкам), биологии (оценка механизмов адаптации организмов в условиях воздействия ионизирующего излучения на биологические системы), геологии (поиск и разведка полезных ископаемых, оценка и прогнозирование геологических процессов), медицине (оценка физиологических и биохимических процессов) и других областях науки и техники.

1.2. Физико-географические условия Ненецкого автономного округа

Ненецкий автономный округ располагается на северо-востоке европейской части Российской Федерации; большая часть округа расположена за Полярным кругом. Наибольшая протяженность округа с севера на юг в материковой части – около 320 км, с запада на восток – 950 км. Крайняя северная точка округа в материковой части – на мысе Тонкий (69° 51' с.ш. и 61° 10' в.д.), в островной части – на о-ве Вайгач, мыс Болванский Нос (70° 27' с.ш. и 58° 32' в.д.) (Стратегия соц.-экон. разв НАО, 2019, Национальный атлас..., 2011).

Территория округа составляет 176,7 тыс.км², что составляет 1 % от территории Российской Федерации и занимает 23-е место среди ее субъектов. Ненецкий автономный округ – четвертый по площади субъект РФ в составе Северо-Западного федерального округа после Архангельской области, республик Коми и Карелия. От территории СЗФО он занимает 10,5 %. Ненецкий автономный округ входит в состав Северного экономического района, в который входят также республики Карелия и Коми, Архангельская и Мурманская области. Округ расположен на севере Восточно-Европейской равнины (Стратегия соц.-экон. разв НАО, 2019, Национальный атлас..., 2011).

Ненецкий автономный округ граничит на юго-западе с Мезенским районом, Архангельской области, на юге и юго-востоке – с Республикой Коми, на северо-востоке – с Ямало-Ненецким автономным округом. На севере омывается Белым, Баренцевым и Карским морями (Национальный атлас..., 2011). Географическое расположение Ненецкого автономного округа представлено на Рисунке 1.1. В состав Ненецкого автономного округа входят острова Колгуев, Вайгач, Сенгейский, Гуляевские Кошки, Песяков, Долгий и другие, более мелкие.

Территория Ненецкого автономного округа расположена в зонах тундры (76,6 %), лесотундры (15,4 %), юго-западная часть — в подзоне северной тайги (8 %). В зоне тундры выделяются подзоны арктических (4,9 %), горных (3,5 %), северных (10,3 %), южных (57,9 %) тундр. Округ подвержен систематическому вторжению атлантических и арктических воздушных масс. Частая смена воздушных масс — причина постоянной изменчивости погоды. Зимой и осенью преобладают ветра с южной составляющей, а летом — северные и северо-восточные, обусловленные вторжением холодного арктического воздуха на нагретый материк, где атмосферное давление в это время понижено (Национальный атлас..., 2011).



Рисунок 1.1 – Географическое расположение Ненецкого автономного округа и основные ключевые участки исследования

Регион окружают территориальные воды Белого, Баренцева и Карского морей с длиной береговой линии около 3000 км и пресноводные водные объекты, состоящие из множества больших, средних и малых озер общей площадью более 1 млн. га. (161 озеро общей площадью водного зеркала более 100 га) и водотоков общей длиной более 4000 км, из них 1542 рек протяженностью 26 624 км) (Селин, 2014, Национальный атлас..., 2011).

Среди рек особое место занимает река Печора, в пределах округа находится её низовье (220 км) с обширной дельтой. Глубины позволяют морским судам подниматься до Нарьян-Мара (Селин, 2014, Пилясов, 2017).

Площадь земельного фонда Ненецкого автономного округа составляет 17 681 тыс. га. В структуре земель сельскохозяйственного назначения (73,5 %) доминируют оленьи пастбища (99,8 %).

Ненецкий автономный округ занимает исключительное место по запасам углеводородов. В его недрах находятся 52,7 % суммарных ресурсов углеводородного сырья Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, на которую приходится 6,6 % начальных суммарных ресурсов нефти и 2 % природного газа России. На момент 01.01.2019 в сухопутной части провинции открыто свыше 268 месторождений углеводородов, из них свыше 200 – нефтяные (Прищепа, 2020).

Кроме того, округ обладает весьма значительными запасами других полезных ископаемых. Имеются проявления марганца, бокситов, никеля, меди, молибдена, мусковита, золота, алмазов, а также месторождения агатов, месторождения флюорита, проявления свинцово-цинковых и медных руд на Вайгаче, повсеместно встречается торф. Разведано около 80 месторождений строительных материалов: песка, гравия, глины, строительного камня. Достаточно разведанными и в некоторой степени готовыми к добыче являются лишь: нефть, углеводородные газы, месторождения флюорита, некоторые виды строительных материалов, пресные и лечебные столовые минеральные вод, месторождения агатов (Данилов, 1980, Гетман, 2008).

Транспортная сеть Ненецкого автономного округа развита слабо, наиболее развитыми видом транспорта в округе является трубопроводный транспорт, непосредственно связанный с деятельностью нефте- и газодобывающих предприятий, а также водный транспорт и в частности морской водный транспорт, в части использования Северного морского пути (Селин, 2010, Пилясов, 2017).

В силу своего географического положения и климатических условий Ненецкий автономный округ имеет значительные стада рыб и крупное поголовье северных оленей. Поголовье оленей достигает 12 % от общего по России. Эксперты оценивают емкость оленьих пастбищ в 180-190 тыс. голов. Пастбища в настоящий момент используются на 97 % (Павлов, 2000, Андронов, 2021).

Практически все водоемы в Ненецком автономном округе служат местом нагула, зимовки, нереста и миграции различных видов рыб. Ихтиофауна в реках и озерах представлена 40 видами водных биоресурсов, а в прибрежных морских водах - 64 вида, из которых 27 видов имеют промысловое значение. Из проходных рыб - семга, омуль и другие; из полупроходных - нельма, сиг, ряпушка; из местных - щука, язь, сорога, окунь, налим, пелядь, хариус и другие. В прибрежных морях распространены - сельдь, навага, камбала, сайка, корюшка и другие. Практически все водоемы служат для зимовки, нереста, нагула и миграции рыб (Мурашко, 2011).

1.3. Основные изученные реки Ненецкого автономного округа

Река Печора. Река Печора является крупнейшей арктической рекой в пределах Европейской части России (Государственный водный реестр, 2009). Она берет свое начало на Северном Урале и впадает в Печорское море. Устьевая часть р. Печора относится к типу приливного устья с дельтой выполнения и закрытым отмелым устьевым взморьем. Устьевая область включает устьевой участок реки, от впадения р. Сулы (в 190 км от устьевого створа) до морского края дельты, и устьевое взморье – Печорскую губу. Морской границей устьевой области Печоры является линия, проходящая через полуостров Русский заворот, цепь Гуляевских кошек, о. Песяков. Устьевой участок р. Печора полностью включает в себя дельту р. Печора, вершина которой находится в месте разветвления главных рукавов дельты Печоры – Большой и Малой Печоры – в 120 км от морского края дельты. Площадь дельты порядка 2900 км², причем на долю суши в межень приходится около 70% ее площади.

Площадь устьевого взморья, занимающего обширный мелководный залив – Печорскую губу, составляет около 6400 км², а объем его вод – около 35 км³. Длина устьевого взморья около 80 км, ширина вдоль морской границы – 110 км (включая Гуляевские кошки) (Балакина, 2013).

Устьевая область р. Печора используется для уелей речного и морского судоходства. В устьевой области расположен морской и речной порт Нарьян-Мар, который является важным транспортным узлом на водной магистрали Печорского края и Северного морского пути. Печорская губа и дельта р. Печора являются важными рыбохозяйственными объектами, играющими значительную роль в экономике Ненецкого автономного округа.

Устьевая часть р. Печора уже становится объектом интенсивного хозяйственного освоения. Это связано с открытием газовых и нефтяных месторождений непосредственно в устьевой области и прилегающих к ней районах Большеземельской и Малоземельской тундры (Кривов, 2020).

Разведка и промышленное освоение месторождений природного газа и нефти в этой области зависят от гидрологических условий. Основным фактором, определяющим изменения

гидрологических характеристик в устье реки Печора, является сток воды, многолетние и сезонные изменения которого в основном отображают климатические процессы. Однако, несмотря на большое народнохозяйственное значение, этот объект остается малоизученным в гидрологическом отношении, что затрудняет прогнозирование изменений ее гидрологического режима и оценку ее роли в выносе загрязняющих веществ в Арктику.

Площадь бассейна Печоры составляет около 324 000 км² (Государственный водный реестр, 2009). По данным Северного УГМС, средний годовой объем сток в вершине дельты составляет 135,4 км³. Процентное распределение объема стока воды по месяцам имеет неравномерный характер, что связано с режимом питания реки. Печора имеет преимущественно снеговое питание. Ее сток характеризуется мощным весенним половодьем (в мае – июле), на долю которого приходится 60-70% годового объема стока, и низкой зимней меженью, когда питание реки происходит исключительно за счет грунтовых вод. В летне-осенний (август – октябрь) период часто проходят дождевые паводки, поэтому водность реки в летне-осенний период значительно больше, чем в зимний сезон (Полонский, 1984, 2007, 2012, - Балакина, 2013).

В вершине дельты сток распределяется по системе двух основных рукавов дельты – Большой и Малой Печоре. В половодье 46% объема стока поступает по Малой Печоре. Такое процентное соотношение в распределении стока между основными рукавами дельты сохраняется до межени. В меженный период на долю объема стока, поступающего в Большую Печору, приходится 60 % от суммарной величины стока, поступающего в вершину дельты.

Расположение устьевой части реки Печора показано на Рисунке 1.2.

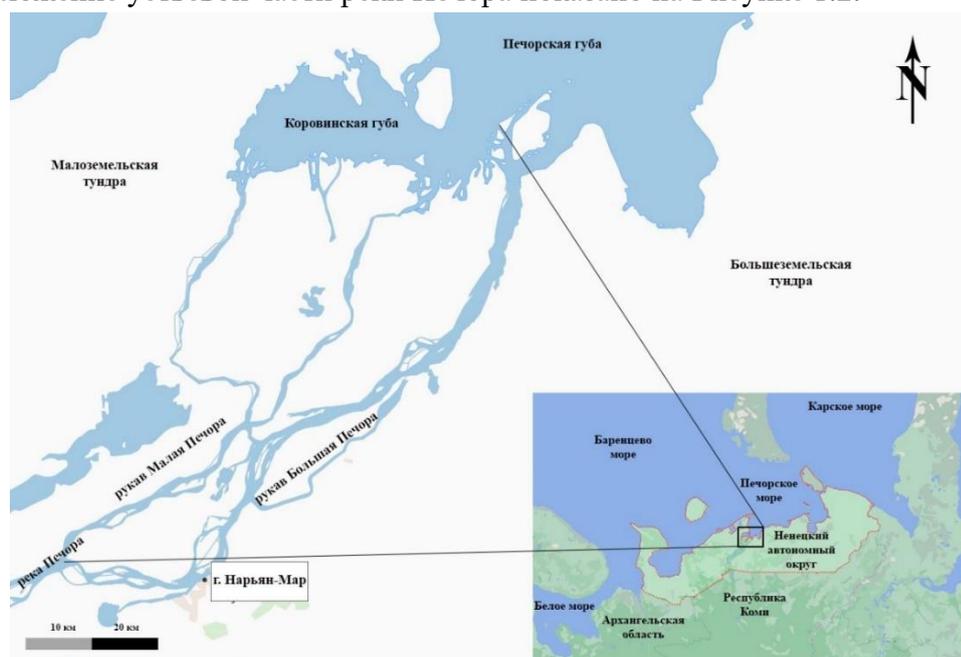


Рисунок 1.2 – Устьевая часть реки Печора

Река Несь. Согласно государственному водному реестру России река Несь относится к Двино-Печорскому бассейновому округу, протекает в Ненецком автономном округе на юге полуострова Канин (Государственный водный реестр, 2009). Географическое положение реки представлено на рисунке 1.3. Длина реки составляет 151 км, берет свое начало с озера Несь. Устье реки находится в 7 милях к юго-западу от мыса Михайловский на Конушинском берегу. Река протекает среди песчано-глинистых берегов, покрытых редким смешанным лесом. Устье реки открыто для западных ветров, волнение заходит в него только во время прилива, а во время отлива разбивается на прибрежной осушке. Правый берег устья реки низменный и покрыт

низкорослым кустарником; высокий левый берег представляет собой песчано-глинистый обрыв с тремя приметными песчаными сопками Туркины. На правом берегу реки, примерно в 6 милях от устья, расположено село Несь Канинского сельсовета.

В гидрологическом контексте малые реки Ненецкого автономного округа слабо изучены. В литературе наиболее полно представлены данные по исследованию двух рек Чижа и Чеша. Дается характеристика гидролого-гидрохимических параметров, описание околородных растительных сообществ, а также орнитофауны и ихтиофауны (Мискевич, 2014).

Среди почв в верхнем течении реки Несь можно выделить глее-подзолистые, преимущественно в комплексе с тофянисто-подзолисто-глеевыми. В пойме реки формируются как аллювиально-дерново-глеевые, аллювиально-болотные, так и подзолы частично в комплексе с торфянисто-подзолистыми иллювиально-гумусовыми почвами.

В нижнем течении реки преобладают тундровые мерзлотные остаточнo-торфяные в комплексе с болотными верховыми торфяными почвами. В месте впадения реки Несь встречаются аллювиально-маршевые солончаковые почвы.

В верховьях встречаются тундровые поверхностно-глеевые в комплексе с тундровыми остаточнo-поверхностно-глеевыми и тундровыми торфянистыми поверхностно-глеевыми скрытоподзолистыми (Атлас, 1976).

Расположение бассейна реки Несь показано на Рисунке 1.3.

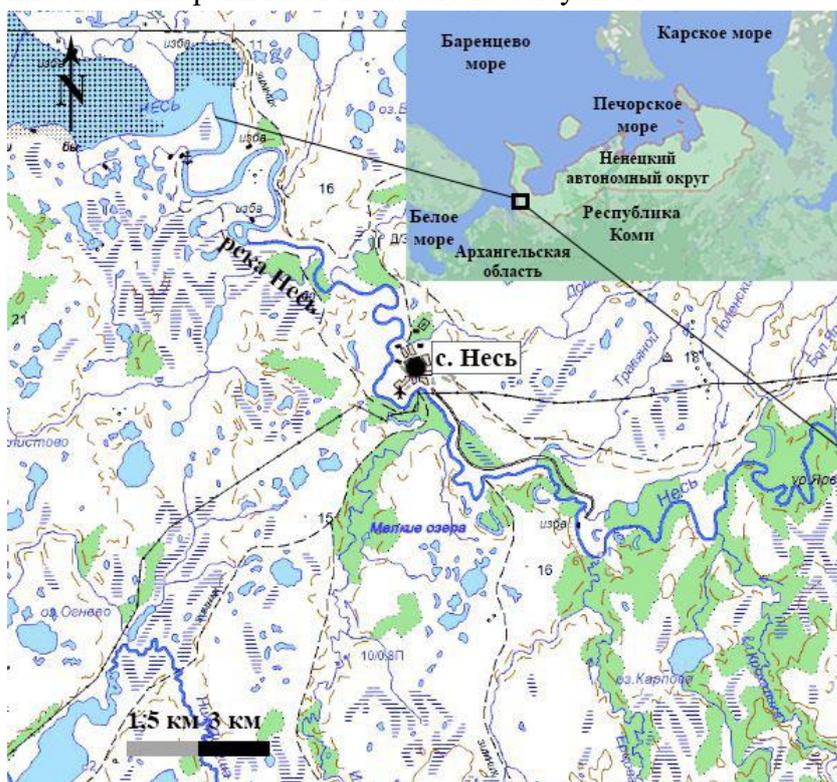


Рисунок 1.3 – Бассейн реки Несь Ненецкого автономного округа

Река Колва. По данным государственного водного реестра России и геоинформационной системы водохозяйственного районирования территории РФ, подготовленной Федеральным агентством водных ресурсов (Государственный водный реестр, 2009) река Колва относится к Двинско-Печорскому бассейновому округу речного бассейна реки Печора. Длина реки составляет около 546 км, площадь водосборного бассейна составляет 18100 км. Река Колва берет начало от возвышенности Янеймусюр и течет на юг по территории Большеземельской тундры. Питание реки преимущественно снеговое. Половодье на реке продолжается с конца апреля и

июль. Наибольший расход воды фиксируется в июне – 452,61 м³/с. На всем протяжении река Колва имеет равнинный характер, средние меженные скорости течения 0,3 – 0,7 м/с. Глубина на перекатах 0,3 – 1,3 м, на плесах менее 4 м. Донные отложения представлены песками или галькой с разной степенью заиления (Лоскутова, 2015).

Главной особенностью бассейна реки Колва является наличие большого нефтегазовых месторождений. С 1988 г. река загрязняется нефтепродуктами, поступающими на водосбор в результате многочисленных утечек на нефтепроводе, который тянется вдоль левого берега реки на расстоянии 1,5-2 км от русла, пересекая устья многочисленных малых притоков (Лоскутова, 2015, Пудовкина, 2020). Расположение бассейна реки Колва показано на Рисунке 1.4.

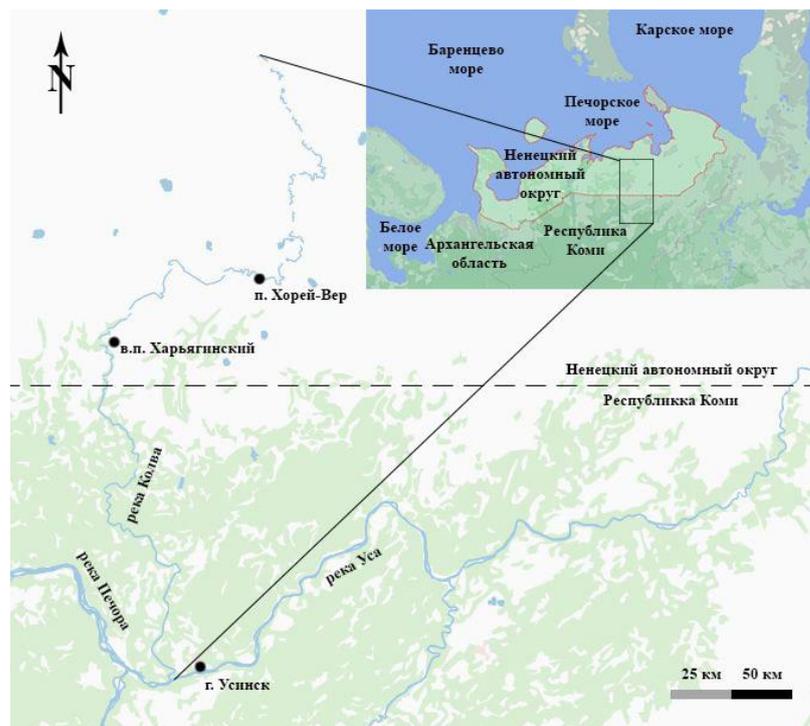


Рисунок 1.4 – Бассейн реки Колва Ненецкого автономного округа и Республики Коми

1.4. Оценка общего экологического состояния региона

В настоящее время одной из основных экологических проблем НАО является загрязнение объектов геологической среды нефтепродуктами. В первую очередь данная проблема связана с ресурсно-экономической спецификой региона, в котором доля в промышленности нефтегазодобычи составляет более 95%. В настоящий в сухопутной части Тимано-Печорской провинции, на которой находится и территория НАО, открыто свыше 268 месторождений углеводородов, из них свыше 200 – нефтяные (Прищепа, 2020).

Наиболее загрязненными компонентами геологической среды являются почвы, донные осадки, поверхностные и подземные воды (Латкин, 2009). Техногенное воздействие на компоненты природной среды, связанное с добычей углеводородов имеет линейно-очаговый характер и затрагивает в основном территории прокладки трубопроводов и площадных объектов (кусты нефтяных скважин, вахтовые поселки). Наряду с нефтепродуктами значительная роль в загрязнении экосистем НАО принадлежит тяжелым металлам и радионуклидам, которые входят в состав как самих компонентов нефтей, так и в состав попутно-извлекаемых пластовых минерализованных вод (Крайнева, 2014). Неблагоприятные природно-климатические условия

Европейской субарктики России, выражающиеся в сильной обводненности территории, наличии многолетнемерзлых пород, обширных проявлениях экзогенных геологических процессов способствуют быстрому распространению загрязнений, а также значительно усложняют проведение рекультивационных работ. В тоже время, наличие на территории округа уникальных малонарушенных тундровых экосистем, перспектив расширения сети особоохраняемых прородных территорий, а также высокий потенциал развития сельского хозяйства определяет необходимость проведения исследований, направленных на оценку устойчивости наземных экосистем к техногенному воздействию объектов нефтедобычи, прогноз возможных изменений состояния природных объектов и разработку рекомендаций по минимизации последствий.

До середины 90-х годов специализированных исследований по оценке воздействия объектов нефтедобычи на экосистемы НАО не проводилось. Определение содержания нефтепродуктов в грунтах, грунтовых и поверхностных водах осуществлялось, как правило, в рамках государственного контроля за деятельностью промышленных предприятий (Латкин, 2009, Маськов, 1997, Куртеева, 2009).

В настоящее время по результатам геоэкологического районирования территории НАО по степени уязвимости природной среды к воздействию нефтедобывающего комплекса выделено 7 рангов экологической уязвимости (Шумилова, 2009). Пространственная структура экологической опасности территории НАО носит очаговый характер (Доклад, 2019), обусловленный расположением предприятий энергетики, нефтеперерабатывающей, угледобывающей, газодобывающей, лесозаготовительной и деревообрабатывающей отраслей. Один из основных объектов загрязнения является река Печора, как самая крупная водная артерия НАО, и ее бассейн (Доклад, 2019). Согласно Докладу о состоянии окружающей среды в НАО в устьевой части р. Печора в 2017 году оценивалась в створе выше г. Нарьян-Мар 4-ым классом разрядом «а» («грязная»), в створе ниже - 3-им классом разрядом «б» («очень загрязненная»). Другая крупная водная артерия река Колва в районе п. Хорей-Вер характеризуется как «очень загрязненная».

Загрязнение природной среды Ненецкого автономного округа происходит как при нормальной эксплуатации объектов нефтегазодобычи, так и в результате аварийных разливов нефти. Так, например, 24 октября 2009 года на межпромысловом трубопроводе Южное Хыльчую-Варандей (НАО), произошел аварийный разлив нефти. По предварительной оценке, разлилось около 2,56 тонн нефти (Регнум, 2009, <https://regnum.ru/news/1219380>). В апреле 2012 года в результате аварии на месторождении им. Требса (НАО), поверхность почвы попало около 2,2 тыс. тонн нефти (Интерфакс, 2012, <https://www.interfax.ru/russia/242201>). В июне 2020 года на Дюсушевском месторождении (НАО), принадлежащем компании "Полярное сияние", произошла утечка десяти тонн нефти и других жидкостей из-за разгерметизации скважины. Загрязнение почв составило 50 кв. м. (РИА Новости, 2020, <https://ria.ru/20200608/1572638450.html>). 11 мая 2021 года на Ошском месторождении на территории Ненецкого автономного округа (НАО) произошел разлив нефтепродуктов, в результате чего объем нефтесодержащей жидкости, попавшей в водоем и почву, составил около 100 тонн (ТАСС, 2021 <https://tass.ru/proisshestviya/11388343>). 2 июля 2023 года в Республике Коми в районе г. Усинск, из-за аварии на промысловом трубопроводе на Южно-Ошском нефтяном месторождении произошел разлив нефтепродуктов, в результате чего в реку Колва попало около 1000 кубических метров нефти (Гисметео, 2023, <https://www.gismeteo.ru/news/>).

Таким образом, экологическая обстановка на территории НАО остается и будет оставаться в ближайшем будущем достаточно сложной с учетом ресурсно-экономической специфики региона, связанной с добычей углеводородного сырья.

1.5. Характеристика потенциальных источников радионуклидного загрязнения Ненецкого автономного округа

Арктическая зона Российской Федерации, на территории которой находится НАО, с момента начала ядерных испытаний мирного и военного назначений оказалась в области воздействия радиоактивности искусственного происхождения (Charles, 2001). Главными источниками техногенной радиоактивности были радиоактивные выпадения после ядерных испытаний, в том числе на архипелаге Новая Земля, загрязнения от западноевропейских радиохимических заводов Великобритании и Франции; последствия Чернобыльской катастрофы 1986 года (Smith, 2000, Strand, 2002, Dowdall, 2005, Киселев, 2018, Lokas, 2013, Матишов, 2014). Определенный вклад в техногенное радиоактивное загрязнение Арктики внесли ряд других локальных источников. В 1968 году неподалеку от военной базы в Гренландии на льду потерпел крушение американский бомбардировщик Б-52 с четырьмя водородными бомбами на борту. В результате аварии было потеряно около 7 кг плутония, из которых только половину удалось извлечь с поверхности льда, остальные 3,5 кг оказались рассеянными в морской среде. Значительные количества плутония оказались в атмосфере Арктики в результате аварии 21 апреля 1964 года спутника «Транзит-5В» с ядерной энергетической установкой SNAP-9А на борту, содержащей 950 г Pu-238 (Charles, 2001). В стратосфере Северного полушария в результате этого инцидента оказалось около 100 ТБк Pu-238. Следующая авария спутника с ядерной энергетической установкой произошла 24 января 1978 года в районе северо-западных территорий Канады. Это был советский спутник Космос-954 с ядерным реактором, содержащим около 50 кг высокообогащенного урана (90% U-235). Общая активность образовавшихся продуктов распада в северном полушарии достигла для стронция - 3,1 ТБк, а для цезия - 3,2 ТБк и 0,27 ТБк для Pu-239 (Tracy, 1984).

Потенциальный вклад в радиоактивное загрязнение Ненецкого автономного округа могут вносить предприятия атомного судостроения и судоремонта, базы атомных кораблей и подводных лодок Северного флота ВМФ России, заводы по переработке и хранению радиоактивных отходов (Ильин, 2017). В настоящее время на дне морей Западной Арктики в совокупности находится около 18 тыс. радиационно-опасных объектов (контейнера, суда с твердыми радиоактивными отходами, радиоактивные конструкции и блоки). Как минимум семь крупных объектов содержат в составе делящиеся вещества: три атомные подводные лодки, затопленные в Баренцевом, Норвежском и Карском морях, а также реакторные отсеки с ядерными энергетическими установками (Саркисов, 2013).

Другими источниками техногенной радиоактивности, которые потенциально могут представлять серьезную радиоэкологическую угрозу для окружающей среды и человека на территории Ненецкого автономного округа являются отдельные объекты «ядерного наследия». Одним из таких объектов является мирный ядерный взрыв «Пирит», осуществленный в 1981 году для остановки процесса неконтролируемого фонтанирования газа из скважины К-9 Кумжинского газоконденсатного месторождения в дельте реки Печора (Богоявленский, 2017). В целях остановки процесса фонтанирования газа из скважины К-9 в 1981 года на глубине 1,5 км был применен подземный взрыв ядерного заряда «Пирит» мощностью 37,6 кт. Применение ядерного

взрыва не устранило проблемы фонтанирования газоконденсатной смеси, но вызвало значительное техногенное землетрясение магнитудой около 5,4, которое могло привести к образованию систем разломов и трещин, увеличивающих уровень вертикальной миграции газов (Богоявленский, 2017).

Помимо техногенной радиоактивности территория Ненецкого автономного округа оказалась подвержена воздействию естественных радиоактивных элементов. Потенциальная опасность загрязнения тундровых экосистем Ненецкого автономного округа естественными радионуклидами связана в первую очередь с наличием, как на континентальной части, так и на шельфе многочисленных месторождений углеводородов (Конторович, 2010). Как правило, залежи нефти и газа содержат высокие концентрации радионуклидов уранового и ториевого рядов, а также калий-40 (Третьякова, 2017). Обогащение углеводородов радионуклидами, как правило, связано с тем, что нефти часто сопровождаются глинистыми сланцами с высоким естественным содержанием урана. Песчано-глинистые коллекторы содержат циркулирующие рассолы, в которых постепенно растворяется Ra-226 и его дочерние продукты и вместе с нефтью и газом поступают на поверхность (Третьякова, 2017). Второй путь обогащения углеводородов радионуклидами связан с диффузией Rn-222 из глубинных пород в нефтяные пласты. Rn-222 и продукты его распада, такие как Po-210 и Pb-210, так же являются главными радиоактивными загрязнителями нефти и газа. Наибольшее количество радионуклидов поступает на поверхность в составе минерализованных попутных вод, составляющих самый большой объем отходов в процессе добычи нефти и газа (Stephenson, 1992). Высокие активности естественных радионуклидов характерны для подземных минерализованных вод многих нефтегазовых провинций мира (Кошкина, 2016). Так, в пос. Водный в Ухтинском районе Республики Коми, крупного нефтегазового региона, являющегося частью Тимано-Печорской провинции, в 1931 году было создано единственное в мире предприятие завод №226, где из подземных минерализованных вод выделяли Ra-226. Предприятие функционировало до 1957 года. После его закрытия по результатам радиационного мониторинга было выявлено более 700 участков радиевого и ураново-радиевого загрязнения площадью от 10 до 10000 м² на территории 3000 км² (Кичигин, 2004). В Республике Коми определенные проблемы образования отходов с высоким содержанием природных радионуклидов имеют место и на Вуктыльском газоконденсатном месторождении. Согласно работе (Лебедев, 2016) повышенные уровни радиационного загрязнения характерны для многих предприятий топливно-энергетического комплекса России. Радиоактивные вещества накапливаются во внутренних полостях оборудования в форме солевых отложений, основной составляющей которых являются радиобариты Ba(Ra)SO₄. Таким образом, проблемы обеспечения радиационной безопасности в нефтегазовом комплексе страны и мира имеют место быть и определяют необходимость разработки соответствующих мероприятий по минимизации воздействия радиоактивности на окружающую среду и персонал. В связи с этим, в последние годы международным научным сообществом уделяется большое внимание, как с научно-технической, так и с нормативно-правовой позиции проблеме образования радиоактивных отходов естественного происхождения при добыче и переработке углеводородов (Nabhani, 2016). В России решению данной проблемы до сих пор не уделяется должного внимания (Кошкина, 2016). Наличие таких отходов, а также общие подходы к их обращению частично зафиксированы и регламентированы в российском законодательстве и федеральных нормах и правилах. Но при этом они не дают четкого и ясного регламента обращения с радиоактивными отходами нефтегазовой отрасли, содержащими радионуклиды естественного происхождения. Это связано в первую очередь с отсутствием комплексного подхода к

мониторингу радиационного загрязнения и оценке радиационной безопасности при добыче нефти и газа. В связи с этим, крайне актуальным в настоящее время для Российской Федерации является вопрос создания нормативного обеспечения по организации обращения с радиоактивными отходами при нефтегазодобыче (Кошкина, 2016).

Трансформация естественного радиационного фона может быть обусловлена не только прямым воздействием деятельности человека, но и косвенным. Интенсификация работы предприятий топливно-энергетического комплекса и сельскохозяйственного сектора, техногенное изменение ландшафтов, увеличение транспортной нагрузки приводят к поступательному увеличению средней температуры Земли и, соответственно, потеплению климата. Проблема изменения климата за последние несколько лет выросла до наиболее актуальной проблемы во всем мире. Последствия изменений климата можно наблюдать повсеместно, начиная с изменения рельефа, растительности, животного мира, и заканчивая техногенными инцидентами и авариями (Zolkos et al. 2021).

Одним из важнейших негативных результатов потепления климата является процесс оттаивания вечномёрзлых грунтов. Процесс оттаивания мерзлоты приводит к высвобождению различных газообразных веществ, которые в свою очередь могут ускорить изменение климата, например, парниковые газы (Obu et al. 2019, Viscaborn et al. 2019). Результаты последних исследований показывают, что граница многолетнемерзлых пород постепенно сдвигается с юга на север, а глубина сезонно-талого слоя увеличивается (Zhang et al. 2021). И это заметно на примере огромных кратеров в Ямало-Ненецком автономном округе (Buldovicz et al. 2018), обрушении зданий в Норильске (Koptev, 2020) и изменении рельефа и экосистем в целом (Ji et al. 2019, Doloisio et al. 2020).

Кроме этого, изменение параметров вечной мерзлоты приводит к перераспределению макро- и микроэлементов в геологической среде (Shirokova, 2021, Dahédrey Payandi-Rolland, 2021, Pokrovsky, 2022). При этом одним из факторов, который может оказаться под влиянием процесса деградации мерзлоты, является естественная радиоактивность (Puchkov, 2021, 2022). На текущий момент тематике поведения радона в условиях деградации мерзлоты посвящено лишь незначительное количество работ, и по большей части теоретической направленности (Puchkov, 2021). Но несмотря на это существующие исследования показывают, что мерзлота имеет существенную барьерную функцию для потоков естественных радиоактивных газов. Учитывая, что южная граница мерзлоты находится частично на границе Архангельской области и Ненецкого автономного округа (Streletskiy et al. 2019), Канинская тундра которого характеризуется островным распространением многолетнемерзлых пород (Игловский, 2010), исследование процессов трансформации естественного радиационного фона в условиях деградации многолетнемерзлых пород приобретает особую актуальность для изучаемого региона.

Таким образом, на территории Ненецкого автономного округа можно выделить несколько потенциальных источников трансформации радиационного фона: радиоактивные выпадения после ядерных испытаний; последствия Чернобыльской катастрофы 1986 года; проведение ядерных взрывов в мирных целях; деятельность радиационно-опасных объектов, в том числе судостроительных и судоремонтных предприятий; интенсификация нефтегазовой деятельности; деградация многолетнемерзлых пород с высвобождением естественных радиоактивных газов.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работы выполнялись в лаборатории экологической радиологии Института геодинимики и геологии им. Ф.Н. Юдахина Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук. На момент проведения измерений лаборатория была аккредитована в национальной системе аккредитации в области радиационного контроля, аттестат аккредитации № RA.RU.21HA54.

Отдельные измерения радиационных параметров были проведены на базе радиометрической лаборатории АО «ЦС «Звездочка» (г. Северодвинск), аккредитованной в национальной системе аккредитации в области проведения радиационных измерений.

Все используемые средства измерения в обязательном порядке проходят периодическую метрологическую поверку, а испытательное оборудование – аттестацию. Используемые методики измерений и пробоподготовки являются стандартными методиками или аттестованными методиками в соответствии с законодательством Российской Федерации в области обеспечения единства измерений. Используемые реактивы, химическая посуда и вспомогательное оборудование проходят входной контроль на соответствие требованиям применяемых методик.

В общей сложности на изучаемой территории было отобрано более 50 проб почвы, 199 проб донных осадков, 40 проб воды, 11 проб нефтешлама, 91 кг биологических проб (рыба, олень). Ключевые участки исследования с указанием видов отобранных пробы указаны на Рисунке 2.1.

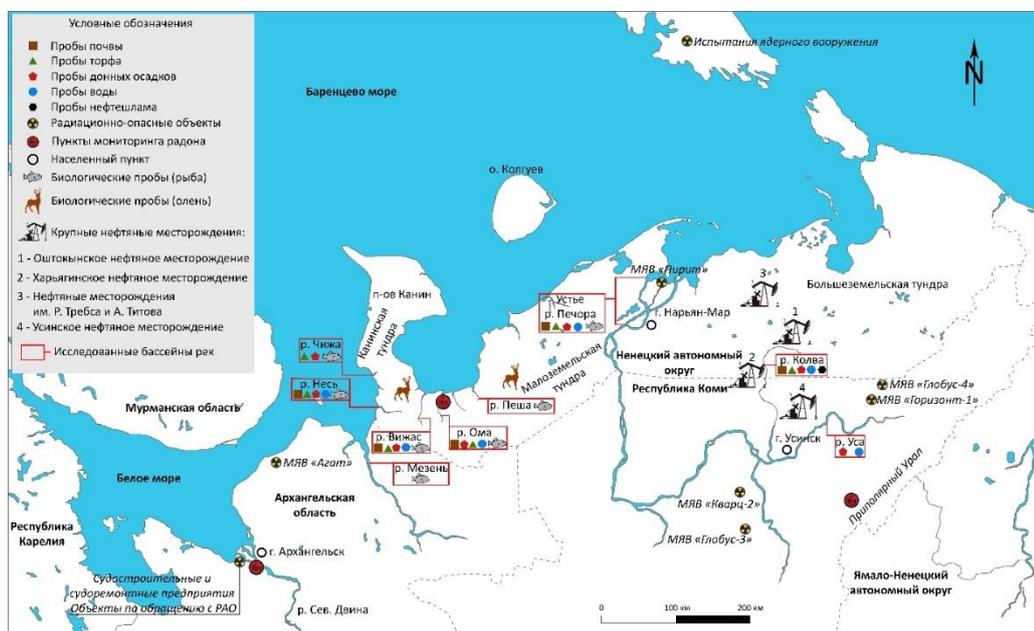


Рисунок 2.1 – карта-схема расположения ключевых участков исследования

2.1. Гамма-спектрометрический метод определения активностей гамма-излучающих радионуклидов

Определение радионуклидов Cs-137, Ra-226, Ra-228, Th-232, K-40, Am-241, Pb-210 проводили с применением низкофоновых полупроводниковых гамма-спектрометров ORTEC

(США) на основе коаксиальных детекторов GEM10, GMX25, GEM40 из особо чистого германия (HPGe) с цифровым анализатором и программным обеспечением (MAESTRO-32 и GAMMA-VISION-32, SpectralineGP) (Методика, 2022). Относительная эффективность детекторов составляет – 15%, 25% и 40% соответственно. Калибровка детекторов по энергии проводили с применением объемных мер активности специального назначения (ОМАСН) разной плотности (кварцевый песок, ионно-обменная смола типа КУ-2-8, древесный опилки) с набором радионуклидов Am-241, Cd-109, Y-88, Cs-137, Eu-152. В качестве геометрий измерения были выбраны: сосуд Маринелли объемом 1 литр, пластиковые стаканы объемами от 50 до 250 мл, подложки объемом 5 мл.

При измерении активности радионуклида Ra-226 подготовленные счетные образцы тщательно герметизировались и выдержались в течение 3-4 недель для достижения состояния равновесия членов радиоактивного ряда U-238.

Удельная активность радионуклида Ra-226 определялась по дочерним продуктам его распада (ДПР) Pb-214 (351,93 кэВ с квантовым выходом – 35,60%), Bi-214 (609,32 кэВ с квантовым выходом – 45,49%, 1120,29 кэВ с квантовым выходом 14,92%, 1764,49 кэВ с квантовым выходом – 15,3%).

Удельная активность Ra-228 в донных отложениях и почвах определялась по радионуклиду Ac-228 с энергией гамма-излучения 911,20 кэВ и квантовым выходом 25,8%).

Удельная активность радионуклида Th-232 определялась по его ДПР Pb-212 (238,63 кэВ с квантовым выходом – 43,6%), Ac-228 (911,20 кэВ с квантовым выходом 25,8%), Tl-208 (583,19 кэВ с квантовым выходом 85,0 %, 2614,51 кэВ с квантовым выходом – 99,75%).

Удельная активность радионуклида Cs-137 определялась по линии гамма-излучения 661,66 с квантовым выходом 89,90%, принадлежащей его дочернему радионуклиду – Ba-137m.

Удельная активность радионуклида K-40 определялась по линии 1460,82 кэВ с квантовым выходом – 10,66%).

Удельная активность радионуклида Am-241 определялась по линии гамма-излучения 59,54 кэВ с квантовым выходом – 35,90%.

Удельная активность радионуклида Pb-210 определялась по линии гамма-излучения 46,50 кэВ с квантовым выходом – 4,05%. В силу низких значений энергии гамма-излучения и квантового выхода для определения данного радионуклида применяли гамма-спектрометрический комплекс с детектором расширенного энергетического диапазона.

Минимально измеряемые активности (МИА) радионуклидов при времени измерения $t_0 = 1$ ч были рассчитаны программным методом и по формуле:

$$A_{min}(t_0) = \frac{200 * \sqrt{N'_{\Sigma}}}{\varepsilon(E_{\gamma i}) * t_0 * I_{abc}}, \quad (2.1)$$

где $\varepsilon(E_{\gamma i})$ - значение эффективности регистрации гамма-квантов, соответствующих пику полного поглощения для данного нуклида и выбранных геометрических условий;

I_{abc} - абсолютная интенсивность гамма-квантов с энергией $E_{\gamma i}$ данного нуклида, в процентах;

N'_{Σ} - сумма отсчетов, зарегистрированных на участке спектра, соответствующего пику полного пику полного поглощения нуклида с учетом двойной ширины пика на его полувысоте.

МИА для произвольного времени экспозиции t рассчитывали аналогично программным методом и по формуле:

$$A_{min}(t) = A_{min}(t_0) * \sqrt{\frac{t_0}{t}} \quad (2.2)$$

МИА при экспозиции $t = 18000$ с для геометрии «Маринелли» в низкофоновом исполнении для детектора GEM10 составили для Ra-226 – 0,3 Бк, K-40 – 15,0 Бк, Cs-137 – 0,1 Бк и Th-232 – 0,2 Бк.

2.2. Бета-радиометрический метод определения Sr-90 с радиохимической подготовкой

Определение радионуклида Sr-90 проводилось по его дочернему продукту распада – Y-90. Методика радиохимического выделения Y-90 основана на осаждении оксалатов Sr-90 и кальция в условиях кислой среды, дополнительной очистке стронция, накопления и выделения дочернего Y-90 в виде гидроокислов на первом этапе, а далее выделения Y-90 в виде оксалата и измерения его активности по бета-излучению (Методика, 2013).

Для подтверждения того, что выделен химически чистый Y-90, счетный образец измеряют ежедневно в течение 1-2 недель и рассчитывают период полураспада радионуклида. В случае если данный период совпадает с периодом полураспада Y-90, считается, что радиохимическое выделение прошло успешно.

Расчет удельной активности Sr-90 после измерения радиохимически выделенного Y-90 проводился по следующей формуле:

$$Asr90 = \frac{Ns - Nb}{Eff \times M \times ChLos \times Kabs}, \quad (2.3)$$

где $Asr90$ – удельная активность стронция-90 в пробе, Бк·кг⁻¹;

Ns – скорость счета пробы на радиометрической установке, имп·с⁻¹;

Nb – скорость счета фона на радиометрической установке, имп·с⁻¹;

Eff – параметр эффективности радиометрической установки для энергии бета-излучения иттрия-90 ($E = 2260$ кэВ), %;

M – масса счетного образца, кг;

$ChLos$ – химические потери носителя иттрия – 90, %;

$Kabs$ – коэффициент поглощения бета-излучения, %.

После радиохимической подготовки, удельная активность Sr-90 была определена с применением альфа-бета радиометра РКС-01 "Абелия" (НТЦ Амплитуда, Россия) и 10-канального низкофонового альфа-бета радиометра LB 770 (Berthold Technologies GmbH & Co. KG, Germany). Дополнительные образцы, в которых подтверждалось наличие радионуклида Sr-90, измерялись с применением сцинтилляционных бета-спектрометров Бета-1С и Бета-1С-150 (НТЦ Аспект, Россия).

2.3. Альфа-спектрометрический метод определения изотопов плутония с радиохимической подготовкой

Определение изотопов плутония проводилось после их радиохимической подготовки (переведение радионуклидов из пробы в раствор, выделение изотопов плутония и отделение от матрицы и мешающих альфа-излучающих радионуклидов, приготовление электролитическим способом счетного образца (препарат на подложке из коррозионно-стойкой нержавеющей стали).

Радиохимическая очистка основана на экстракционном и хроматографическом отделении изотопов плутония от мешающих альфа-излучателей и макрокомпонентов и электролитическом

осаждении изотопов плутония. В качестве экстрагента используется 30 % раствор трибутилфосфата (ТБФ) в толуоле. Хроматографическая очистка осуществляется на анионите АВ-17-8 (Методика измерений, 2013).

После радиохимической подготовки, удельная активность изотопов плутония была определена с применением спектрометра энергии альфа-излучения СЭА-13П1 (НТЦ Аспект, Россия).

2.4. Альфа-бета радиометрический метод определения суммарных удельных активностей

Параметры суммарной активности по альфа- и бета-излучению определялись с применением альфа-бета радиометра РКС-01 "Абелия" (НТЦ Амплитуда, Россия) и 10-канального низкофонового альфа-бета радиометра LB 770 (Berthold Technologies GmbH & Co. KG, Germany).

В данной диссертационной работе понятие суммарной активности по альфа- или бета-излучениям включает в себя активность всех альфа- или бета-излучающих радионуклидов в конкретной пробе.

Для определения данных параметров готовились счетные образцы с массой не более 1 г для уменьшения коэффициента поглощения альфа-, бета-излучения в пробе. Количество счетных образцов было не менее 2 для каждой пробы. Расчет общей альфа-, бета-активности проводился по следующей формуле (Методика измерений, 2003):

$$A_{total_alpha\ (beta)} = \frac{N_s - N_b}{Eff \times M \times K_{abs}}, \quad (2.4)$$

где $A_{total_alpha\ (beta)}$ – суммарная активность альфа- (бета-) излучения в пробе, Бк·кг⁻¹;

N_s – скорость альфа- (бета-) счета пробы на радиометре, имп·с⁻¹;

N_b – скорость альфа- (бета-) счета фона на радиометре, имп·с⁻¹;

Eff – параметр эффективности радиометрической установки для энергии альфа- (бета-) излучения в соответствии с техническими параметрами радиометра, %;

M – масса счетного образца, кг;

K_{abs} – коэффициент поглощения альфа- (бета-) излучения, %.

2.5. Радонометрический (эманационный) метод

Определение плотности потока радона (ППР) проводилось с применением комплекса измерительный для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов «Альфарад плюс» (ООО НПП «Доза», Россия). Измерение ППР с применением данного средства измерения основано на электростатическом осаждении заряженных ионов Po-218 из отобранной пробы воздуха на поверхность полупроводникового детектора. Электрические импульсы, образующиеся под воздействием альфам частиц на детекторе, усиливаются зарядочувствительным предусилителем, поступают на вход аналого-цифрового преобразователя и далее обрабатываются встроенным одноплатным компьютером. Результаты измерений выводятся на цветной жидкокристаллический экран и сохраняются в энергонезависимой памяти. Плотность потока радона определяется по количеству зарегистрированных альфа-частиц при распаде атомов Po-218, осевших на полупроводниковом детекторе (Руководство, 2014).

Для установки пробоотборника предварительно выровнивалась площадка. Края пробоотборника дополнительно прикрывались почвой для исключения контакта с атмосферой. В таком состоянии пробоотборник оставлялся на 30 минут для накопления радона. После этого

проводилась прокачка воздуха через камеру радиометра в течение 20 минут. Измерение проводилось два раза по 20 минут. Перед вторым измерением снова выполнялась прокачка воздуха через камеру радиометра. Общее количество времени с момента установки пробоотборника до результата составляло около 2 часов. Так как измерения проводили в нескольких точках, то использовалось два радиометра радона. Чтобы быть уверенным в сходимости результатов измерений двух радиометров, они заранее были проверены на одном и том же эталонном образце. Коэффициент вариации результатов измерений эталонного образца двумя радиометрами составил не более 5-8%. В качестве эталонного образца был использован контейнер объемом 5 литров с гранитом с активностью Ra-226 95 Бк/кг и коэффициентом эманации 15 %.

2.6. Расчетные методы для оценки коэффициента эманации и уровня (скорости) продуцирования радона

Коэффициент эманации, характеризующий пробу по содержанию радона в свободном состоянии определяется двумя методами: гамма-спектрометрический и радиометрический (эманационный). В данной работе использовался гамма-спектрометрический метод, подробно описанный выше. Данный метод заключается в ежедневном измерении активности проб в загерметизированном контейнере в течение определенного времени. В данной работе в качестве измерительного контейнера использовался сосуд Маринелли объемом 1 литр. Счетные образцы измерялись ежедневно в течение 21 дня. По результатам измерений определялись следующие радиационные характеристики проб: удельная активность Ra-226 без учета накопления продуктов распада радона, удельная активность Ra-226 в равновесном состоянии с продуктами распада радона, коэффициент эманации проб.

Коэффициент эманации рассчитывался по следующей формуле:

$$K_{Rn} = \left(1 - \frac{A_{226Ra}(\text{неравновесная})}{A_{226Ra}(\text{равновесная})} \right) \times 100, \quad (2.5)$$

где $A_{226Ra}(\text{неравновесная})$ – удельная активность Ra-226, определенная как среднее значение результатов первого и последнего измерений в условиях отсутствия герметизации (отсутствия равновесия с продуктами распада радона), Бк/кг;

$A_{226Ra}(\text{равновесная})$ – удельная активность Ra-226, определенная как среднее значение результатов последних пяти измерений в условиях герметизации (равновесия с продуктами распада радона), Бк/кг.

Уровень (скорость) продуцирования радона рассчитывался по следующей формуле (IAEA, 2013, Pereira, 2017):

$$P = \lambda K_{Rn} A_{226Ra} \rho_b, \quad (2.6)$$

где K_{Rn} – коэффициент эманации радона, отн. ед.;

A_{226Ra} – удельная активность радия в условиях равновесия с продуктами распада радона, Бк/кг;

ρ_b – средняя плотность пробы, кг/м³;

λ – постоянная распада радона $2,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$.

2.7. Определение физико-химических параметров

Среднюю плотность образца горной породы определяли методом покрытия пленкой парафина толщиной около 1 мм. Для этого высушенный до постоянной массы образец погружали в разогретый парафин и охлаждали на воздухе. В случае обнаружения при остывании на парафиновой пленке пузырьков или повреждений их заглаживали с помощью горячей металлической пластинки, ножа или проволоки.

Подготовленный образец взвешивали на настольных циферблатных или лабораторных весах. Затем взвешивание проводили на гидростатических весах.

Среднюю плотность запарафинированных образцов горной породы произвольной формы, $\rho_{к1}$, г/см³, определяли по формуле:

$$\rho_{к1} = \frac{m}{\frac{m'_1 - m'_2}{\rho_{в}} + \frac{m'_1 - m}{\rho_{п}}}, \quad 2.7$$

где m – масса образца в сухом состоянии, г;

m'_1 – масса запарафинированного образца в воздухе, г;

m'_2 – масса запарафинированного образца в воде, г;

$\rho_{в}$ – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см³;

$\rho_{п}$ – плотность парафина (может быть принята равной 0,93 г/см³).

За результат принимали среднеарифметическое значение результатов испытания пяти образцов горной породы.

Параметр зольности, содержания органического вещества и карбонатов определялись гравиметрическим методом, озолением и последовательным прокаливанием образцов в муфельной печи при температуре 525 °С и 900 °С до постоянной массы (ГОСТ 26213-91, ГОСТ 27784-88, Yakovlev, Orlov, 2022)

2.8. Определение уровня гамма-излучения

Уровень гамма-излучения проводился для оперативной оценки радиационной обстановки в условиях возможного повышенного уровня гамма-излучения. Для этого применялись дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М, дозиметр ДРГ-01Т1, радиометр сцинтилляционный геологоразведочный СРП-88н.

2.9. Расчет внутренней дозы облучения от радионуклидов

В соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиационной защите (ICRP, 1996), уровень внутренней дозы облучения населения от поступившего радионуклида рассчитывается по следующей формуле:

$$H_{T,r} = \sum U_i \cdot C^r \cdot g_{T,r}, \quad (2.8)$$

где коэффициент U_i представляет собой норму потребления (кг·год⁻¹); C^r — концентрация активности радионуклида γ (Бк/кг), $g_{T,r}$ — коэффициент преобразования дозы при попадании радионуклида (Зв·Бк⁻¹) в ткани T . Для взрослых рекомендуемые коэффициенты преобразования дозы $g_{T,r}$ — для К-40 составляет $6,2 \cdot 10^{-9}$ Зв·Бк⁻¹, для Cs-137 составляет $1,3 \cdot 10^{-8}$ Зв·Бк⁻¹, для Sr-90 составляет $2,8 \cdot 10^{-8}$ Зв·Бк⁻¹.

3. ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

3.1. Результаты аэрогаммасъемки территории Ненецкого автономного округа в период с 1990 по 1992 гг.

В период с 1990 по 1992 гг. Северо-Западным региональным геологическим центром Петербургской геофизической экспедицией была выполнена радиометрическая съемка территории Архангельской, в том числе Ненецкого автономного округа, и Новгородской областей, а также северо-западной части Республики Коми для выявления и картирования экологически неблагоприятных площадей (Орлов и др., 1993). Аэроработы проведены на площади 519,8 тыс. кв. км. (из них около 150 тыс. кв. км. приходится на территорию Ненецкого автономного округа) на самолете Ан-2 по сети меридиональных и субмеридиональных маршрутов с визуальным и активным проложением маршрутов по радионавигационным системам РСДН-3 и А-720 на высоте 70-75 м. Основной целью работы являлось получение количественной информации о загрязнении указанных территорий радиоактивными осадками, связанными с катастрофой на Чернобыльской АЭС, выявление других возможных техногенных источников радиационной опасности, а также информации о распространении естественных радиоактивных элементов. Данная работа выполнялась во исполнение Постановления Верховного Совета СССР от 26.04.1990 г. № 452-I «О единой программе по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС и ситуации, связанной с этой аварией», являлась составной частью общесоюзной (республиканской) программы (тема «Атлас радиоактивного загрязнения территории России в результате аварии на Чернобыльской АЭС»), проводилась по единой утвержденной методике с соответствующим метрологическим обеспечением. В результате аэроработ построены карты запаса цезия-137, суммарной мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в масштабе 1:1000000, а также карты содержаний естественных радионуклидов масштаба 1:1000000 и 1:2500000. Элементы топо- и спецнагрузки получены путем фотоуменьшения материалов масштаба 1:1000000.

Аэрогаммасъемка (далее – АГС-съемка) выполнялась с использованием спектрометра комплексной станции СКАТ-77 и спектрометра СТК-27, с использованием приемоиндикатора А-720, работающего от радионавигационной системы РСДН-3.

Для Архангельского участка проведения работ границы обозначены следующими координатами: 60°40' – 69°42' с.ш., 37°00' – 62°15' в.д. Границы участка проходят по берегу Белого и Баренцева моря, меридиану 62°50', рекам Уса, Печора, Цильма, меридиану 48°, железной дороге Воркута – Санкт-Петербург, северному берегу оз. Воже, меридиану 38°, параллели 62°40', меридиану 37°. Данный участок авторами отчета обозначен как наиболее близкорасположенный к полигону на Новой Земле.

В настоящей работе для анализа картографического материала взят участок, западная граница которого проходит по меридиану 42°, и южная граница - по параллели 64°. Северная и восточная границы соответствуют границам Архангельского участка согласно отчету. Данный участок представляет собой тундру с густой сетью рек и множеством озер с отдельными возвышенностями до 150-200 м. На вершинах нередко песчаные, с галькой на поверхности, обнажения. В понижениях между холмами – озера, часто бессточные с сухими, местами обрывистыми берегами. В прибрежной части выделяются совершенно плоские участки, сложенные илисто-песчаными засоленными грунтами. Мощность рыхлых переслаивающихся четвертичных отложений достигает 130-200 м. Вечная мерзлота островная и сплошная мощностью 25-130 м, летом грунты оттаивают на глубину 0,5 – 2,5 м.

Методика АГС-съемки при решении радиоэкологических задач практически не отличается от методики решения задач геологического профиля. Специфика состоит в необходимости учета достаточно сложной высотной зависимости сигнала от поискового элемента для конкретного района съемки, а также в более жесткой необходимости визуальных наблюдений в ходе съемки с отметкой ландшафтных особенностей местности. Эти требования обусловлены зависимостью результатов измерений от распределения техногенных радионуклидов по глубине в верхнем слое почвы. Это распределение существенно зависит не только от возраста и характера загрязнения, но и от ландшафтных условий, и от проводимых в данной местности работ, нарушающих установившееся распределение техногенных радионуклидов по глубине, например, при проведении сельхозработ.

Согласно Рисунку 3.1 в соответствии с принятой на момент 1992 года схемой районирования площадей по степени загрязнения цезием-137 (Орлов и др., 1993) лишь несколько небольших участков исследованной съемкой площади Ненецкого автономного округа имеют явное техногенное воздействие с загрязнением более 0,15 Ки/кв. км. Такими участками являются центральная и южная часть Ненецкого автономного округа, расположенные приблизительно в полосе 46° – 54° в.д. и вытянутые в меридиональном направлении с южной границей в 50 км на запад от п. Усть-Цильма, отличающиеся содержанием цезия-137 в диапазоне от 0,05 до 0,25 Ки/кв. км. Согласно отчета (Орлов и др., 1993) в указанном районе в рамках программы испытания энергии ядерных взрывов в мирных целях было произведено несколько экспериментов (два из них южнее указанной полосы загрязнения – участки Лемью и Луза, и один севернее – участок Кумжинский). Однако, в ходе проведения работ установить генетическую связь между проведенными экспериментами и областью загрязнения не удалось. По все видимости авторами отчета указывалось на следующие ядерные взрывы: Кварц-2 и Глобус-3, проведенные в 1984 и 1971 годах, соответственно, в целях глубинного сейсмического зондирования Земли в Республике Коми, и «Пирит», проведенный в 1981 году для остановки неконтролируемого фонтанирования одной из скважин Кумжинского газоконденсатного месторождения в Ненецком автономном округе (Ядерные испытания СССР, т. 4., 2000). Информации о первых двух событиях является крайне ограниченной. Результаты последних исследований были опубликованы в сжатом формате в виде тезисов, в которых указывалось на отсутствие повышенных значений мощности дозы гамма-излучения и удельной активности Cs-137 в отдельных точках опробования на территории проведения взрывов (Библин, 2022 (Челябинск), Библин, 2022 (Москва)). Что касается «Пирита», то в период с 2020 по 2023 года стали появляться научные публикации о радиационной обстановке в районе проведения ядерного взрыва. Согласно (Yakovlev et al., 2021; Библин, 2022) повышенного техногенного радиационного фона на территории скважины К-9 Кумжинского месторождения не наблюдается, уровни содержания радионуклида Cs-137 в почве и донных отложениях остаются на фоновом уровне.

Генетическая природа других участков повышенного содержания цезия-137 не установлена. Остальная территория региона имеет фоновое распределение цезия-137 в диапазоне от 0 до 0,15 Ки/кв. км. Наиболее низким содержанием цезия-137 отличаются территории Канинской тундры, западной части Малоземельской тундры в пределах бассейнов рек Вижас, Ома, Снопа и Пеша, а также западная часть Большеземельской тундры в пределах верховья реки Колва и севернее от нее.

Таким образом, по результатам рассмотрения характера загрязнения цезием-137 территории Архангельской области, Ненецкого автономного округа и Республики Коми, авторами отчета сделан вывод, что авария на Чернобыльской АЭС практически не оказала своего влияния на рассматриваемой площади. Кроме того, отмечается отсутствие существенного влияния испытаний ядерного оружия на архипелаге Новая Земля.

повсеместно приурочены к зонам дробления в различных изверженных породах (сиениты, граносиениты, граниты и реже во вмещающих их метаморфических сланцах).

Поиски радиоактивных элементов на территории Северного Тимана начались в 1944 году, когда была проведена ревизия коллекций каменного материала (Кузьмин и др., 1972). Полевые работы на уран впервые были поставлены в 1946 году силами Северо-Тиманской экспедиции. Уже к 1948 году экспедиция провела радиометрические поиски на площади около 6000 км², установив повышенные активности, связанные с пегматитовыми жилами на мысе Румяничный, аплитами на возвышенностях Малый и Крайний Камешек, с торфяно-щебеночным материалом на контакте гранитов с вмещающими их сланцами между сопками Малый и Большой Камешек. Результаты аэрогаммасъемки не отразили отдельные локальные аномалии по содержанию урана (радия) на территории Северного Тимана. Согласно отчета (Кузьмин и др., 1972) на левом берегу Волонги обнаружено небольшое обнажение песчаника повышенной активности. По результатам измерений суммарной МЭД значения колебались от 15 до 97 мкР/час на фоне от 1 до 5 мкР/час. Содержание урана по химическим анализам образцов, отобранных на наиболее активных участках, составило от 0,02 % до 0,039 %, что более чем 300-700 раз превышает значения, полученные по результатам аэрогаммасъемки.

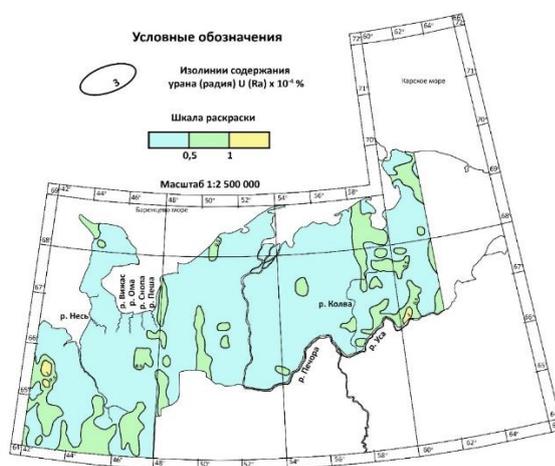


Рисунок 3.3 – Карта содержания урана (радия) U (Ra)

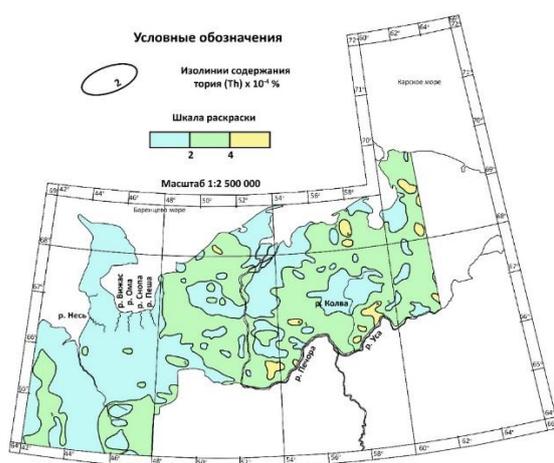


Рисунок 3.4 – Карта содержания тория (Th)

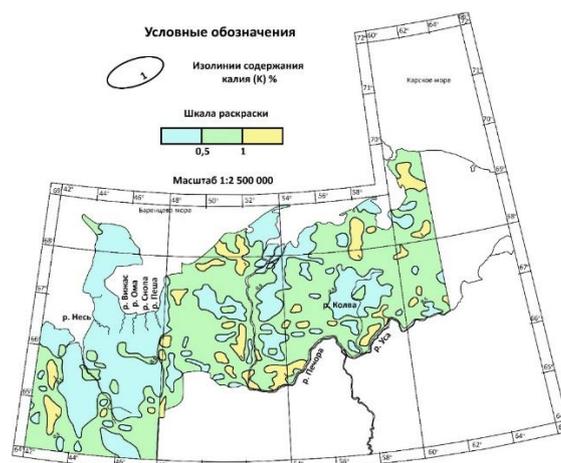


Рисунок 3.5 – Карта содержания калия (K)

Наиболее низкими значениями суммарной МЭД гамма-излучения, содержания урана (радия), тория, калия отличается территория Канинской тундры и западной части Малоземельской тундры до бассейна реки Пеша (Орлов и др., 1993). Вероятнее всего это связано

с крайне слабой обнаженностью территории, наличием густой речной сети, многочисленных озер и болот (Кузьмин и др., 1974). Обнажения коренных пород встречаются по бортам долин рек в пределах кряжа Канин Камень, на склонах этого хребта и по морскому берегу на северо-западе полуострова и в районе мыса Микулкин Нос. В равнинной части обнажения известны только на мысах Лудоватых. Вся остальная площадь покрыта мощным чехлом четвертичных образований.

Результаты аэрогаммасъемки территории Канинской тундры и западной части Малоземельской тундры, проведенной в период с 1990 по 1992 гг. (Орлов и др., 1993), несколько не согласуются с результатами аэрогаммасъемки, проведенной в 1974 году (Кузьмин и др., 1974). Согласно отчету (Кузьмин и др., 1974) по интенсивности и характеру гамма-поля значения суммарной МЭД находятся в диапазоне от 1 до 6 мкР/час. Максимальными значениями гамма-поля интенсивностью от 4 до 6 мкР/час характеризуется комплекс метаморфических пород верхнепротерозойского возраста, выходящих на поверхность в пределах хребта Канин Камень, что никак не отражается на карте суммарной МЭД гамма-излучения, полученной в результате работ в 1990-92 гг. (Орлов и др., 1993). Можно добавить, что отдельные локальные гамма-аномалии могут быть идентифицированы только наземными съемками. Например, аэрогаммасъемка никак не отразила наличие достаточно интенсивной гамма-аномалии по правым притокам реки Месна полуострова Канин (Кузьмин и др., 1974). Аномалия приурочена к слюдисто-кварцевым сланцам рифея, которые обнажаются в береговом обрыве. Максимальные значения суммарной МЭД гамма-излучения почти в 20 раз выше фоновых и достигают 380 мкР/час при фоновых значениях 20 мкР/час. Активная зона приурочена к интенсивно рассланцованным и перемятым сланцам, по плоскостям отмечаются зеленоватые глины и бурые охра.

По результатам анализа карт распределения значений радиационных параметров согласно отчету (Орлов и др., 1993) можно сделать вывод, что наиболее низкими значениями активности Cs-137 и суммарной МЭД гамма-излучения характеризуются территории Канинской тундры и западной части Малоземельской тундры. Уровни содержания естественных радионуклидов на территории НАО находятся на уровне естественного радиационного фона. Отмечается некоторая несогласованность результатов аэрогаммасъемки, представленными в отчетах (Орлов и др., 1993, Кузьмин и др., 1974), а также с результатами наземной съемки. С учетом вышеуказанного, а также в условиях значительной обводненности территории Канинской тундры и западной части Малоземельской тундры, можно предположить, что содержание Cs-137 в объектах окружающей среды будет отличаться от результатов, полученных методом АГС.

3.2 Оценка содержания техногенного Cs-137 в донных отложениях рек Канинской и Большеземельской тундр

Исследование активности техногенного Cs-137 в донных отложениях проводилось в реках Чижа, Несь, Вижас, Ома, Печора (в пределах устьевой части), Колва и Уса. В обобщенном виде результаты исследования удельной активности Cs-137 приведены в виде картосхем на Рисунках 3.6-3.8 и в Таблице 3.1. Подробные данные по радиационным и физико-химическим параметрам для каждой конкретной пробы донных отложений приведены в Приложении А.

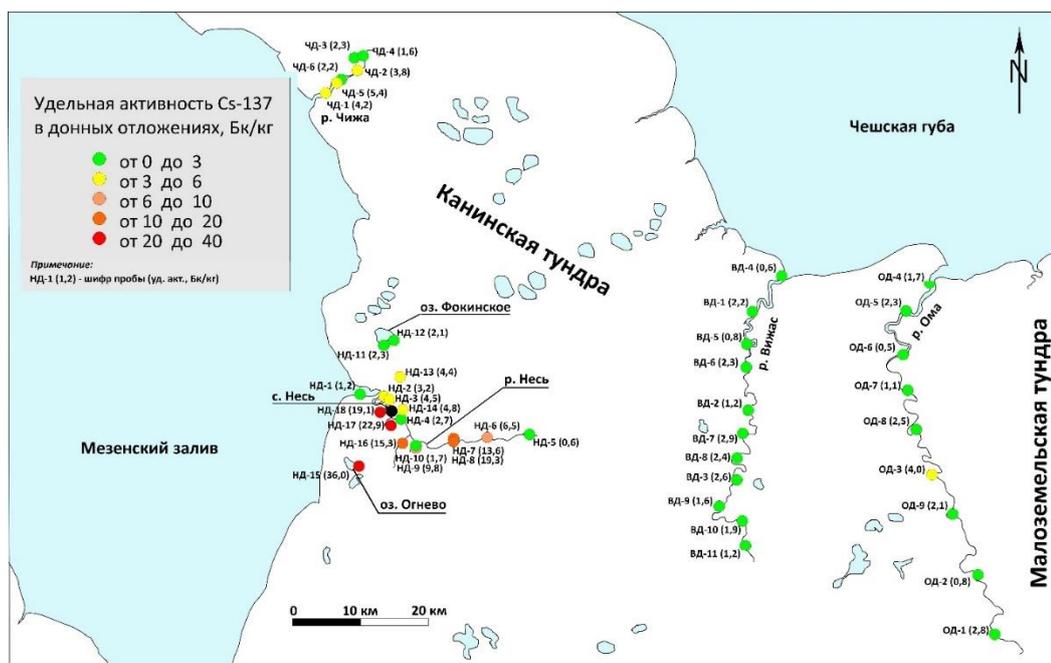


Рисунок 3.6 – Удельная активность Cs-137 в донных отложениях рек Канинской тундры

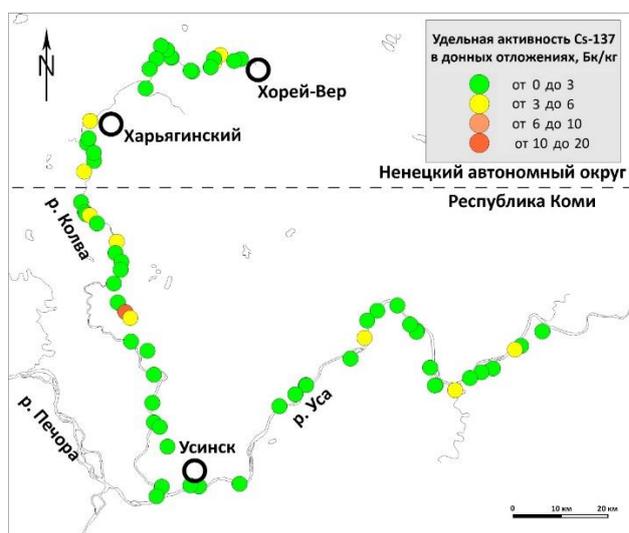


Рисунок 3.7 – Удельная активность Cs-137 в донных отложениях рек Колва и Уса

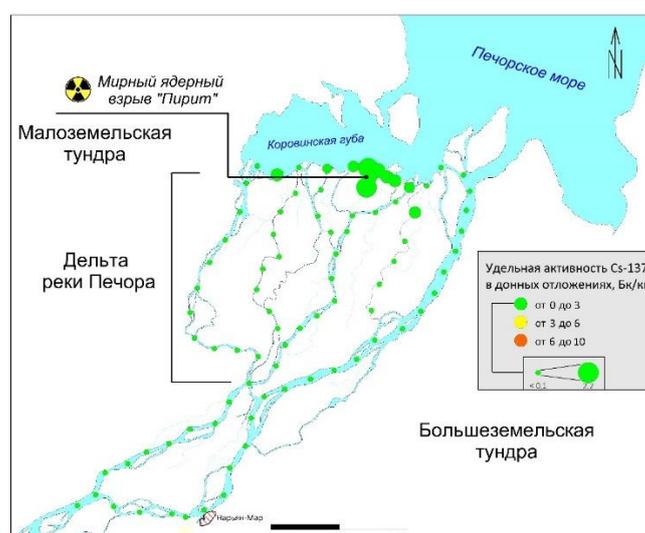


Рисунок 3.8 – Удельная активность Cs-137 в донных отложениях устьевой части реки Печора

Таблица 3.1 – Радиационные и физико-химические параметры донных отложений рек Канинской тундры

| Река | Значение | Cs-137 | Зольность | Органич. вещество | Карбо наты | 2 мм | 1 мм | 500 мкм | 250 мкм | 100 мкм | 45 мкм | <45 мкм |
|-------|----------|-------------|--------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Несь | мин. | 0,60 | 94,02 | 0,44 | 0,12 | 0,02 | 0,12 | 0,31 | 4,57 | 16,67 | 1,01 | 0,10 |
| | макс. | 36,00 | 99,56 | 5,98 | 4,59 | 0,89 | 2,94 | 20,91 | 69,86 | 82,61 | 49,36 | 4,65 |
| | средн. | 9,44 | 97,22 | 2,78 | 1,81 | 0,30 | 1,04 | 5,78 | 25,32 | 47,37 | 19,16 | 1,82 |
| Вижас | мин. | 0,60 | 96,16 | 0,15 | 1,15 | 0,24 | 0,00 | 0,35 | 14,35 | 26,32 | 15,25 | 0,55 |
| | макс. | 2,90 | 99,85 | 3,84 | 2,98 | 6,94 | 6,15 | 14,49 | 33,01 | 50,06 | 28,95 | 1,57 |
| | средн. | 1,80 | 98,01 | 1,99 | 2,01 | 2,90 | 3,20 | 6,23 | 24,64 | 41,68 | 22,43 | 1,07 |
| ЧД | мин. | 1,60 | 97,01 | 1,41 | 1,15 | 0,79 | 1,45 | 2,97 | 20,09 | 30,65 | 10,98 | 0,51 |
| | макс. | 5,40 | 98,59 | 2,99 | 2,13 | 0,79 | 2,30 | 19,35 | 32,06 | 53,16 | 26,15 | 2,51 |
| | средн. | 3,25 | 97,86 | 2,14 | 1,77 | 0,79 | 1,88 | 10,04 | 25,52 | 41,36 | 20,76 | 1,57 |
| ОД | мин. | 0,50 | 95,49 | 1,02 | 0,62 | 0,39 | 1,00 | 3,36 | 18,68 | 32,85 | 9,56 | 0,58 |
| | макс. | 4,00 | 98,98 | 4,51 | 1,86 | 5,42 | 9,01 | 17,32 | 29,63 | 45,16 | 29,47 | 3,19 |
| | средн. | 1,98 | 97,91 | 2,09 | 1,27 | 2,40 | 5,37 | 12,67 | 24,44 | 39,01 | 16,66 | 1,47 |

Удельная активность Cs-137 в донных отложениях водных объектов бассейна реки Несь изменяется в диапазоне от 0,6 до 36 Бк/кг (в среднем 8,9 Бк/кг). Во всех пробах значение удельной активности Cs-137 выше минимально измеряемой активности (0,1 Бк/кг). Отмечается повышенными значениями в донных осадках озеро Огнево (НД-15, 36 Бк/кг), ручей Ильина (НД-16, 15,3 Бк/кг), безымянный ручей на запад от села Несь (НД-17, 22,9 Бк/кг) и в трех точках реки Несь на восток от села (НД-7 и НД-8, 13,6 Бк/кг и 19,3 Бк/кг соответственно) и на запад от села (НД-18, 19,1 Бк/кг).

Донные осадки рек Чижа, Вижас и Ома не отличаются высокими (по сравнению с рекой Несь) значениями удельной активности Cs-137. Удельная активность донных отложений в реке Чижа варьирует в диапазоне от 1,6 Бк/кг до 5,4 Бк/кг при среднем значении 3,3 Бк/кг, в реке Вижас – от 0,6 Бк/кг до 2,9 Бк/кг при среднем значении 1,8 Бк/кг, и в реке Ома – от 0,5 Бк/кг до 4,0 Бк/кг при среднем значении 2,0 Бк/кг.

В гранулометрическом составе донных отложений бассейна реки Несь преобладают мелкозернистые фракции, иногда с незначительными включениями растительных остатков и торфяных отложений. Размер фракций в основном 0,25 мм (25,32%), 0,1 мм (47,37 %) и 0,045 мм (19,16%). Содержание органического вещества в донных отложениях варьирует от 0,44 % до 5,98 % при среднем значении 2,78 %. Содержание карбонатов не превышает 4,59 % при среднем значении 1,80 %.

Донные отложения рек Чижа, Вижас и Ома в целом схожи по гранулометрическому составу, а также содержанию органического вещества и карбонатов, с донными отложениями реки Несь. В гранулометрическом составе преобладают фракции 0,25 мм (25,87 %), 0,1 мм (40,68 %) и 0,045 мм (19,95 %). Содержание органического вещества не превышает 4,51 %, а карбонатов – 2,98 %. При этом в донных отложениях реки Несь содержание органического вещества и гранулометрической фракций 100 мкм и <45 мкм несколько выше, чем в остальных изученных реках Канинской тундры (Таблица 3.1, Рисунок 3.9).

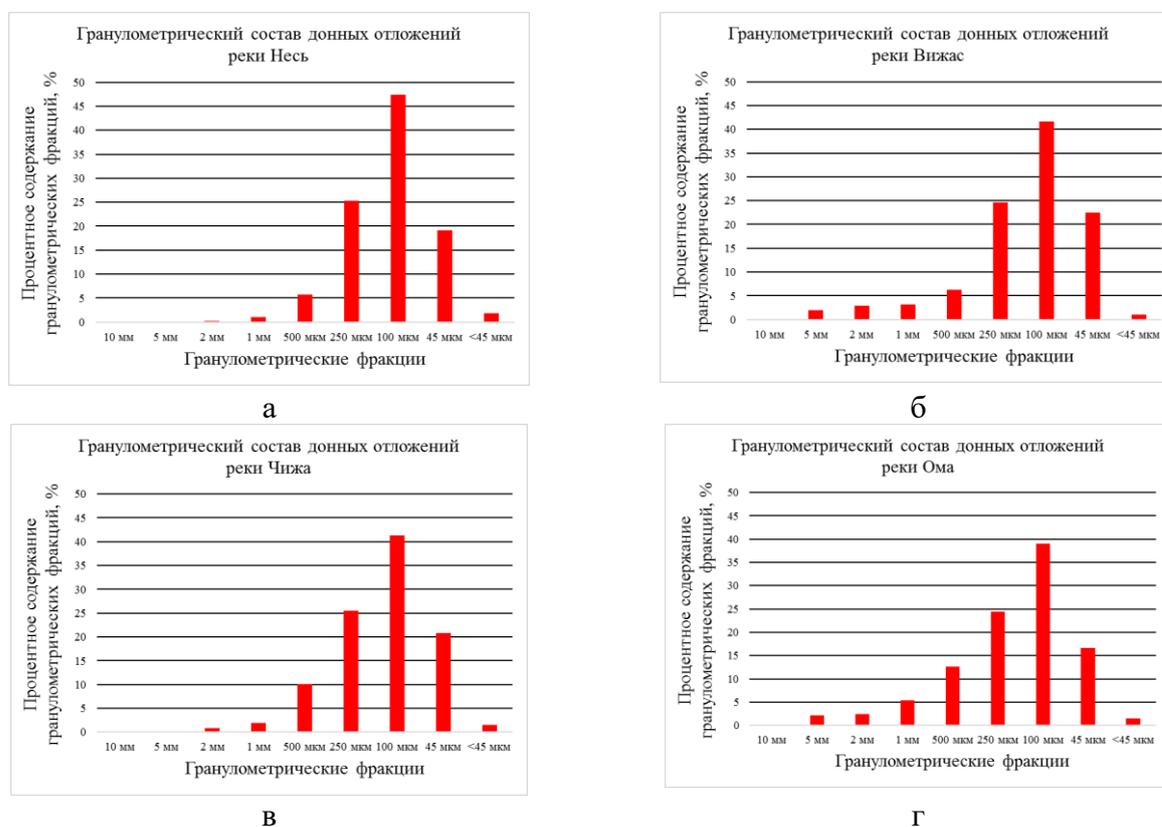


Рисунок 3.9 – Гранулометрический состав рек Канинской тундры (а – р. Несь, б – р. Вижас, в – р. Чижа, г – р. Ома)

Для проверки значимости и достоверности различий между донными осадками реки Несь (первая выборка, 18 значений) и остальными реками Канинской тундры (вторая выборка, 26 значений) по параметрам удельной активности Cs-137, содержанию органического вещества и гранулометрических фракций 100 мкм и <45 мкм проведен расчет U-критерия Манна-Уитни. Результаты расчета представлены в Таблице 3.2. За нулевую гипотезу принимается утверждение, что донные отложения по одному из представленных параметров в двух выборках не отличаются друг от друга. Согласно работе (Стариченко, 2004) табличное критическое значение по представленным выборкам составляет 164.

Таблица 3.2 – Расчет критерия Манна-Уитни

| Параметр | Расчетное (экспериментальное) значение $U_{\text{экс}}$ | Критическое значение $U_{\text{крит}}$ (Стариченко, 2004) | Результат расчета критерия |
|----------------------------|---|---|--|
| Удельная активность Cs-137 | 99 | 164 | $U_{\text{экс}} < U_{\text{крит}}$ Нулевая гипотеза отбрасывается, различия между выборками достоверны |
| Органическое вещество | 297 | | $U_{\text{экс}} > U_{\text{крит}}$ Нулевая гипотеза не может быть отброшена, различия между выборками отсутствуют |
| Фракция 100 мкм | 290 | | |
| Фракция <45 мкм | 246 | | |

Сопоставив экспериментальные значения U-критерия и критическое, было получено, что условие $U_{\text{экс}} < U_{\text{крит}}$ выполняется только в случае параметра удельной активности Cs-137. Данный результат говорит о том, что нулевую гипотезу мы можем отбросить, соответственно различия в содержании Cs-137 в донных отложениях в реке Несь и в остальных реках Канинской тундры достоверны и значимы. Нулевая гипотеза не может быть отброшена в случае сравнения выборок по параметрам содержания органического вещества и гранулометрических фракций 100 мкм и <45 мкм. Соответственно, различия между выборками по данным параметрам отсутствуют.

Учитывая схожесть донных отложений рек Канинской тундры по физико-химическим параметрам, повышенное содержание Cs-137 в донных отложениях реки Несь может иметь иную генетическую природу, предположительно связанную с наличием повышенного содержания Cs-137 в почвах бассейна реки в совокупности с гидрологическими условиями самой реки.

Дополнительную информацию о накоплении Cs-137 в донных отложениях может дать корреляционный анализ радиационных и физико-химических параметров изученных проб (Таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Корреляционная матрица радиационных и физико-химических параметров донных осадков рек Канинской тундры.

| | Cs-137 | Зольность | Органич. вещество | Карбонаты | 5 мм | 2 мм | 1 мм | 500 мкм | 250 мкм | 100 мкм | 45 мкм | <45 мкм |
|-------------------|--------------|--------------|-------------------|-----------|--------------|-------------|-------------|---------|--------------|---------|-------------|---------|
| Cs-137 | 1,00 | | | | | | | | | | | |
| Зольность | -0,70 | 1,00 | | | | | | | | | | |
| Органич. вещество | 0,70 | -1,00 | 1,00 | | | | | | | | | |
| Карбонаты | 0,32 | -0,52 | 0,52 | 1,00 | | | | | | | | |
| 5 мм | 0,10 | 0,78 | -0,78 | -0,35 | 1,00 | | | | | | | |
| 2 мм | -0,28 | 0,31 | -0,31 | -0,01 | 0,99 | 1,00 | | | | | | |
| 1 мм | -0,22 | 0,15 | -0,15 | -0,19 | -0,35 | 0,56 | 1,00 | | | | | |
| 500 мкм | -0,23 | 0,13 | -0,13 | -0,16 | -0,66 | 0,06 | 0,58 | 1,00 | | | | |
| 250 мкм | -0,17 | 0,39 | -0,39 | -0,46 | -0,65 | -0,47 | -0,22 | -0,01 | 1,00 | | | |
| 100 мкм | -0,15 | -0,02 | 0,02 | 0,26 | 0,98 | 0,03 | -0,36 | -0,43 | -0,53 | 1,00 | | |
| 45 мкм | 0,55 | -0,59 | 0,59 | 0,45 | -0,58 | 0,24 | -0,04 | -0,24 | -0,54 | -0,15 | 1,00 | |
| <45 мкм | 0,63 | -0,65 | 0,65 | 0,30 | -0,79 | -0,12 | -0,03 | -0,16 | -0,35 | -0,12 | 0,69 | 1,00 |

Сорбция радионуклидов на переносимых рекой взвешях и ранее отложившихся частицах в верхних слоях осадков является доминирующим фактором миграции и накопления радиоизотопов в донных отложениях (Балыкин, 2019). Сорбционные свойства донных отложений определяются, главным образом, их вещественным и гранулометрическим составом (Балыкин, 2019). Несмотря на незначительное содержание фракций с размером $<0,045$ мм (от 1,07 до 1,82 %), отмечается средняя положительная корреляционная зависимость между содержанием Cs-137 и мелкой пелитовой фракцией <45 мкм ($R=0,63$), а также фракцией 45 мкм ($R=0,55$). Это указывает на связь Cs-137 с мелкодисперсными фракциями донных осадков, характеризующимися наличием органического вещества и водорастворимых солей (Yakovlev et al., 2020). Известно, что самый распространенный способ фиксации Cs-137 – его диффузия в межпакетное пространство глинистых минералов (Зенченко, 2002), что определяет прочность связывания с илистым материалом. Кроме этого, Cs-137 имеет сильную связь с содержанием органического вещества ($R=0,70$) и, соответственно, имеет сильную отрицательную корреляционную зависимость с параметром зольности ($R=-0,67$). Органическое вещество наряду с литологическим составом выступает в качестве основного фактора, определяющего аккумуляцию различных поллютантов в донных осадках (Доценко, 2015). Известно, что изотопы америция и плутония прочно фиксируются в почвах органическим веществом (Schleich, 2000). Напротив, Cs-137 адсорбируется органическим веществом обратимо и не селективно (Зенченко, 2002). В некоторых случаях миграционная способность Cs-137 может увеличиваться вслед за возрастанием доли органического вещества (Зенченко, 2002). Как видно из корреляционного анализа (таблица 3.2), мелкодисперсные фракции и органическое вещество играет решающую роль в накоплении Cs-137 в донных отложениях рек Канинской тундры. Это говорит о сложном смешанном механизме связывания Cs-137, основанном на сочетании как физической, так и химической (ионообменной) сорбции.

Низкими значениями удельной активности Cs-137 характеризуются также донные отложения рек Большеземельской тундры – Колва и Уса (притоки первого и второго порядка, соответственно, реки Печора). Содержание данного радионуклида в осадках реки Колва колеблется в основном от 0,7 Бк/кг до 3,9 Бк/кг со средним значением 2,1 Бк/кг. При этом одна из проб имеет удельную активность Cs-137 – 12,3 Бк/кг. Удельная активность Cs-137 в донных отложениях реки Уса варьирует в диапазоне от 0,6 Бк/кг до 4,1 Бк/кг со средним значением 1,4 Бк/кг.

Отчасти полученные данные по содержанию Cs-137 в осадках рек Колва и Уса подтверждают полученные еще в 1992 году результаты измерений удельной активности данного радионуклида в донных отложениях рек и водоемов на территории Большеземельской тундры (Чернов, 1992), представленные на Рисунке 3.10.

Карта-схема распределения Cs-137 в донных осадках построена по результатам опробования отдельных рек и водоемов. Согласно отчета (Чернов, 1992) в донных отложениях рек и водоемов Большеземельской тундры (в отчете не указаны какие реки и водоемы опробованы) содержание Cs-137 по состоянию на 1992 год в основном варьировало в диапазоне от минимально детектируемых значений (менее 0,08) до 20 Бк/кг. При этом 9 проб характеризуются высокими значениями удельной активности от 22,7 Бк/кг до 102,4 Бк/кг. На рисунке отчетливо выделяются 4 области повышенного содержания Cs-137: в районе устьевой части реки Печора, верховье реки Колва, а также две области в северной части Большеземельской тундры. Учитывая, что с момента исследования прошло около 30 лет, уровни загрязнения Cs-137 на текущий момент снизились в два раза и в целом схожи с результатами, полученными в рамках настоящей работы. Источники выявленных радиационных аномалий авторы отчета не раскрывают. Можно предположить, что одним из основных источников загрязнения являются

ядерные испытания на архипелаге Новая Земля. Оценка траекторий движения воздушных масс в момент проведения испытаний будет рассмотрена ниже.

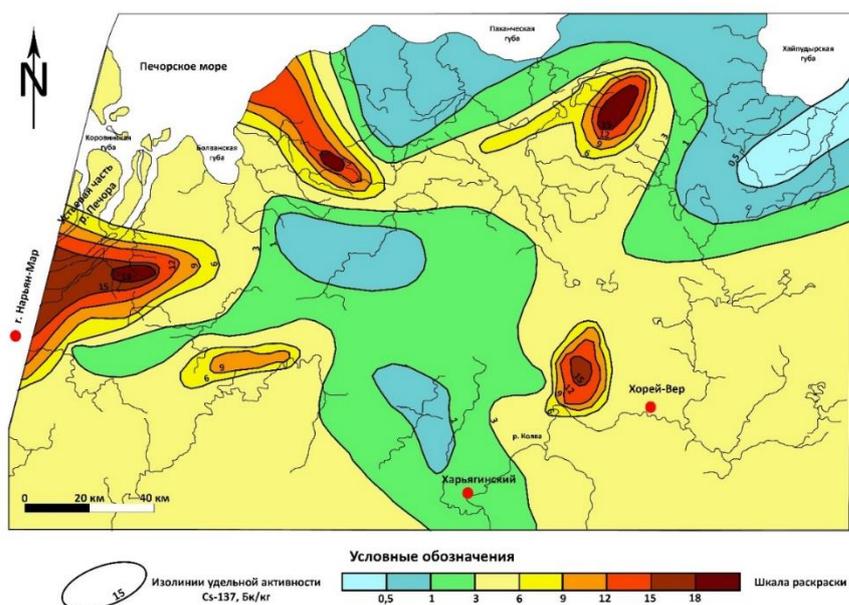


Рисунок 3.10 – Карта-схема распределения Cs-137 в донных осадках Большеземельской тундры (Чернов, 1992)

Гранулометрический состав донных отложений рек Колва и Уса представлен на рисунке 3.11. Донные отложения реки Колва характеризуются преобладанием гранулометрических фракций размерностью 250 мкм (22 %), 100 мкм (39 %) и 45 мкм (16 %) (рисунок 3.11 – а). В реке Уса фракционный состав донных отложений смещается в сторону более крупных фракций 250 мкм (37 %) и 100 мкм (35 %) (Рисунок 3.11 – б).

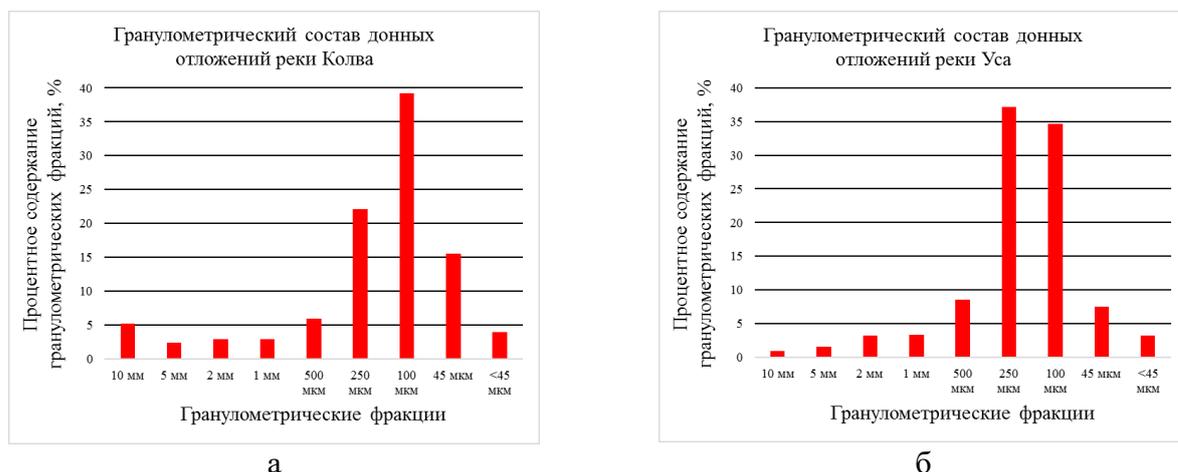


Рисунок 3.11 – Гранулометрический состав донных отложений рек Колва (а) и Уса (б)

Корреляционный анализ содержания Cs-137 и основных физико-химических характеристик донных отложений реки Колвы показал, что вариативность удельной активности Cs-137 на 50% обеспечивается изменением содержания органического вещества, на 27% и 20% зависит от изменения содержания гранулометрических фракций размерностью <45 мкм и 45 мкм, соответственно (Рисунок 3.12). В корреляционном анализе «аномальная» точка по содержанию Cs-137 (12,3 Бк/кг) не была учтена.

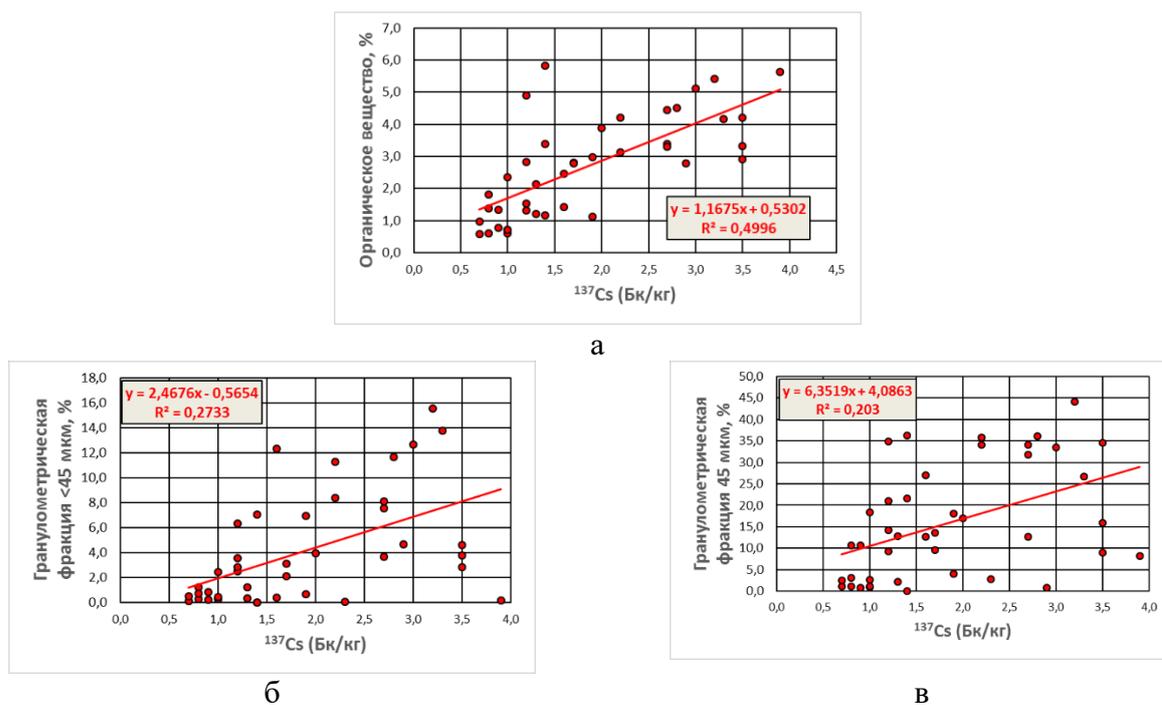


Рисунок 3.12 – Корреляционные зависимости содержания Cs-137 с отдельными физическими параметрами донных отложений реки Колва (а – с органическим веществом, б – с гранулометрической фракцией <45 мкм, в – с гранулометрической фракцией 45 мкм)

Несколько иная картина наблюдается для донных отложений реки Уса. В 60% случаев вариативность удельной активности Cs-137 обеспечивается изменением содержания гранулометрической фракции размерностью 45 мкм (Рисунок 3.13).

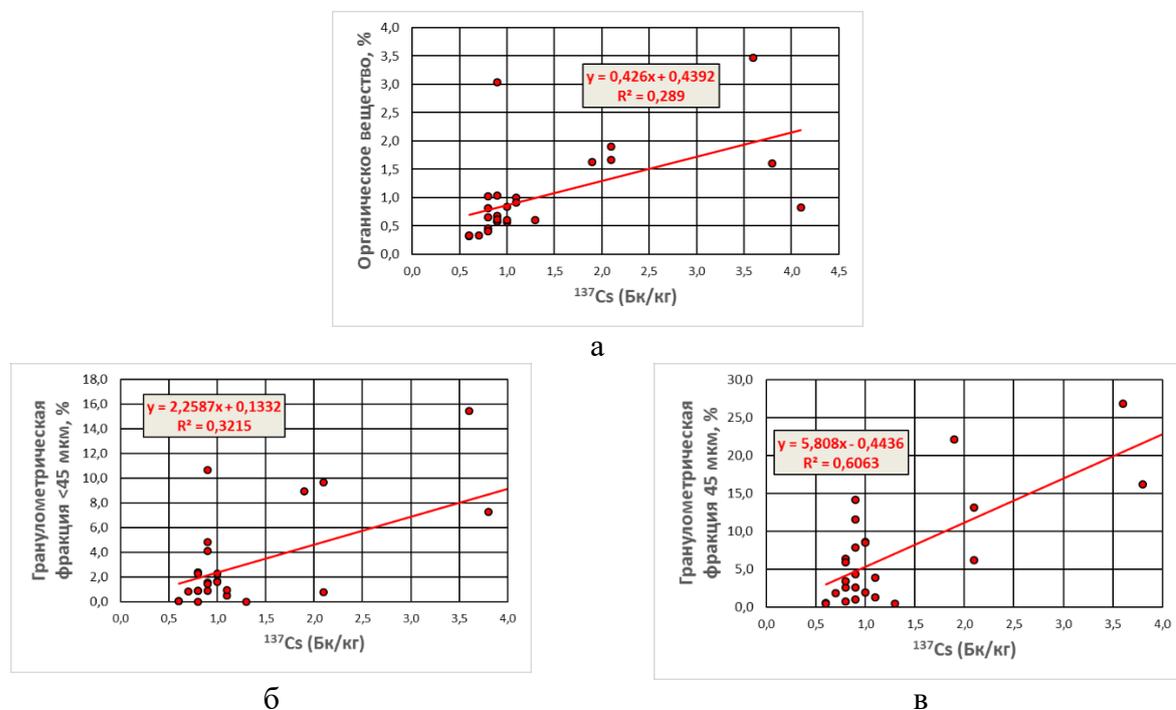


Рисунок 3.13 – Корреляционные зависимости содержания Cs-137 с отдельными физическими параметрами донных отложений реки Уса (а – с органическим веществом, б – с гранулометрической фракцией <45 мкм, в – с гранулометрической фракцией 45 мкм)

Содержание органического вещества и фракции <45 мкм влияют на изменение содержания Cs-137 не более чем на 32%. При этом на корреляционных графиках наглядно отмечается концентрирование точек в области от 0,5 до 1,5 по оси x и их хаотичный порядок в области выше 1,5 по оси x. Данное обстоятельство может указывать на сложный характер накопления Cs-137 в зависимости от физико-химических параметров донных отложений.

Представленные результаты показывают, что мелкодисперсные фракции и органическое вещество также, как и в реках Канинской тундры играют решающую роль в накоплении Cs-137 в донных отложениях рек Колва и Уса. Содержание радионуклида Cs-137 в данных реках также значительно ниже (в 2-3 раза), чем в реке Несь.

Еще одним ключевым участком исследований донных отложений на содержание Cs-137 является устьевая часть реки Печора. Результаты исследований показали, что из 86 отобранных проб радионуклид в значимых количествах (выше уровня минимально-измеряемой активности) обнаруживается только в 11 точках. В целом удельная активность Cs-137 варьирует от <0,1 Бк/кг до 2,2 Бк/кг при среднем значении 0,16 Бк/кг. Максимальные активности Cs-137 (2,2 Бк/кг) обнаружены в районе проведения подземного ядерного взрыва «Пирит», расположенном в северной части дельты. Однако в настоящее время сложно связать наличие измеренных незначительных количеств Cs-137 в донных осадках с выходом на поверхность продуктов деления из эпицентра подземного ядерного взрыва за недостаточностью данных о распределении техногенных радионуклидов в других объектах окружающей среды в районе проведения взрыва. Кроме этого, согласно (Библин, 2023) на данной территории значения мощности амбиентного эквивалента дозы находятся в диапазоне 0,050–0,089 мкЗв/ч, что соответствует уровням естественного радиационного фона. Участки локального радиоактивного загрязнения почвы Cs-137 не обнаружены. Содержание трития (менее 5 Бк/кг) в водных объектах не превышает уровней колебаний данного показателя в других регионах европейской территории России.

Ранее в Печорском море, в которое непосредственно впадает река Печора, для 27 проб донных отложений были получены данные по активности Cs-137 (Yakovlev, 2021). Значения активности Cs-137 колебались от ниже предела обнаружения до 10,4 Бк/кг, со средним значением 3,13 Бк/кг. Надо отметить, что в эстуариях других крупных рек Европейской Арктики России также наблюдаются низкие активности Cs-137. Так, в донных отложениях эстуария Северной Двины, являющейся второй в регионе по площади бассейна после Печоры, средняя активность Cs-137 составляет 1,8 Бк/кг (Киселев и др., 2018). Для реки Золотица, относящейся к бассейну Белого моря активность Cs-137 в среднем составляет 5,4 Бк/кг (Yakovlev et al., 2021).

В целом, все точки, в которых обнаружен техногенный Cs-137, пространственно тяготеют к северному фронту дельты, что может быть связано с гранулометрическими параметрами донных осадков. Фракционный состав донных отложений устьевой части реки Печора (Рисунок 3.14) в основном характеризуется песчаными фракциями размерностью от 250 мкм до 45 мкм. Содержание мелкодисперсных фракций размерностью менее 45 мкм ничтожно мало (0,68 %). Вероятно, такой состав осадков определяет низкую аккумуляцию Cs-137. С другой стороны, низкие значения Cs-137 в донных осадках дельты Печоры могут быть обусловлены низкими концентрациями Cs-137 в терригенном материале (почвы), поступающем в Печору с водосборной площади. В свою очередь это связано с низкой плотностью загрязнения Cs-137 водосборного бассейна р. Печора от глобальных выпадений. Так плотность загрязнения почв Cs-137 бассейна реки Печора составляет в среднем 0,54 кБк/м², а максимальные значения не превышают 0,88 кБк/м² (Polshvedkin, 2020).

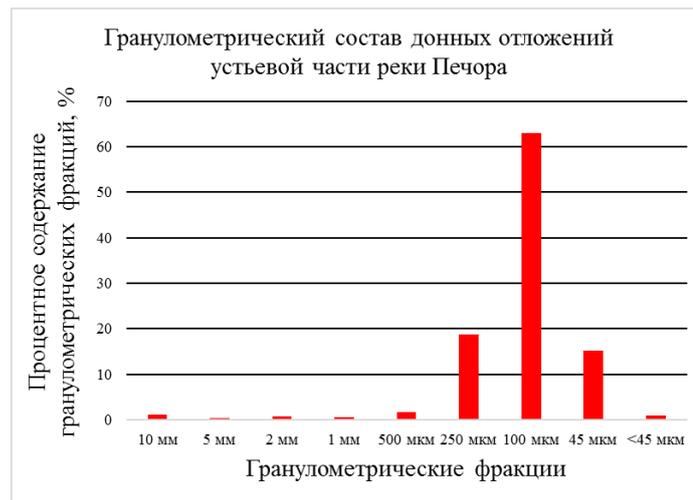


Рисунок 3.14 – Гранулометрический состав донных отложений реки Печора

Таким образом, из всех изученных рек наибольшим содержанием Cs-137 в донных отложениях характеризуется река Несь. Учитывая охват территории для исследования (Канинская тундра, устьевая часть реки Печора, южная часть Большеземельской тундры), схожесть физико-химических параметров изученных рек, можно предполагать наличие зоны повышенного содержания радионуклида, вероятно обусловленной стоком с водосборной площади реки Несь, ее гидрологическими особенностями, а также аккумуляцией Cs-137 в мелкодисперсных фракциях донных отложениях. Для более подробной характеристики выявленной радиационной аномалии проведена оценка особенностей накопления и миграции техногенных радионуклидов в почвах бассейна реки Несь.

3.3 Закономерности накопления и миграции техногенных радионуклидов Cs-137, Sr-90, Am-241, Pu-238, Pu-239+240, их уровни запаса в ландшафтах Канинской тундры (на примере бассейна реки Несь)

По таксономическому почвенно-географическому районированию почвы западной части Ненецкого автономного округа относятся к Евроазиатской полярной области Канинско-Печорской провинции. Согласно атласу (Национальный атлас..., 2011), в долине р. Несь распространены подзолы частично в комплексе с торфянисто-подзолистыми иллювиально-гумусовыми почвами. На юге района исследований встречаются глееподзолистые и торфянисто-подзолисто-глеевые почвы. Многочисленны болотные верховые торфяные в комплексе с тундровыми мерзлотными остаточнo-торфяными почвами. Зачастую в таких почвах органогенный горизонт, состоящий из живого мохового покрова и растительных остатков разной степени разложения, маломощный. Под ним лежит минеральная оглееная толща, в верхней части которой выделяется буровато-сизый бесструктурный горизонт, сменяемый голубовато-сизым тиксотропным глеевым горизонтом (Национальный атлас..., 2011).

На рисунке 3.15 приведена ландшафтная карта бассейна реки Несь (www.maps29.ru, дата обращения – 19.03.2023) В южной части бассейна реки Несь распространены возвышенные ледниковые и ледниково-морские равнины с редкостойными еловыми (местами) березовыми лесами. Равнины чередуются с болотами грядово-мочажинными, северотаежными и лесотундровыми. Северная часть бассейна представлена болотами крупнобугристыми, тундровыми и лесотундровыми с чередованием участков плоских заболоченных морских террас II и III уровней. На отдельных участках встречаются болота грядово-мочажинные, северотаежные и лесотундровые, а также приморские засоленные луга.

Район исследования на правом берегу реки Несь характеризуется распространением грядово-мочажинных болот, на левобережье – крупнобугристых болот. По классификации Перельмана (Перельман, 1999) для района исследования характерен один тип ландшафта – тундра, южный тундровый ландшафт. Класс ландшафта – кислый и кислый глеевый (H^+ , H^+-Fe^{2+}).

Полевые исследования позволили детализировать ландшафтные особенности бассейна реки Несь. Схема района исследования приведена на Рисунке 3.16.

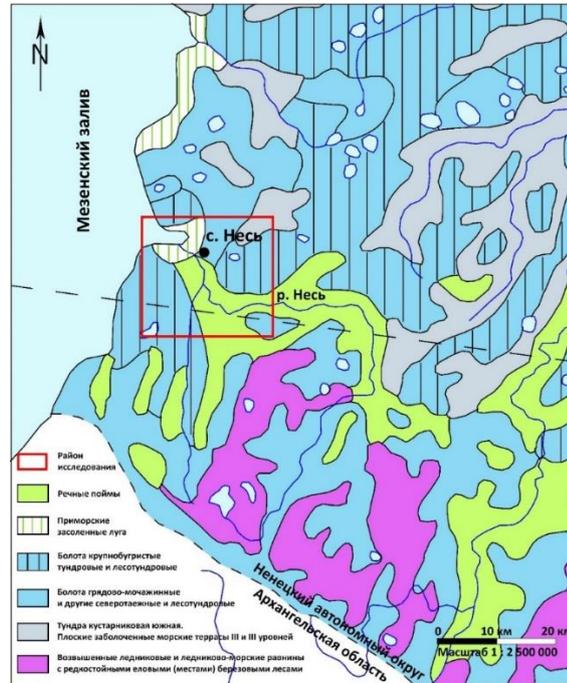


Рисунок 3.15 – Ландшафтная карта бассейна реки Несь (по материалам геопортала Архангельской области, www.maps29.ru, дата обращения – 19.03.2023)

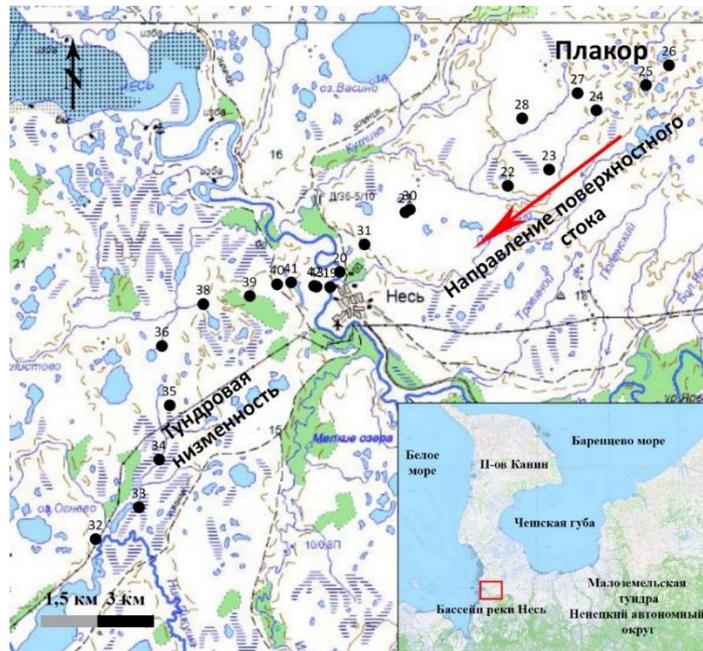


Рисунок 3.16 – Схема района исследования в бассейне реки Несь

По маршруту профиля северо-восточнее от с. Несь (правобережье реки Несь) встречались мелкобугристые торфяные болота с низким уровнем влажности (Рисунок 3.17). В зоне плакора и

на большей части склона наблюдалось растрескивание поверхности бугров, что является характерным признаком снижения увлажненности данных элементарных ландшафтов. Увеличение уровня увлажнения отмечалось при приближении к пойме реки.

Иная картина отмечается к юго-западу от с. Несь (левобережье реки Несь). Ландшафт также представлял из себя мелкобугристые болота, но степень увлажнения их была значительно выше (рисунок 3.17). Для всех точек отбора была характерна высокая обводненность.

Одной из причин таких отличий бассейна реки являются разные типы элементарных ландшафтов, которые в свою очередь влияют на миграцию элементов, в том числе и радиоактивных.

Для понимания закономерностей распределения радионуклидов на разных типах элементарных ландшафтов результаты расчета плотностей загрязнения по каждому изученному радионуклиду были нанесены на высотный профиль по маршруту отбора проб (Рисунок 3.17).

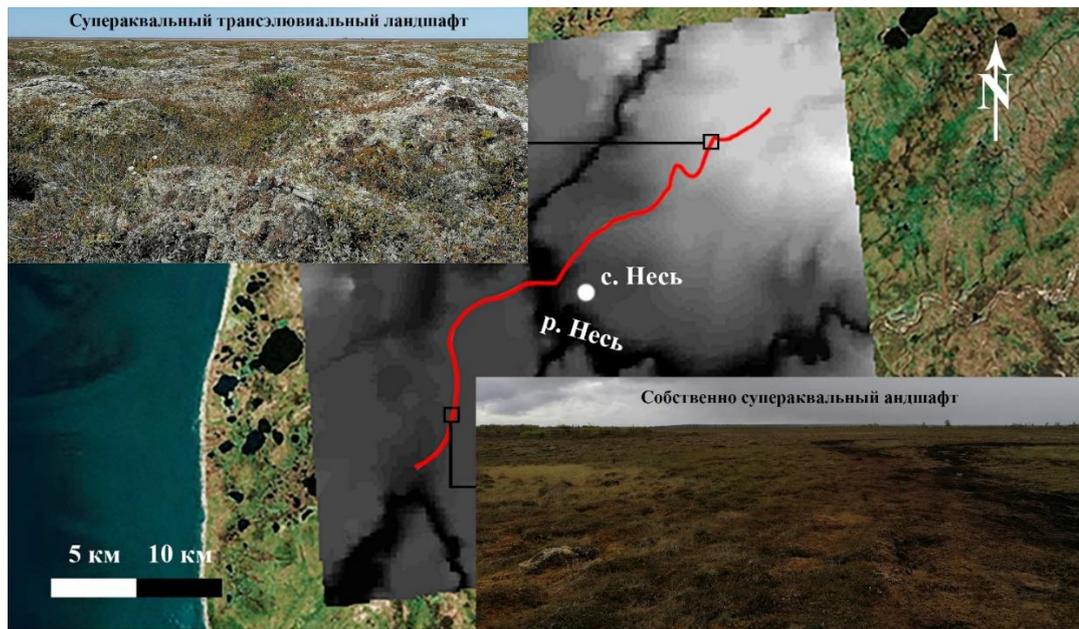


Рисунок 3.17 – Цифровая модель рельефа бассейна реки Несь и мелкобугристые болота в разных типах элементарных ландшафтов

На высотном профиле отчетливо выделяются основные формы мезорельефа: тундровая низменность (зона аккумуляции), холм, склон (зона транзита), плакор. По Польшину (Польшин, 1952) такие формы рельефа соответствуют следующим типам элементарных ландшафтов: автономный элювиальный (зона плакора), супераквальный трансэлювиальный (зона транзита) и собственно супераквальный (зона аккумуляции).

На Рисунках 3.18-3.19 приведены графики изменения плотности загрязнения Cs-137 и Sr-90 по профилю отбора проб почв. Более подробно результаты измерений приведены в приложении Б. Плотность загрязнения Cs-137 составляет от $9,22 \cdot 10^{-3}$ Ки/км² до $1,31 \cdot 10^{-1}$ Ки/км² со средним значением $4,43 \cdot 10^{-2}$ Ки/км². Плотность загрязнения Sr-90 составляет от $2,29 \cdot 10^{-3}$ Ки/км² до $5,07 \cdot 10^{-2}$ со средним значением $1,74 \cdot 10^{-2}$ Ки/км². Характер распределения содержания Cs-137 (Рисунок 3.18) и Sr-90 (Рисунок 3.19) в пробах по профилю отбора во многом схож. Отмечается значительное различие между плотностью загрязнения Cs-137 и Sr-90 на склоне, в зоне плакора и в пределах тундровой низменности. Вероятно, это обусловлено более интенсивной латеральной миграцией и плоскостным смывом (поверхностным стоком) радионуклидов по склону из зоны плакора, тогда как в зоне тундровой низменности радионуклиды аккумулируются в почвах, где подвержены в основном вертикальной миграции.

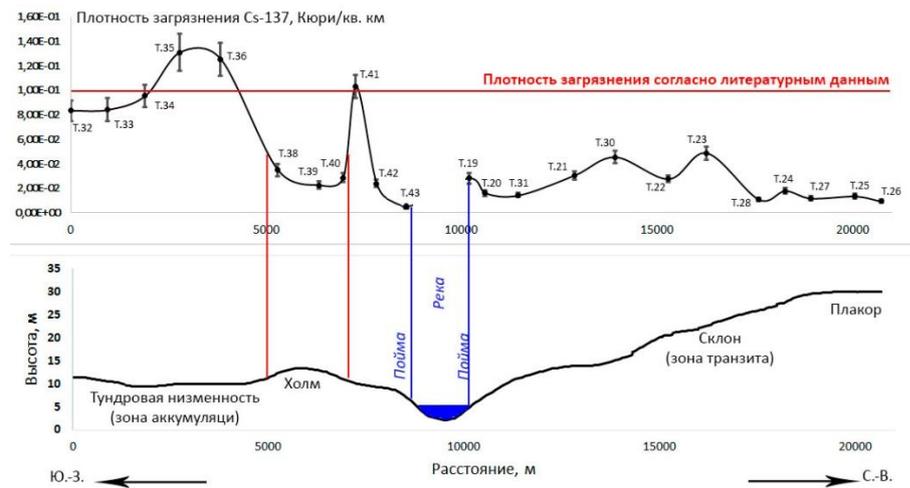


Рисунок 3.18 – Плотность загрязнения Cs-137 по профилю отбора

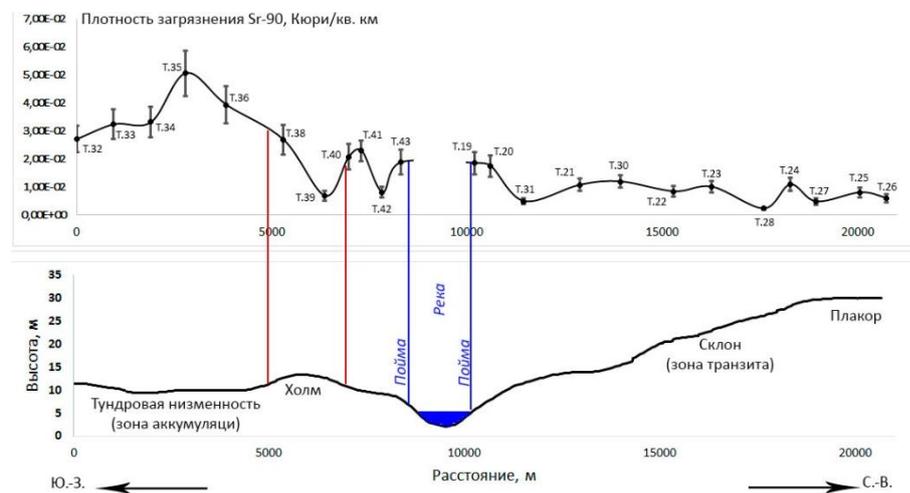


Рисунок 3.19 – Плотность загрязнения Sr-90 по профилю отбора

Согласно Рисунку 3.1 в западной части Ненецкого автономного округа на изучаемой территории плотность загрязнения Cs-137 на 1992 год составляет около 0,1 Кюри/кв. км. С момента исследования прошло чуть более 30 лет, т.е. один период полураспада Cs-137. Соответственно в пересчете на сегодняшний день плотность загрязнения Cs-137 составила не более 0,05 Кюри/кв. км (далее – опорное значение). Результаты исследований в рамках настоящей работы показывают, что плотность загрязнения Cs-137 в торфе превышает в 2-3 раза опорное значение, что является еще одним подтверждением наличие зоны повышенного содержания Cs-137 на территории бассейна реки Несь. Полученные данные о плотностях загрязнения Cs-137 позволяют уточнить уже имеемые данные пространственного распределения данного радионуклида. Сравнивая полученные результаты с другими редкими данными по радионуклиду Cs-137 в Ненецком автономном округе наблюдается снижение активности радиоцезия по сравнению с результатами исследований, полученными ранее на территории западной части региона. Согласно работе (Баженов, 2001) в период с 1994 по 2000 в отдельных пробах южной части полуострова Канин наблюдались уровни содержания Cs-137 до 2000 Бк/кг. В силу сложностей методического (инструментального) плана сведения о плотностях загрязнения Sr-90 в целом на территории РФ отсутствуют. Поэтому полученные данные о содержании Sr-90 в

торфах и почвах западной части Ненецкого автономного округа являются новыми данными и позволяют оценить запас данного радионуклида в объектах окружающей среды. Уровни загрязнения Sr-90 ориентировочно в два раза ниже, чем Cs-137, что подтверждается сведениями о выпадениях данных радионуклидов в период и после проведения ядерных испытаний (Ш'ин et al., 2017).

Необходимо отметить, что постседиментационная подвижность радионуклидов в органогенных почвах снижается в условиях Арктики, характеризующейся продолжительными морозными периодами, медленным разложением органического вещества и минимальной биотурбацией (Lokas, 2013). Важным фактором, препятствующим глубокому просачиванию воды в торфяной залежи, является многолетняя мерзлота, что приводит часто к заболачиванию деятельного торфяного слоя (сезонно-талого слоя), лежащего над минеральными почвами. Согласно (Игловский, 2010) бассейн реки Несь относится к криолитозоне с островным распространением многолетнемерзлых пород. Средняя глубина сезонно-талого слоя в 20 км от устья реки Несь составляет до 0,4 м. Поэтому, несмотря более высокую подвижность Sr-90 в почвах, характер поведения Sr-90 и Cs-137 во многом схожи.

На Рисунке 3.20 приведены графики изменения плотности загрязнения Am-241, Pu-238, Pu-239+240 по профилю отбора проб торфа и почв. Тенденция их аккумуляции хоть и менее выражена для разных типов ландшафтных единиц, но в целом схожа с распределением Cs-137 и Sr-90.

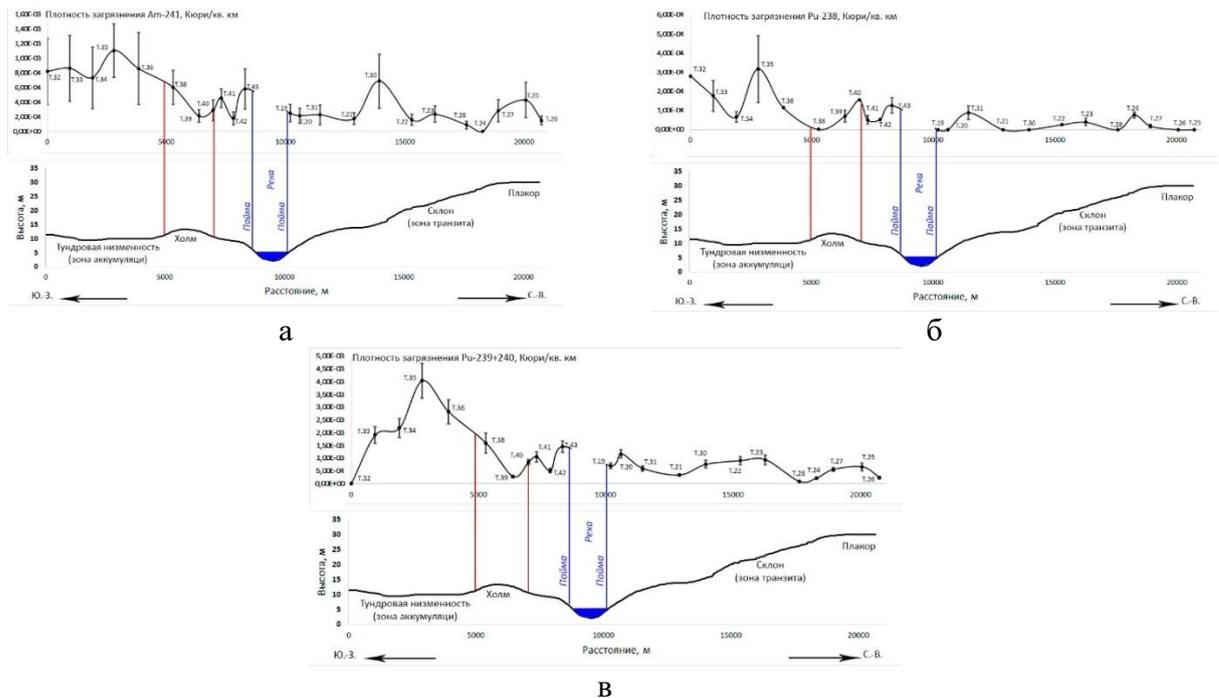


Рисунок 3.20 – Плотность загрязнения по профилю отбора: а – Am-241, б – Pu-238, в – Pu-239+240

Плотность загрязнения Am-241 составляет от $8,69 \cdot 10^{-5}$ Ки/км² до $1,11 \cdot 10^{-3}$ со средним значением $4,36 \cdot 10^{-4}$ Ки/км². Плотность загрязнения Pu-238 составляет от $1,84 \cdot 10^{-5}$ Ки/км² до $3,17 \cdot 10^{-4}$ со средним значением $1,10 \cdot 10^{-4}$ Ки/км². Плотность загрязнения Pu-239+240 составляет от $8,18 \cdot 10^{-5}$ Ки/км² до $4,04 \cdot 10^{-3}$ со средним значением $1,08 \cdot 10^{-3}$ Ки/км². В нескольких точках данные радионуклиды не обнаружены (измеренные значения ниже минимально-детектируемых уровней).

Подобно отсутствию данных по распределению Sr-90, радионуклиды Am-241, Pu-238, Pu-239+240 на территории региона практически не изучались. Наиболее близкорасположенными

территориями, где оценивалось содержание данных радионуклидов являются Мезенские и Приморские районы Архангельской области. Так, согласно (Yakovlev, 2021) удельные активности Pu-239 и Pu-240 в органогенных почвах Архангельской области находятся в основном в диапазоне от минимально-измеряемых активностей до 4 Бк/кг. В работе (Yakovlev, 2021) количественные характеристики изотопов плутония определялись методом масс-спектрометрии, поэтому Pu-239 и Pu-240 были измерены отдельно друг от друга. Удельные активности Am-241 не превышают 3 Бк/кг. Схожие уровни содержания данных радионуклидов обнаружены на более северных территориях – на о. Шпицберген, где удельная активность Am-241 в основном не превышает 3-4 Бк/кг, достигая в отдельных торфяных горизонтах 11 Бк/кг (Lokas, 2013). Удельная активность Pu-239+240 на данной территории в основном находится в пределах до 5-6 Бк/кг, и только в отдельных точках на определенных горизонтах достигает 23 Бк/кг. Результаты изотопных соотношений в работах (Yakovlev, 2021) и (Lokas, 2013) показали, что основными источниками радионуклидного загрязнения являются глобальные атмосферные выпадения и авария на Чернобыльской АЭС. В работе (Yakovlev, 2021) дополнительным источником загрязнения указывается на испытания, проведенные на архипелаге Новая Земля. Активности изотопов плутония и америция в торфе на территории бассейна реки Несь соизмеримы с результатами, полученными в Архангельской области и на о. Шпицберген. Для того, чтобы оценить вероятные источники радионуклидного загрязнения, проведен расчет изотопных соотношений Sr-90/Cs-137, Pu-238/Pu-239+240, Pu-239+240/Cs-137, Am-241/Pu-239+240 и построены графики линейной регрессии взаимосвязей между данными радионуклидами (Рисунок 3.21).

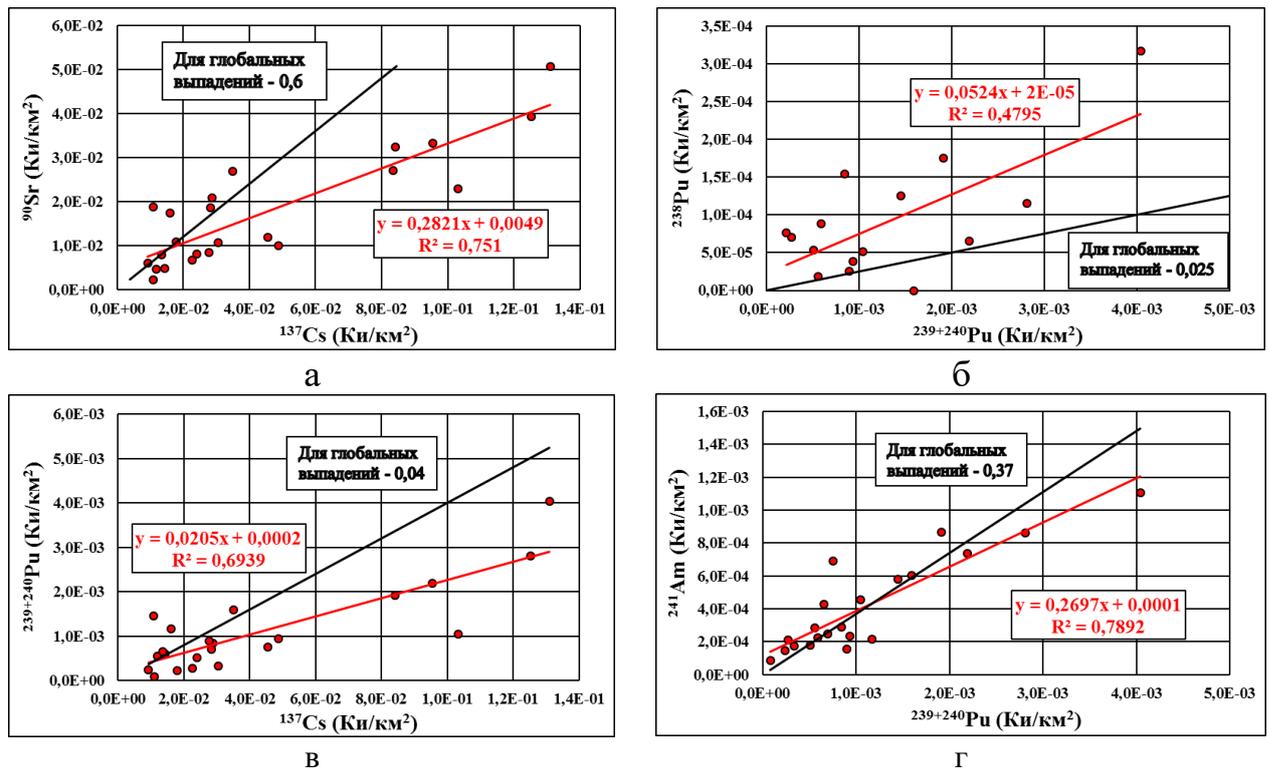


Рисунок 3.21 – Графики линейной регрессии для оценки взаимосвязей между: а – Cs-137 и Sr-90, б – Pu-238 и Pu-239+240, в – Pu-239+240 и Cs-137, г – Am-241 и Pu-239+240

В Таблице 3.4 приведены результаты расчетов среднего значения изотопных отношения и наклона линейной регрессионной модели для бассейна реки Несь.

Таблица 3.4 – Результаты расчета изотопных отношений техногенных радионуклидов в органогенных почвах бассейна реки Несь.

| Радио нуклиды | Изотопное отношение, отн. ед. | | | | Глобальные выпадения |
|-----------------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|
| | Бассейн реки Несь, НАО | | О. Шпицберген (Lokas, 2013) | | |
| | Среднее | Наклон регрессии | Среднее | Наклон регрессии | |
| Sr-90/ Cs-137 | 0,501 | 0,2821 | - | - | 0,6* |
| Pu-238/ Pu-239+240 | 0,102 | 0,0524 | 0,034 | 0,0231 | 0,025** |
| Pu-239+240/ Cs-137 | 0,0323 | 0,0205 | 0,06 | 0,0622 | 0,04** |
| Am-241/ Pu-239+240 | 0,46 | 0,2697 | 0,46 | 0,4161 | 0,37** |

Примечания:

*Согласно (Matishov, 2014)

** Согласно (Holm и др., 1983)

Расчеты изотопных отношений показали, что ни в одном случае результаты, полученные для бассейна реки Несь, не сходятся со значениями, характерными для глобальных выпадений. Наиболее близкими к глобальным выпадениям являются отношения Sr-90/Cs-137 и Am-241/Pu-239+240 по их средним значениям. Но учитывая, что наклон регрессии существенно отличается от среднего значения, то такие результаты не отражают один единственный источник загрязнения. Причем изотопное отношение Am-241/Pu-239+240 глобальных выпадений постоянно увеличивается за счет возрастания активности Am-241 по причине распада Pu-241, что затрудняет использование этого параметра для оценки источника загрязнения. Отмечается схожесть полученных результатов как по параметру среднего значения, так и по наклону регрессии, с работами (Lokas et al., 2013, 2016, 2017, 2022). Согласно данным работам, основными источниками радионуклидного загрязнения на о. Шпицберген являются глобальные атмосферные выпадения и авария на Чернобыльской АЭС. Поэтому для бассейна реки Несь можно предположить те же источники и, вероятно, локальные тропосферные выпадения по результатам ядерных испытаний на архипелаге Новая Земля. В подтверждение наличия Чернобыльского следа указывает тот факт, что изотопное отношение Pu-238/Pu-239+240 на исследуемой территории имеет несколько повышенные средние значения (0,102) и наклон регрессии (0,0524) по сравнению с глобальными выпадениями (0,025). Так, например, согласно работам (Mietelski и др., 1995; Kutkov, 1995; Kirchner and Noack, 1988; Kershaw и др., 1995), для Чернобыльских выпадений изотопное отношение Pu-238/Pu-239+240 находится в диапазоне от 0,19 до 0,55. Это может объяснять некоторую избыточность Pu-238 для исследуемой территории.

Дополнительной информацией для оценки источников радиационного загрязнения являются данные расчета траекторий загрязнений на основе наиболее часто применяемой модели HYSPLIT (Stein, 2015). Сущность метода заключается в получении массива данных о траекториях движения воздушных масс от конкретных источников на основе данных по метеорологическим параметрам (Stein, 2015). В качестве источников были взяты термоядерные взрывы и испытания на основе ядерного распада, проведенные на архипелаге Новая Земля в период с 1955 года по 1962 год (по данным каталога <http://militaryrussia.ru/>). Так как испытаний было проведено значительное количество (132 испытания, из них 87 – воздушных), то для расчета траекторий были взяты наиболее крупные взрывы (не менее 10 кт по мощности для испытаний на основе ядерного распада и не менее 100 кт по мощности для термоядерных взрывов). Всего было рассмотрено 46 событий. Результаты расчета траекторий показали, что основными направлениями движения воздушных масс во время проведения взрывов являлись северное, западное и восточное. При этом западный перенос зачастую обуславливал

атмосферные выпадения и на континенте (например, полуостров Ямал). На Рисунке 3.22 (а–в) представлены примеры траекторий движения воздушных масс по основным направлениям.

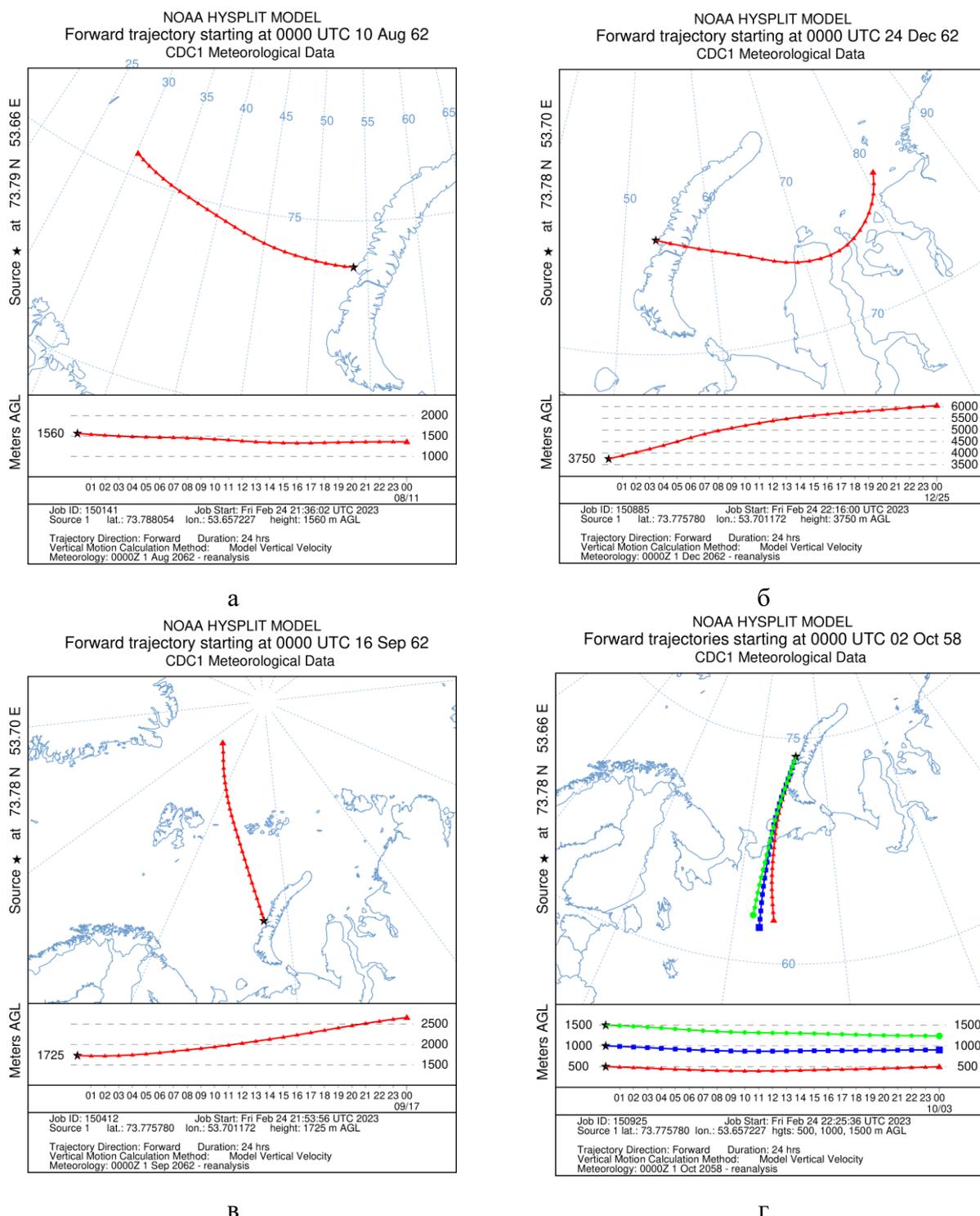


Рисунок 3.22 – Траектории движения воздушных масс по основным направлениям
(а – воздушное ядерное испытание на площадке Сухой Нос, Д-2, на высоте 1560 м, мощность – 400 кт, 10.08.1962; б – воздушное термоядерное испытание на площадке Сухой Нос, Д-2, на высоте 3750 м, мощность – 24200 кт, 24.12.1962; в – воздушное термоядерное испытание на площадке Сухой Нос, Д-2, высота неизвестна, мощность – 3250 кт, 16.09.1962; г – воздушное ядерное испытание на площадке Сухой Нос, Д-2, высота неизвестна, мощность – 40 кт, 02.10.1958 (по данным каталога <http://militaryrussia.ru/>))

Наиболее близкой траекторией к району исследования характеризуется воздушное ядерное испытание на площадке Сухой Нос 02.10.1958 мощностью 40 кт (рисунок 3.22 – г, траектории представлены для трех высот – 500, 1000 и 1500 м). Других траекторий в сторону полуострова Канин, в том числе и на территорию бассейна реки Несь, не обнаружено. Это указывает на то, что локальные (тропосферные) выпадения не оказали влияния на радионуклидное загрязнение бассейна реки Несь. Вычленив компоненту стратосферных выпадений от испытаний на архипелаге Новая Земля не представляется возможным, поскольку они характеризуются комплексом радионуклидов, источником которых являются испытания, проведенные по всему земному шару.

3.4 Оценка содержания радионуклидов в биоте (на примере рыбы и северного оленя) и дозовых нагрузок для человека

Основными источниками питания для коренного населения Ненецкого автономного округа являются продукты рыбной ловли и охоты. Поэтому актуальным является оценка соответствия потребляемой рыбы и мяса северного оленя требованиям в области продовольственной безопасности, в том числе и радиационным нормативам.

Радионуклиды концентрируются в тканях рыбы за счет биоаккумуляции и передаются по пищевым цепям, подвергая организмы воздействию ионизирующего излучения (Carvalho et al., 2011; Friedlander et al., 2005; Abdullah et al., 2015; Adel et al., 201). При этом рыба становится своеобразным биоиндикатором наличия в природных средах радионуклидов как природного, так и техногенного происхождения (Трапезников и др., 2018).

Накопление радионуклидов в организме северного оленя обусловлено особенностями его питания. Одним из основных объектов кормовой баз северного оленя является лишайник, особенно в зимние месяцы (Macdonald, 1996; Olos and Dolhanczuk-Srodka, 2022). Однако, за счет медленного роста, высокого значения сорбционной поверхности, воздушного типа питания лишайники эффективно удерживают радионуклиды, выпадающие из атмосферы в течение длительных периодов времени (Macdonald, 1996; Омельчук, 2020). Вследствие этого олени накапливают в своем организме значимое количество радионуклидов, что делает уязвимой арктическую наземную пищевую цепь «лишайник-северный олень-человек».

Одними из основных техногенных радиоактивных загрязнителей рыбы и северного оленя являются долгоживущие техногенные радионуклиды Cs-137 ($T_{1/2} = 30,1$ года) и Sr-90 ($T_{1/2} = 28$ лет) (Трапезников и др., 2018). Радионуклиды Cs-137 и Sr-90 проявляют значительную способность к усвоению водными организмами за счет сходств химических свойств с калием и кальцием соответственно (Zotina et al., 2019, Bezhenar et al., 2021, Fakhri et al., 2022).

Проведенные исследования рыбы из рек Ненецкого автономного округа показали, а также сравнение с реками Архангельской области, выявили, что техногенные радионуклиды обнаруживаются только в рыбе из реки Несь. Удельные активности изотопов Cs-137 и Sr-90 в смешанных пробах рыбы достигают 11,2 Бк/кг и 19,1 Бк/кг, соответственно (Пучков и др., 2020; 2023). При этом Cs-137 обнаруживается в щуке и окуне, в то время как Sr-90 только в окуне. Наибольшее содержание Cs-137 выявлено в щуке (до 14 % от суммарной активности по бета-излучению) (Puchkov et al., 2023), что может быть связано с аккумуляцией данного радионуклида в верхнем звене трофической цепи – более крупных хищниках (Zotina et al., 2019).

Результаты анализа биологических систем речного окуня и щуки показали накопление Cs-137 в мышечной ткани у речного окуня (55% от общей активности радионуклида), в мышечной

и костной ткани у щуки (29% и 26% соответственно), а Sr-90 в смеси кожи, чешуи и плавников (47%) и голов (33%), что подтверждает ранее полученные данные в целом по разным регионам мира (Povines et al., 2015, Miki et al., 2017, Zotina et al., 2019, Hubanova et al., 2019, Bezhenar et al., 2021). Установлено, что основным дозообразующим радионуклидом в рыбе является природный радионуклид К-40, содержание которого превышает 86% от общей активности бета-излучающих радионуклидов (в диапазоне от 77,0 до 115,9 Бк/кг). В первую очередь это связано с тем, что К-40 содержится практически во всех объектах окружающей среды, в том числе являющиеся звеньями трофических цепей для рыбы: в воде, донных отложениях, мелких ракообразных, подводной растительности и т. д. (IAEA, 1999, Ohtsuka et al., 2013, Milenkovic et al., 2019). Полученные данные по активности К-40 согласуются с результатами исследований, проведенными в других регионах мира (Alimova et al., 2016, Milenkovic et al., 2019, Heldal et al., 2019)

В соответствии с гигиеническими требованиями (СанПиН 2.3.2.1078-01) допустимые уровни удельной активности изотопов в рыбе, используемой для пищевых целей, ограничиваются значениями в 100 Бк/кг для Sr-90 и 130 Бк/кг для Cs-137. Полученные данные свидетельствуют о том, что вся изученная речная рыба пригодна для ее потребления населением.

Результаты исследования радионуклидов в биологических системах северного оленя представлены в Таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Содержание радионуклидов в биологических системах северного оленя.

| Обра зец | Биологическая система | Общий вес, г | Cs ¹³⁷ , Бк/кг | Sr ⁹⁰ , Бк/кг | Pb ²¹⁰ , Бк/кг | K ⁴⁰ , Бк/кг |
|-------------|---------------------------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 | Мышцы | 912 | 61,6±16,0 | <3,5 | - | 73,0±13,2 |
| | Кости (трубчатые с конечностей) | 991 | 45,7±6,9 | <17,3 | 61,6±16,0 | 61,6±16,0 |
| | Позвонки | 865 | 60,1±6,0 | 156,7±30,0 | 350,4±42,0 | <63,0 |
| | Печень | 322 | 38,7±5,8 | <1,9 | - | 63,9±13,4 |
| 2 | Мышцы | 857 | 53,2±14,9 | <5,1 | - | 65,7±13,8 |
| | Кости (трубчатые с конечностей) | 1216 | 39,6±6,7 | <19,6 | 67,5±17,6 | 61,6±16,0 |
| | Позвонки | 513 | 52,9±5,8 | 161,6±30,9 | 332,7±43,3 | <58,1 |
| | Печень | 289 | 27,4±0,16 | <2,5 | - | 61,5±0,22 |
| 3 | Мышцы | 515 | 59,3±5,9 | <1,3 | - | 66,9±14,7 |
| | Кости (трубчатые с конечностей) | 786 | 55,7±7,2 | <23,6 | 52,4±13,1 | 75,3±30,1 |
| | Позвонки | 623 | 38,2±2,7 | 89,0±22,3 | 61,0±7,3 | 44,0±11,0 |
| | Печень | 260 | 21,2±3,6 | <2,5 | - | 56,0±12,9 |
| 4 | Мышцы | 498 | 43,6±4,8 | <2,2 | - | 49,5±11,4 |
| | Кости (трубчатые с конечностей) | 691 | 66,8±8,0 | <19,5 | 48,3±12,6 | 69,6±28,5 |
| | Позвонки | 478 | 35,3±3,2 | 102,0± 22,4 | 70,1±7,7 | 38,0±9,9 |
| | Печень | 361 | 17,5±3,2 | <3,0 | - | 45,0±12,6 |
| 5 | Мышцы | 602 | 63,6± 6,4 | <2,1 | - | 60,3±12,7 |
| | Кости (трубчатые с конечностей) | 564 | 37,6±5,6 | 19,3±8,7 | 43,6±12,2 | 61,4±28,2 |
| | Позвонки | 409 | 47,6± 19,5 | 118±22,4 | 81,3±8,9 | 46,6±10,3 |
| | Печень | 216 | 28,5±4,3 | <3,2 | - | 61,3±15,3 |

Полученные данные по активности Cs-137 в мышечной ткани северных оленей выявили схожие максимальные значения для каждой изучаемой особи (в диапазоне от 43,6 – 63,6 Бк/кг). Мышцы характеризуются наиболее высоким содержанием Cs-137. Значительное накопление выявлены также для позвонков и костей. Sr-90 накапливается преимущественно в позвонках северных оленей с удельной активностью до 161,6 Бк/кг. Накопление Sr-90 в мышечной ткани и почках не обнаружено. Pb-210 в основном накапливается в позвонках (от 61,1 до 350,4 Бк/кг) и костях (от 43,6 до 67,5 Бк/кг) северных оленей. В мышечной ткани и печени Pb-210 не обнаружен. K-40 присутствует во всех изученных биологических системах северных оленей. Наибольшая активность K-40 характерна для мышечной (до 73,0 Бк/кг) и костной (до 75,3 Бк/кг) тканей. Повышенные значения наблюдаются так и в печени. Полученные уровни содержания K-40 соответствуют результатам других исследований (Macdonald et al., 1996), где удельная активность K-40 варьировала в пределах 72,9-167 Бк/кг для мышечной ткани и 51,5-169 Бк/кг для печени.

В соответствии с требованиями СанПиН 2.3.2.1078-01) в съедобной части оленя – мышечной ткани, регламентируется содержание только Cs-137. Уровень удельной активности Cs-137 для оленины и мяса диких животных должен быть не более 300 Бк/кг. Таким образом, исследуемые образцы по Cs-137 в мясе не превышают допустимых значений и пригодны для употребления.

По информации федеральной службы государственной статистики (<https://adm-nao.ru/press/government/10877/>, дата обращения – 27.03.2023) жители Ненецкого автономного округа потребляют наибольшее количество рыбы и рыбопродуктов по сравнению с соседями по Северо-Западному региону. В 2014 году среднедушевое потребление рыбы и рыбопродуктов в Ненецком автономном округе составило 29,4 килограмма в год. Согласно (Андронов и др., 2021) среднесуточное потребление рыбы ненцами в Арктической зоне может достигать 171,5 г/сут/чел. Полевые исследования в населенных пунктах Канинской тундры (опросный метод) показали, что в отдельных случаях среднесуточное потребление рыбы может достигать 220 г/сут/чел. В свою очередь, потребление оленины на Крайнем Севере коренным населением составляет 80-100 % от всего потребляемого мяса (Павлов, 2000), достигая в отдельных случаях 180-200 г в день (65,7 – 73,0 кг/год). Исходя из этих данных были получены следующие значения пероральной дозы радионуклидов из рыбы до разделения на органы и ткани: 0,079 мЗв/год для окуня, 0,065 мЗв/год для щуки. Для оленя из расчета по мышечной ткани уровень дозы составил 0,093 мЗв/год. Выявленные годовые пероральные дозы ниже установленного предела 1 мЗв/год (Kryshev et al., 2022), ниже средней дозы облучения в 0,29 мЗв/год, полученной на душу населения в мире при попадании естественных радионуклидов в пищу (UNSCEAR, 2000), а также ниже предела дозы в 0,25–0,40 мЗв/год, рекомендованный ВОЗ (World Health Organization report, 2011).

3.5. Выводы

По результатам анализа результатов выполнения АГС на территории Ненецкого автономного округа можно сделать вывод, что наиболее низкими значениями активности Cs-137 и суммарной МЭД гамма-излучения характеризуются территории Канинской тундры и западной части Малоземельской тундры. При этом отмечается некоторая несогласованность результатов АГС по содержанию радионуклидов и суммарной МЭД гамма-излучения на территории Канинской тундры, представленных в различных отчетах, в том числе и при сравнении с результатами наземной гамма-съемки. С учетом этого, а также в условиях значительной

обводненности территории Канинской тундры, можно предположить, что содержание Cs-137 в объектах окружающей среды будет отличаться от результатов, полученных методом АГС.

Подтверждением данного вывода стали результаты исследования донных осадков рек Ненецкого автономного округа на содержание в них Cs-137. Среди изученных рек (Чижа, Несь, Вижас, Ома, Печора, Колва, Уса) наибольшее содержание Cs-137 выявлено в донных осадках реки Несь (Канинская тундра).

Одной из причин повышенного содержания Cs-137 в донных осадках реки Несь являются высокие концентрации Cs-137 в терригенном материале, поступающем в реку с водосборной площади. Результаты исследований почвы в бассейне указанной реки показали, что плотность загрязнения Cs-137 превышает в 2-3 имеемые данные по Канинской тундре. При этом латеральное распределение радионуклидов обусловлено рельефными особенностями территории. Расчеты изотопных отношений показали, что основными источниками радионуклидного загрязнения являются глобальные атмосферные выпадения и авария на Чернобыльской АЭС.

В условиях наличия зон повышенного содержания техногенных радионуклидов важным и необходимым становится оценка содержания радионуклидов в биоте и дозовых нагрузок на человека. Результаты исследований на территории Ненецкого автономного округа показали, что рыба из реки Несь отличается повышенным содержанием техногенных радионуклидов Cs-137 и Sr-90 по сравнению с другими реками региона. Удельные активности Cs-137 и Sr-90 в биологических системах северного оленя не отличаются от значений, характерных в целом для арктических территорий. Содержание радионуклидов в рыбе и северном олене не превышают установленных норм и требований в области продовольственной безопасности. Расчет дозовой нагрузки при потреблении такой рыбы и мяса оленя показал, что пероральная доза ниже установленных уровней в 1 мЗв/год, ниже средней дозы облучения в 0,29 мЗв/год, полученной на душу населения в мире при попадании естественных радионуклидов в пищу, а также ниже предела дозы в 0,25–0,40 мЗв/год, рекомендованный ВОЗ.

4. ИЗМЕНЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА В УСЛОВИЯХ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

4.1 Оценка формирования радиационных параметров почвенно-растительного покрова в зависимости от изменения мерзлотных условий

Вечная мерзлота играет важную роль в глобальных изменениях окружающей среды и деятельности человека в арктических регионах (АМАР, 2017; IPCC, 2019). Изменения климатических параметров, особенно температуры воздуха, высоты снежного покрова и продолжительности теплого периода, приводят к повышению температуры вечной мерзлоты и увеличению глубины активного слоя в разных местах криолитозоны, в том числе на территориях Арктики и горных приледниковых районов (Streletskiy et al., 2023). Изменение структуры вечной мерзлоты приводит к перераспределению макро- и микроэлементов в геологической среде (Shirokova et al., 2021, Pokrovsky et al., 2021), в том числе может оказывать влияние и на циркуляцию радиоактивных газов (Puchkov et al., 2021). Для того, чтобы подтвердить гипотезу влияния на трансформацию радиационного фона, были проведены полевые исследования на двух ключевых участках (мелкобугристое торфяное болото в устьевой части бассейна реки Ома Ненецкого автономного округа и болотистый участок на территории Приполярного Урала (Интинский район Республики Коми), отличающихся разными мерзлотными условиями. На данных участках были проведены оценки плотности потока радона (ППР), уровня гамма-излучения, глубины сезонного-талого слоя (СТС), а также содержания естественных радионуклидов в почвенно-растительном покрове.

Первый ключевой участок представляет собой мелкобугристое торфяное болото. Выбор данного участка обусловлен разным уровнем оттаивания СТС, в том числе по причине отепляющего действия реки. Данная особенность позволила в первом приближении оценить влияние глубины оттаивания на поток радона, гамма-излучения, а также характер распределения других естественных радионуклидов по торфяному профилю. Схема проведения исследования и основные результаты оценки глубины оттаивания СТС, уровня гамма-излучения и ППР приведены на Рисунке 4.1.

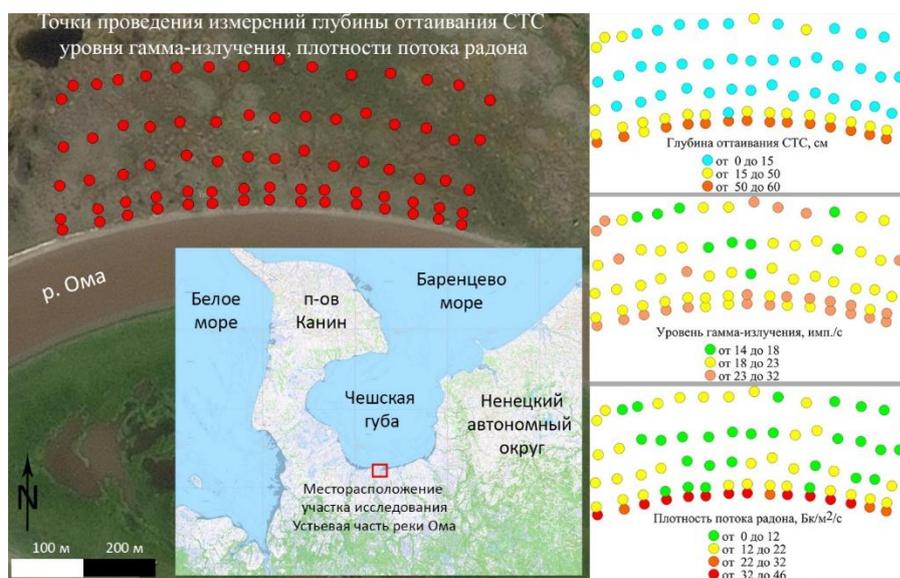


Рисунок 4.1 – Распределение гамма-излучения, плотности потока радона по поверхности торфяного болота и глубины оттаивания СТС в бассейне реки Ома

На территории болота в начале летнего периода наибольшая глубина оттаивания СТС наблюдалась по краю болота (ширина полосы не более 1-2 м), достигая 50-60 см (уровень подстилающей породы). По направлению от края болота глубина оттаивания резко уменьшалась и составляла в диапазоне от 5 до 15 см. Согласно (Игловский, 2010) на территории Канинской тундры (бассейны рек Чиж, Несь, Вижас, Ома) средняя глубина СТС составляет до 0,4 м.

Уровень гамма-излучения в пределах изученной территории изменяется от 14,4 до 30,4 имп./с со средним значением 21,7 имп./с. Результаты измерений показали несколько повышенный уровень мощности дозы гамма-излучения в местах максимального уровня оттаивания СТС в торфяном горизонте. Коэффициент корреляции между уровнем гамма-излучения и глубиной оттаивания СТС составил 0,70 (Рисунок 4.2). Повышение дозы гамма-излучения вероятно обусловлено потоком естественных радиоактивных газов, в том числе радона и его продуктами распада за счет отсутствия мерзлого барьера. С другой стороны, повышение уровня гамма-излучения может быть связано с характеристиками самого гамма-излучения. Проникающая способность гамма-излучения увеличивается с ростом энергии гамма-квантов и уменьшается с увеличением плотности вещества – поглотителя. Толщина слоя воды (а в рамках данной работы приравняем данный параметр к толщине мерзлого грунта), ослабляющего поток гамма-излучения с энергией 0,5 МэВ в 10 раз, составляет 24 см. В силу того, что энергии гамма-излучения естественных радионуклидов отличаются широким разнообразием (Левин, 1973), начиная с областей рентгеновского излучения и заканчивая энергиями выше 2,5 МэВ, то лед или мерзлый грунт может оказаться существенным барьером для прохождения гамма-квантов. Возможно именно данный факт отражается в результатах исследований распределения гамма-излучения торфяного болота в бассейне реки Ома.

Схожая картина распределения наблюдается и по ППР на изученной территории. Данный параметр изменяется в пределах от 6,0 до 44,0 мБк/м²/с со средним значением 16,4 мБк/м²/с. Также, как и с уровнем гамма-излучения, наиболее высокие значения ППР наблюдаются по краю торфяного болота в пределах полосы шириной не более 1-2 м. Но в отличие от гамма-излучения, наблюдается очень сильная корреляционная связь с уровнем оттаивания СТС – 0,90 (Рисунок 4.2). Это указывает на то, что в 77 % случаев варьирование потока радона зависит от уровня оттаивания СТС. При этом сравнивая ППР и уровень гамма-излучения, можно отметить слабую корреляционную связь между этими параметрами (Рисунок 4.2). Изменение уровня гамма-излучения только в 20% случаев обусловлено потоком радона. Вероятно, наибольший вклад в поток гамма-квантов вносят гамма-излучающие радионуклиды, в том числе и продукты распада радона, содержащиеся в почве.

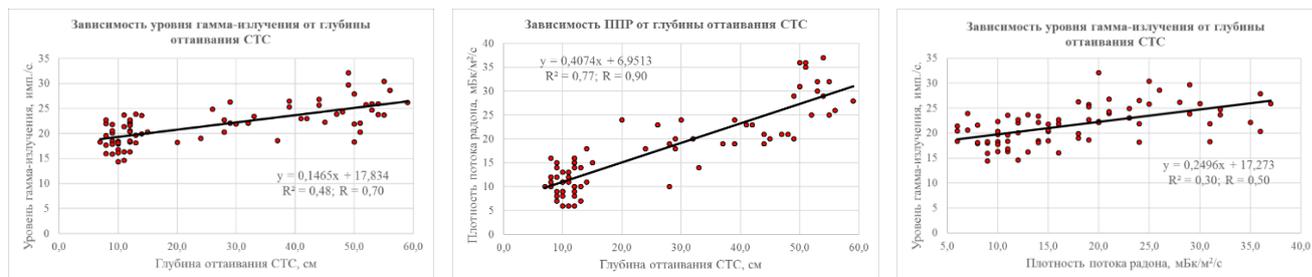


Рисунок 4.2 – Графики линейной регрессии для оценки взаимосвязей между глубиной оттаивания СТС, уровнем гамма-излучения и плотностью потока радона

На территории болота выполнены два торфяных разреза (у края болота – профиль 1, и на расстоянии 100 м от края болота – профиль 2) с отбором проб с шагом 5 см (Рисунок 4.3). Результаты оценки содержания естественных радионуклидов в пробах торфяных разрезов приведены в Таблицах 4.1 и 4.2.

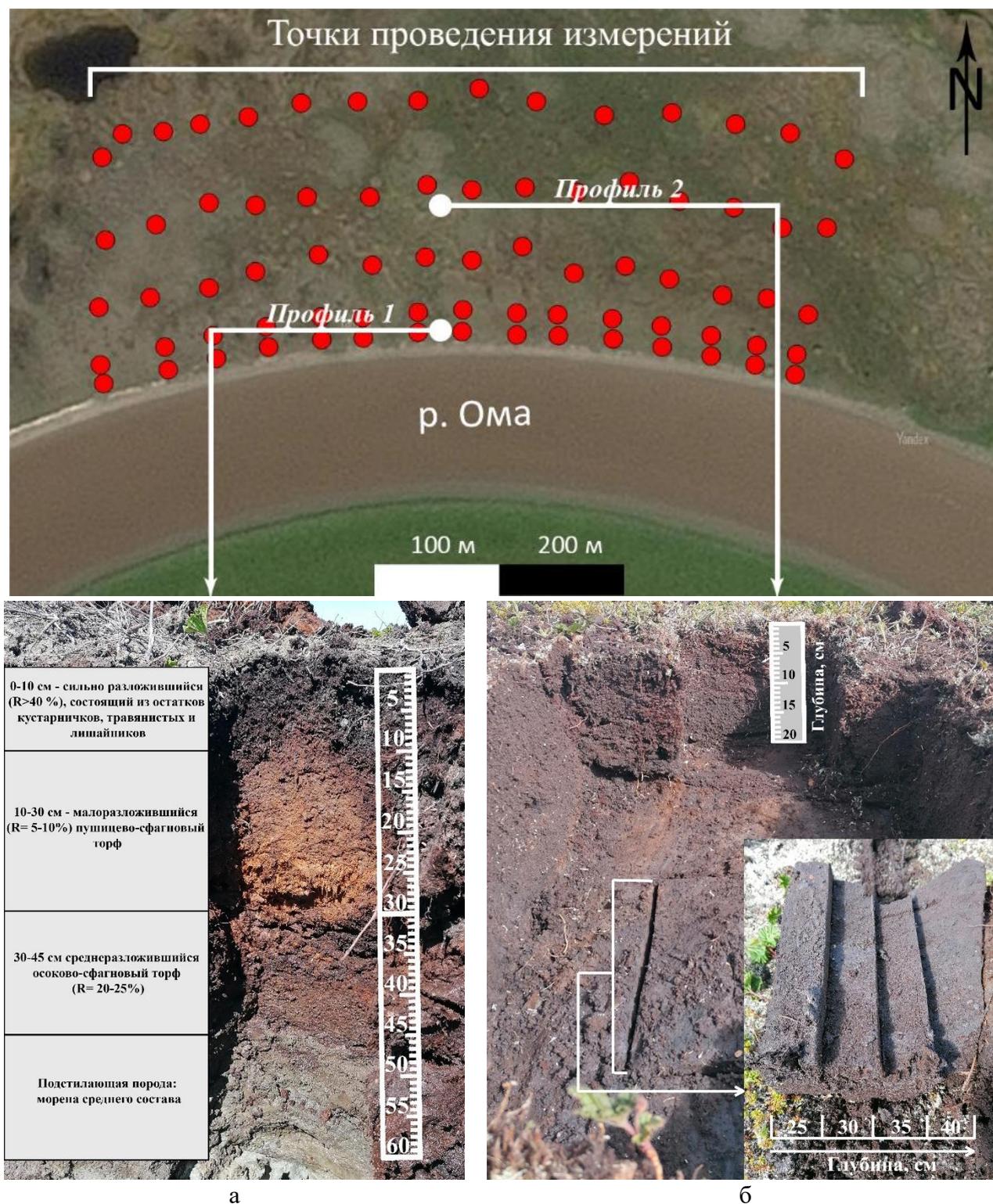


Рисунок 4.3 – Торфяные профили у края болота (а, профиль 1) и на расстоянии 100 м от края болота (б, профиль 2)

Таблица 4.1 – Изменение содержания естественных радионуклидов с глубиной в торфяном профиле 1

| Горизонт, см | Удельная активность, Бк/кг | | | | Изотопное отношение Ra-226/Pb-210 |
|--------------|----------------------------|------------|----------|------------|-----------------------------------|
| | Ra-226 | Pb-210 | Th-232 | K-40 | |
| 0-5 | <1,3 | 330,0±60,0 | 3,1±1,0 | 60,0±18,0 | - |
| 5-10 | <1,1 | 65,0±18,2 | 2,5±1,0 | 51,0±19,0 | - |
| 10-15 | <1,1 | 10,0±2,5 | 2,0±0,8 | 45,0±18,0 | - |
| 15-20 | <1,0 | <2,2 | <1,8 | 35,0±14,0 | - |
| 20-25 | 0,3±0,2 | 2,3±1,1 | 1,3±0,8 | 23,0±9,2 | 0,13 |
| 25-30 | 1,1±0,4 | 8,1±3,2 | 4,8±0,6 | 78,0±12,5 | 0,14 |
| 30-35 | 2,8±0,8 | 7,3±2,9 | 4,5±0,6 | 62,0±11,8 | 0,38 |
| 35-40 | 2,3±0,7 | 12,0±5,0 | 5,1±0,7 | 155,0±21,7 | 0,19 |
| 40-45 | 10,5±1,6 | 16,0±6,4 | 20,1±1,8 | 330,0±29,7 | 0,66 |
| 45-50 | 14,2±2,6 | 21,0±8,4 | 25,0±2,3 | 370,0±33,3 | 0,68 |
| 50-55 | 16,3±2,5 | 17,0±6,8 | 25,9±2,2 | 530,0±47,7 | 0,96 |

Таблица 4.2 – Изменение содержания естественных радионуклидов с глубиной в торфяном профиле 2

| Горизонт, см | Удельная активность, Бк/кг | | | | Изотопное отношение Ra-226/Pb-210 |
|--------------|----------------------------|------------|---------|------------|-----------------------------------|
| | Ra-226 | Pb-210 | Th-232 | K-40 | |
| 0-5 | <1,7 | 270,0±60,0 | <1,4 | 51,0±18,0 | - |
| 5-10 | <2,8 | 22,0±18,2 | <1,8 | 45,0±19,0 | - |
| 10-15 | <2,4 | <2,9 | <3,0 | 35,0±18,0 | - |
| 15-20 | <2,3 | 4,1 | 4,8 | 78,0±14,0 | - |
| 20-25 | 3,6±0,2 | 9,0±1,1 | 8,6±0,8 | 155,0±9,2 | 0,40 |
| 25-30 | 3,3±0,4 | 6,5±3,2 | 8,4±0,6 | 183,0±12,5 | 0,51 |
| 30-35 | 4,5±0,8 | 11,0±2,9 | 9,6±0,6 | 167,0±11,8 | 0,41 |
| 35-40 | 5,8±0,7 | 8,0±5,0 | 9,7±0,7 | 190,0±21,7 | 0,73 |

Согласно Таблицам 4.1 и 4.2 отмечается схожесть распределения радионуклидов Ra-226, Pb-210, Th-232 и K-40 по глубине торфяных профилей. В целом значения данных радионуклидов соответствуют имеемым данным по Северо-Западному региону (Kriauciunas, 2018, Yakovlev, 2022, 2023). Содержание Pb-210 на глубине 15-20 см в профиле 1 и 10-15 см в профиле 2 ниже минимально-измеряемых активностей. Вероятно, это связано с отсутствием вертикальной миграции Pb-210, который поступил с атмосферными выпадениями, по причине небольшой глубины СТС и малого периода его талого состояния. При этом в горизонтах глубже 15-20 см в обоих профилях наблюдается увеличение содержания Pb-210, как и его материнского изотопа Ra-226. Результаты расчета изотопных отношений Ra-226/Pb-210 для глубин от 20 до 40 см показали, что в профиле 1 данный параметр изменяется в пределах от 0,13 до 0,38, в профиле 2 – от 0,40 до 0,73. Низкое значение изотопного отношения в профиле 1 может указывать на избыточность Pb-210 (по сравнению с содержанием Ra-226), вероятно обусловленную потоком радона из нижележащих горизонтов. Применение метода изотопного отношения Ra-226/Pb-210 встречается в работе (Цапалов, 2013), где авторами было показано избыточное содержание Pb-210 в условиях активной геодинамики за счет поступления «глубинного» радона. В настоящем исследовании предполагается, что в условиях мерзлоты активности Ra-226 и Pb-210 находятся в радиоактивном равновесии, т.е. их соотношение будет составлять 1 (единицу). И при нарушении мерзлотных условий радон начнет мигрировать по геологической среде, оставляя за собой продукты распада, что потенциально может привести в свою очередь к нарушению отношения Ra-226/Pb-210 в меньшую сторону.

Таким образом, на территории изученного болота наблюдаются несколько повышенные уровни мощности дозы гамма-излучения и ППП в местах максимального уровня оттаивания СТС.

Исследование торфяных профилей в разных мерзлотных условиях показали, что на участке с более глубоким оттаиванием СТС наблюдается избыточность Pb-210 по сравнению с содержанием его материнского радионуклида Ra-226, обусловленная потоком радона из более глубоких горизонтов, в том числе материнской породы.

Вторым участком для проведения полевых исследований потоков радона и распределения Pb-210 в разных мерзлотных условиях стал болотистый участок на территории Приполярного Урала (Интинский район Республики Коми). На данном участке были отобраны пробы сфагнового мха для определения удельной активности Pb-210, проведены измерения ППР и температуры грунтов на разных глубинах. Основные результаты представлены на Рисунке 4.4.

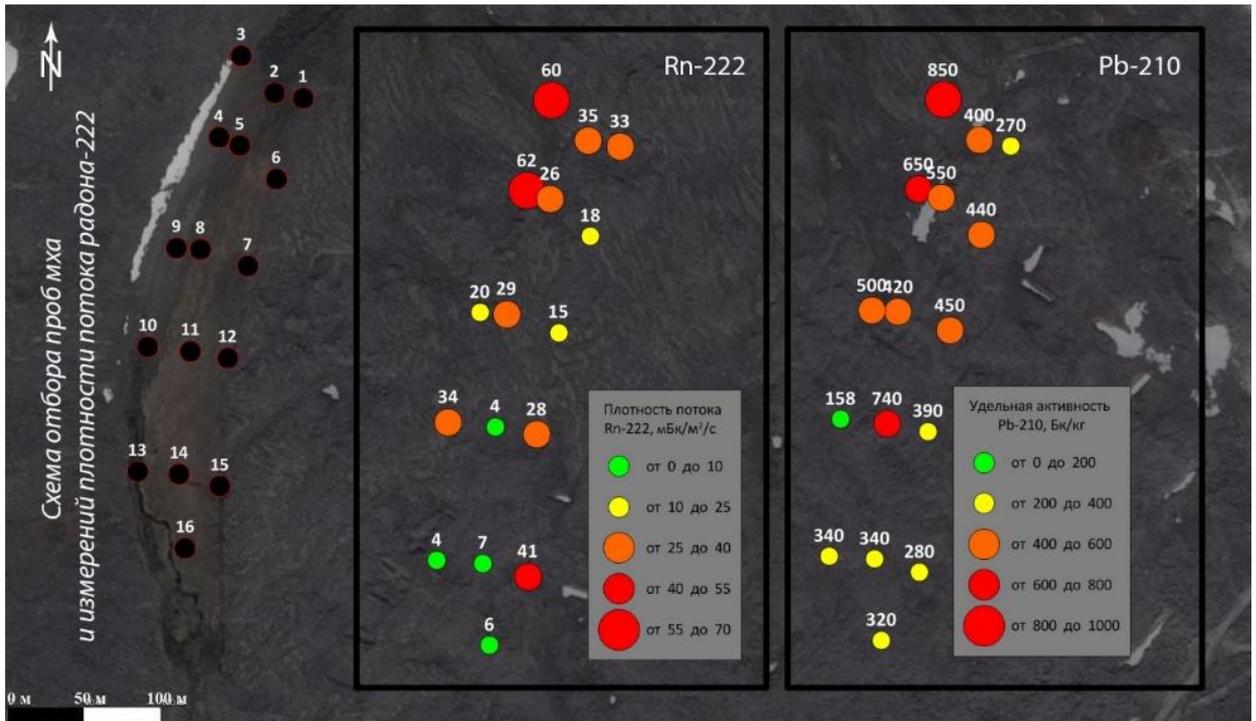


Рисунок 4.4 – Пространственное распределение ППР и удельной активности Pb-210 в мхах

Согласно результатам исследования, выделяется зона повышенного содержания Pb-210, расположенная в северной половине исследуемого участка. При этом удельная активность в отдельных точках достигает 850 Бк/кг. Южная часть площадки характеризуется пониженными значениями удельной активности данного радионуклида в диапазоне от 158 до 390 Бк/кг с одной аномальной пробой с удельной активностью 740 Бк/кг. Такие пониженные значения могут быть обусловлены в основном атмосферным поступлением Pb-210 с незначительным влиянием геологической среды в силу наличия увлажненных участков, а также неглубокого залегания кровли мерзлоты.

На Рисунке 4.5 представлены основные корреляционные зависимости между исследованными параметрами. Наиболее тесная связь отмечается между ППР и температурой грунта на глубине 25 см ($R=0,68$, $R^2 = 0,46$). Горизонт 25 см – наиболее глубокий, в котором температура была измерена во всех точках согласно схеме на Рисунке 4.3. Средняя корреляционная связь наблюдается между удельной активностью Pb-210 и температурой грунта на глубине 25 см ($R=0,46$, $R^2 = 0,22$) и между удельной активностью Pb-210 и ППР ($R=0,52$, $R^2 = 0,28$).

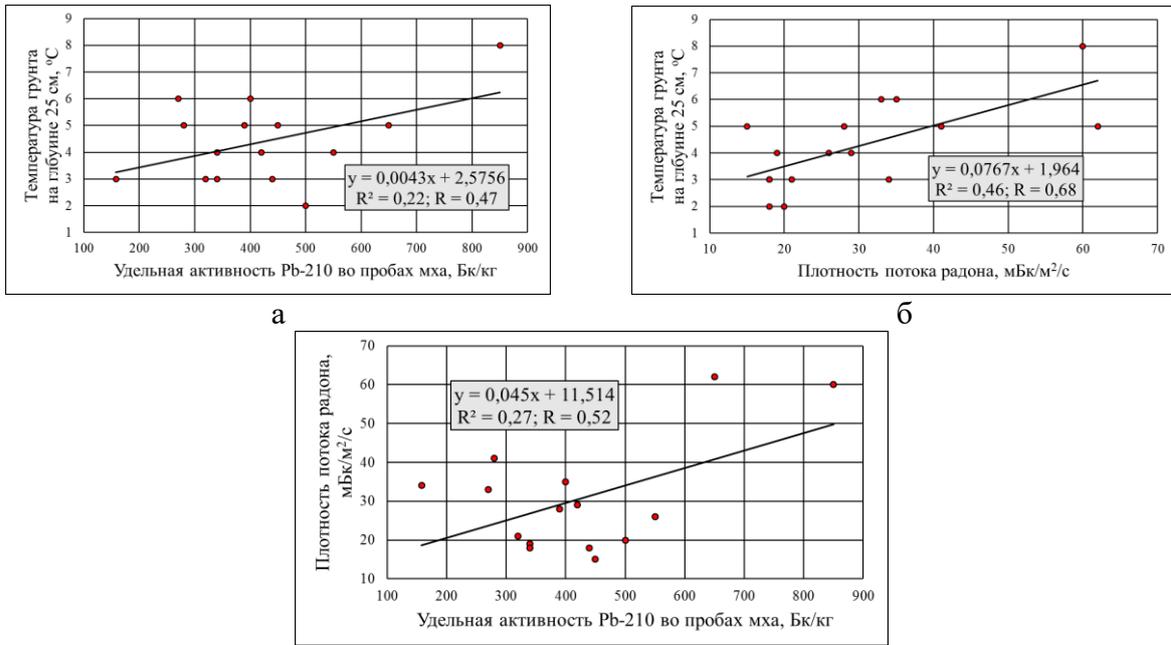


Рисунок 4.5 – Графики линейной регрессии для оценки взаимосвязей между температурой грунта на глубине 25 см, ППР и удельной активностью Pb-210 в мхах

Исходя из полученных результатов, можно предположить, что ММП играют роль барьера для поступления Rn-222 из геологических слоев. Барьерная функция в данном случае может быть объяснена низкими коэффициентами пористости и проницаемости льда и мерзлых пород, что в свою очередь приведет к невозможности эманировать радону в свободное пространство. Аномальные же значения Pb-210 могут быть дополнительно обусловлены эманированием радона из горных пород, которые проявляются на глубинах от 25 см и глубже. В условиях отсутствия мерзлых пород и снижения увлажнения радон практически беспрепятственно поступает к поверхности земли с почвенным воздухом, оставляя дочерние продукты распада в почве, растительности и аэрозолях приземного слоя атмосферы.

Полученные результаты исследований потоков радона, гамма-излучения и неравномерности распределение Pb-210 в зависимости от мерзлотных условий предопределили проведение экспериментальной работы, направленной на изучение поведения радона в условиях меняющейся температуры окружающего воздуха и почвы на разных глубинах.

4.2 Экспериментальные исследования распределения радона в условиях имитации участка криолитозоны и ее деградации

Результаты полевых исследований показали, что ММП могут оказывать существенное влияние на распределение потоков радона, уровня гамма-излучения и, вероятно, трансформацию естественного радиохимического фона. При этом оценка количественных характеристик изученных параметров в условиях изменения структуры ММП несколько затруднена по причине длительности процесса деградации мерзлоты. С целью количественного описания процесса эманации радона при изменения мерзлотных условий был поставлен эксперимент на примере тестовой площадки с заданными радиационными и физическими характеристиками в условиях имитации типичного строения криолитозоны.

Экспериментальная площадка располагается на территории Архангельской области (северо-запад России) в 30 км от города Северодвинск. Данная территория относится северной части Восточно-Европейской равнины. Для региона характерен ледниковый ландшафт с плоскими равнинами, протяженными по бокам террасами и моренными поясами, рассеченными долинами рек. В месте проводимого эксперимента перекрывающий слой сложен агроестественными почвами глееподзолистого типа на суглинках, типичными для данной территории и северной тайги. Верхние слои перекрывающего горизонта подвергались поверхностному сельскохозяйственному антропогенному воздействию что способствовало изменению обычного порядка горизонтов и отнесение данного профиля к городским почвам. Содержание Ra-226 в этих почвах низкое и колеблется от 5 до 10 Бк/кг. Данные значения активности радия-226 определены в ходе настоящего эксперимента. По причине низкой активности данного радионуклида фоновый поток радона не оказывал влияния на проведение эксперимента. Подготовка площадки и контейнера была проведена в феврале 2021 года в условиях низких температуры окружающего воздуха (до 40 градусов ниже нуля). В качестве источника радона была выбрана красная глина с повышенным содержанием Ra-226. В течение 5 месяцев (с марта по июль, всего 132 дня) были проведены измерения плотности потока радона в контрольной и фоновой точках, температуры почвы на поверхности и на глубинах 0,5, 1,0 и 1,5 м. В качестве температуры атмосферного воздуха были взяты данные среднесуточных температур по информации Северного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (город Архангельск, Россия) (по данным <http://www.sevmeteo.ru/>).

Экспериментальная площадка представляет из себя контейнер, помещенный в яму на глубину 1,6 м. Высота контейнера – 86 см. На дно контейнера было помещено 40 кг красной глины. Далее по тексту этот слой будет именоваться источником радона. Источник радона был засыпан почвой до верха контейнера. У дна контейнера были сделаны отверстия для дренажа талых вод.

В Таблице 4.3 приведены основные радиационные и физические характеристик почв, которыми характеризуется экспериментальная площадка. Изученные почвы представлены следующими типами: глееподзолистые почвы, суглинки.

Таблица 4.3 – Основные радиационные и физические характеристик почв на экспериментальной площадке

| Тип почвы | Радиационные и физические характеристики | | | |
|---------------------------------|--|--------------------------|--|--------------------------------------|
| | Активность радия-226, Бк/кг | Коэффициент эманиации, % | Уровень продуцирования радона, Бк·м ⁻³ ·ч ⁻¹ | Средняя плотность, г/см ³ |
| Глееподзолистые почвы | 8,8 | 15,7 | 12,5 | 1,2 |
| Суглинки | 11,3 | 9,5 | 13,0 | 1,6 |
| Красная глина (источник радона) | 103,8 | 25,7 | 322,7 | 1,6 |

Подробная схема экспериментальной площадки, место ее расположения и геометрические характеристики представлены на Рисунке 4.6. Ежедневно в течение недели контейнер проливался водой общим объемом около 400 литров. В условиях крайне низких температур (до 40 градусов ниже нуля) контейнер был быстро заморожен. Таким образом был имитирован слой вечной мерзлоты, в который был помещен источник радона. После этого яма была засыпана почвой в мерзлом состоянии, что стало имитацией слоя сезонного промерзания.

Измерения ППР проводились в двух точках. Контрольная точка находилась над контейнером. Фоновая точка находилась на поверхности земли на расстоянии 10 метров от контейнера.

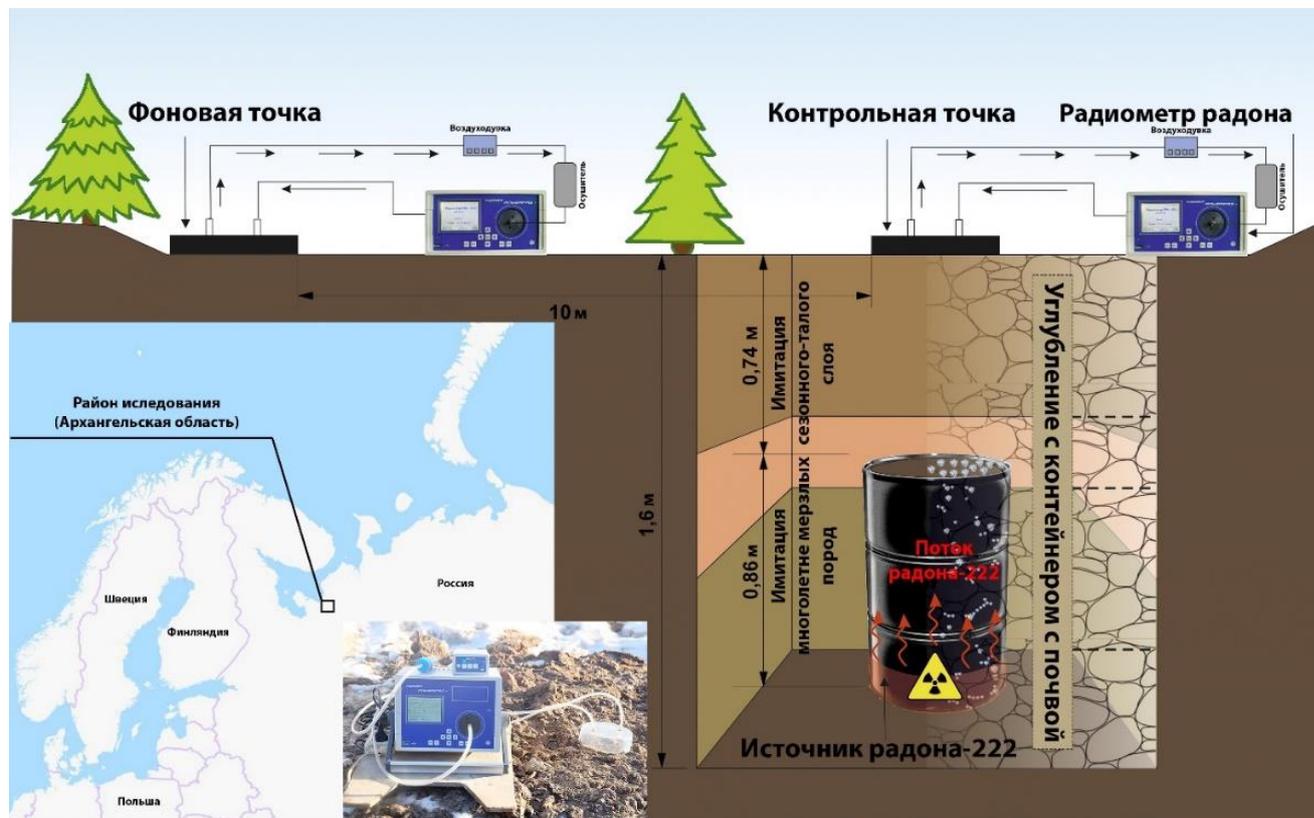


Рисунок 4.6 – План-схема проведения эксперимента по мониторингу за плотностью потока радона

Изменения ППР в контрольной и фоновых точках, температуры воздуха и почвы на разных глубинах представлены на Рисунке 4.7. В период с 1 марта по 11 июля было выявлено 4 факта увеличения ППР. Первый раз ППР незначительно увеличилась в начале апреля как в контрольной точке, так и в фоновой точке. Это связано с повышением температуры воздуха выше нуля и началом оттаивания верхних слоев почвы. В начале мая, когда температура воздуха резко поднялась до 10-25 градусов Цельсия выше нуля, глубина оттаивания почвы составила до 1 м. В этот период произошло второе незначительное увеличение ППР. При этом температура горизонта с источником радона все еще оставалась ниже нуля. В связи с этим динамика увеличения ППР в контрольной и фоновой точках была сравнительно одинаковой. В этот период глубина оттаивания почвы продолжала постепенно увеличиваться. Резкое увеличение ППР в контрольной точке произошло в начале июня, когда. При этом в фоновой точке активность радона не изменилась. С момента начала оттаивания источника радона до момента его полного оттаивания ППР увеличилась примерно в 7-8 раз достигая максимального значения около 240 мБк/(м²·с). Далее активность радона не изменялась, и эксперимент был остановлен. Флуктуации ППР после полного оттаивания источника радона были связаны с погодными явлениями (дождевые осадки) и изменениями характеристик почвы (влажность).

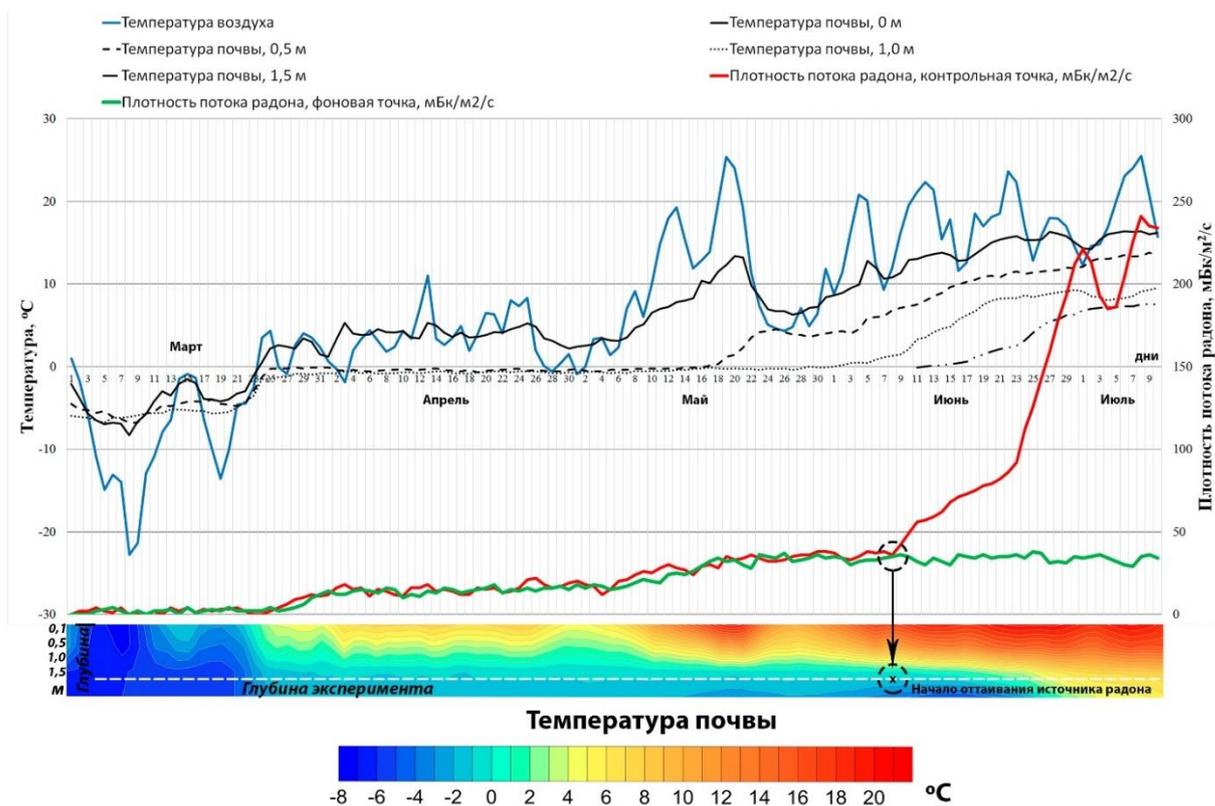


Рисунок 4.7 – Временные колебания ППР и температуры почвы и атмосферного воздуха

Несмотря на очевидный характер зависимости ППР от температуры окружающего воздуха и почвы, был проведен статистический анализ полученных данных и построена корреляционная матрица (Таблица 4.4). По результатам корреляционного анализа выявились сильные и очень сильные связи между ППР в контрольной точке и температурами почвы на глубине 0,5 м ($R=0,86$) на глубине 1,0 м ($R=0,87$) и на глубине 1,5 м ($R=0,98$). При этом теснота связи уменьшается с температурой на поверхности почвы ($R=0,75$) и температурой воздуха ($R=0,61$). Это говорит о том, что по большей части ($R^2=0,96$) варьирование ППР в контрольной точке было обусловлено оттаиванием источника радона на глубине 1,6 м. В фоновой точке наоборот наиболее тесная связь наблюдается с температурой на поверхности почвы ($R=0,91$). При этом отсутствует влияние изменения температуры на глубине 1,5 м.

Таблица 4.4 – Корреляционная матрица радиационных и физических параметров эксперимента

| | $T_{\text{возд}}$ | $T_{\text{почвы, 0м}}$ | $T_{\text{почвы, 0,5м}}$ | $T_{\text{почвы, 1,0м}}$ | $T_{\text{почвы, 1,5м}}$ | ППР контр | ППР фон |
|--------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|---------|
| $T_{\text{возд}}$ | 1 | | | | | | |
| $T_{\text{почвы, 0м}}$ | 0,93 | 1 | | | | | |
| $T_{\text{почвы, 0,5м}}$ | 0,80 | 0,93 | 1 | | | | |
| $T_{\text{почвы, 1,0м}}$ | 0,79 | 0,92 | 0,97 | 1 | | | |
| $T_{\text{почвы, 1,5м}}$ | 0,04 | 0,78 | 0,92 | 0,81 | 1 | | |
| ППР контр | 0,61 | 0,75 | 0,86 | 0,87 | 0,98 | 1 | |
| ППР фон | 0,83 | 0,91 | 0,85 | 0,79 | -0,01 | 0,62 | 1 |

Результатом факторного анализа стало выделение основных факторных нагрузок отдельно для весеннего и летнего периодов, представленных в Таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Факторный анализ распределение ППР в весенний период и летний период

| Параметр | Весенний период (март – май) | | | Летний период (июнь – июль) | | |
|---------------|------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|
| | Фактор 1 (86,3%) | Фактор 2 (6,6%) | Фактор 3 (4,9%) | Фактор 1 (62,1%) | Фактор 2 (21,8%) | Фактор 3 (9,9%) |
| Т возд | 0,88 | 0,34 | 0,31 | 0,09 | 0,85 | 0,48 |
| Т почвы, 0м | 0,97 | 0,15 | 0,07 | 0,88 | 0,26 | 0,24 |
| Т почвы, 0,5м | 0,94 | -0,08 | -0,28 | 0,97 | -0,07 | 0,01 |
| Т почвы, 1,0м | 0,91 | 0,23 | -0,31 | 0,92 | -0,23 | 0,13 |
| ППР конт | 0,94 | -0,29 | 0,12 | 0,93 | 0,02 | -0,27 |
| ППР фон | 0,93 | -0,33 | 0,10 | 0,08 | -0,83 | 0,53 |
| Т почвы, 1,5м | - | - | - | 0,96 | 0,02 | -0,19 |

В целом результаты факторного анализа подтверждают результаты корреляционного анализа. В весенний период выделяется один фактор с нагрузкой 86,3 % с вовлечением всех исследованных параметров, кроме температуры почвы на глубине 1,5 м. Отмечается схожесть изменений ППР в фоновой и контрольной точках, обусловленных потоком радона исключительно из верхних горизонтов почвы.

В июне и июле между точками измерения наблюдается значительная разница – в 6-8 раз. ППР в июле в контрольной точке достигает 238 мБк/(м²·с), тогда как максимальная ППР в фоновой – 36 мБк/(м²·с). В факторном анализе ППР в контрольной точке и фоновой также связаны с разными факторами. ППР в контрольной точке объединена в первый фактор с температурами почвы с нагрузкой 62,1 %. ППР в фоновой точке и температура воздуха объединены во второй фактор с нагрузкой 21,8 %. Разный характер поведения радона в контрольной и фоновой точках указывает на значительное влияние источника радона на его поступление на поверхность земли.

По результатам эксперимента и его статистического анализа было показано, что изменение радоновой обстановки может происходить при изменении мерзлотных условий в геологической среде. Предполагается, что это может быть связано с физическими свойствами льда и мерзлых пород. И в первую очередь это касается пористости льда, которая зачастую не превышает нескольких процентов (Puchkov, 2022). В свою очередь пористость будет оказывать влияние на эманирование породы. В связи с этим можно предположить, что эманирование породы в ее мерзлом состоянии будет намного ниже, чем в оттаявшем состоянии.

Как уже ранее упоминалось в настоящей работе, необходимость исследования влияния ММП и их деградации на потоки радона связана с тем, что большая часть территории России, особенно это касается Арктической зоны РФ, находится в зоне вечной мерзлоты (Елисеев, 2019, Puchkov, 2021, Streletskiy, 2021, 2023). При этом отдельные территории, в пределах которых распространены ММП, характеризуются неблагоприятным радиогеохимическим фоном в связи с выходом к поверхности руд с повышенным содержанием естественных радионуклидов (Астахов и др., 2015, Puchkov, 2021). Для понимания изменения радоновой обстановки в условиях таких территорий с мощностью ММП, например, до 4 метров был проведен теоретический расчет диффузии радона из породы в мерзлом состоянии и в оттаявшем состоянии (Рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Диффузия радона в условиях мерзлой и оттаявшей породы

Для расчета диффузии было взято следующее уравнение (Маренный, 2016):

$$C(x) = C_{Ra} \cdot K_{эм} \cdot \rho \cdot (1 - e^{-\sqrt{\frac{\lambda}{D}}x}), \quad (4.1)$$

где $C(x)$ – функция распределения радона в свободном состоянии вдоль вертикального профиля породы, Бк·м⁻³;

C_{Ra} – удельная активность радия-226 в породе, Бк·кг⁻¹;

$K_{эм}$ – коэффициент эманации в породе, относит. ед.;

ρ – плотность породы, кг·м⁻³;

λ – постоянная распада радона, 1·с⁻¹;

D – коэффициент диффузии радона в породе, м²·с⁻¹.

В расчете данного уравнения были использованы полученные ранее радиационные и физические параметры слоя с источником радона. Но при этом для мерзлого состояния был использован коэффициент эманирования, равный 1 %. Такое значение коэффициента эманирования предполагает отсутствие радона в свободном состоянии и присутствие его в поровом пространстве льда.

Согласно Рисунку 4.8 в мерзлых условиях концентрация радона в почвенном воздухе может достигать не более 2000 Бк/м³. При полном оттаивании таких пород концентрация радона увеличится в 20 раз и может достигнуть 43000 Бк/м³, что приведет к увеличению концентрации радона в приземном слое воздуха за счет конвективного переноса.

4.3 Выводы

Наглядный характер изменения радоновой обстановки в рамках поставленного эксперимента и полевых исследований, статистический и факторный анализы полученных результатов, а также симуляция диффузионного распределения в условиях деградации вечной мерзлоты, показывают, что ММП является значительным «экраном» для потоков газа, в том числе радиоактивных, которым является радон. Исходя из этого, поступательное оттаивание ММП, особенно на территориях с неблагоприятным радиогеохимическим фоном, может усугубить радоновую обстановку с превышением установленных законодательством нормативов в жилых и производственных помещениях и на застраиваемых территориях. Эти обстоятельства приводят к необходимости более подробного исследования поставленной проблемы с возможным пересмотром нормативных правовых актов в области строительства, инженерно-экологических изысканий, а также радиационной безопасности по контролю за радоном.

5. ИЗМЕНЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

5.1 Оценка содержания естественных радионуклидов в донных осадках рек Колва и Уса

Нефтегазогеологическое районирование бассейна реки Колва. Одной из основных особенностей бассейна реки Колва является наличие значительного количества нефтегазовых месторождений. В нефтеносном отношении исследуемая территория относится к Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (далее – ТП НПП), которая располагается на северо-востоке европейской части России и в административном отношении включает территорию Республики Коми, Ненецкого автономного округа и части Пермской области (Тимонина, 2018, Отчет, 2005). В осадочном чехле провинции выделены 8 нефтегазоносных комплексов (Прищеп, 2014). На текущий момент в сухопутной части провинции открыто свыше 268 месторождений углеводородов, из них свыше 200 – нефтяные (Прищеп, 2020). Основными нефтегазоносными областями (далее – НГО) являются Северо-Предуральская, Печоро-Колвинская, Хорейверская и Ижма-Печорская, в пределах которых сосредоточено 75 % всего нефтегазоносного потенциала Тимано-Печорской провинции (Прищеп, 2020). На Рисунке 5.1 приведена карта-схема центральной и северной частей ТП НПП, на которой нанесены основные нефтегазовые месторождения. Месторождения бассейна реки Колва относятся к Печоро-Колвинской и Хорейверской НГО (Отчет, 2005, Белонин, 2004, Мотузов, 1999). Наиболее крупными нефтяными месторождениями, располагающимися в бассейне реки Колва являются Хяргинское, Возейское, Ошское и Усинское.

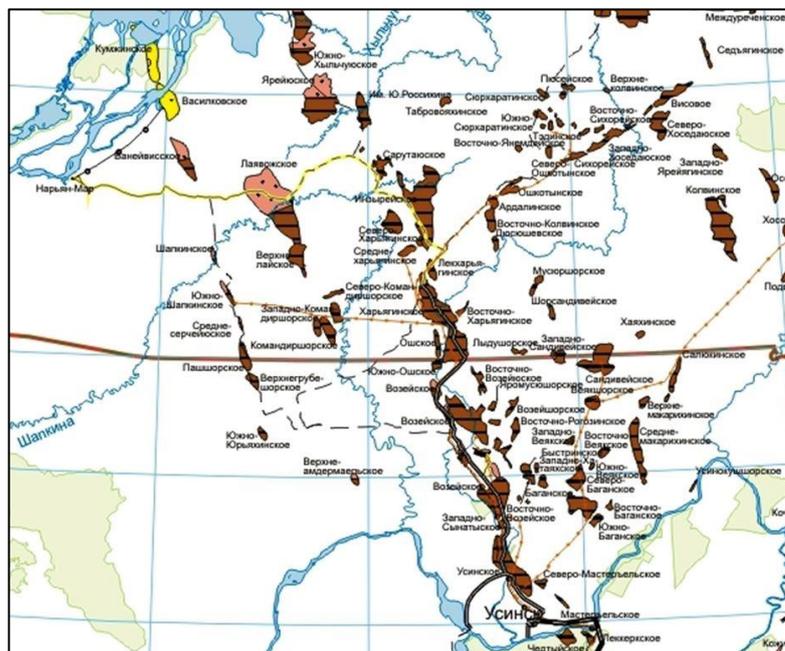


Рисунок 5.1 – Центральная и северная части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (Отчет, 2005)

Радиационные и физико-химические характеристики донных осадков рек Колва и Уса. Разведка и разработка нефтегазовых месторождений в Тимано-Печорской провинции наносит значительный ущерб природной среде и человеку. Согласно результатам мониторинга,

ежегодно публикующимся в докладах о состоянии окружающей среды Республики Коми, качество поверхностной воды реки Колва по состоянию на 2019 год оценивается как «грязные», тогда как в 2010 году качество воды было лучше и соответствовало классу 3а «загрязненные» (О состоянии окружающей среды, 2012, 2020, Пудовкина, 2020). Оценка качества воды проводится с использованием комплексных оценок УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды), который рассчитывается на основе наблюдений за рядом загрязняющих веществ. Согласно докладу (О состоянии окружающей среды, 2020) в водных объектах проводится мониторинг за следующими показателями и загрязнителями: БПК₅, ХПК, нефтепродукты, Fe, Mn, Al, Cu, Zn. При этом в перечне определяемых показателей отсутствуют радиационные параметры, значения которых могут оказаться повышенными в связи с нефтегазовой деятельностью в бассейне реки. Вероятно, это связано с отсутствием должного внимания в России на проблему образования и обращения с отходами с повышенным содержанием естественных радионуклидов (Лебедев, 2016), которые в свою очередь могут накапливаться и мигрировать в объекты окружающей среды (Лебедев, 2016, Кубарев, 2012, Юдин, 2004, Хайкович, 2003), в том числе за счет усиления попутными (пластовыми) водами природных процессов вертикальной миграции радионуклидов (Криночкина, 2021). Учитывая многочисленность месторождений в бассейне реки Колва и значительное количество фактов аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, особую актуальность приобретают радиоэкологические исследования и мониторинг объектов окружающей среды.

Основной целью данной работы является оценка содержания естественных радионуклидов Ra-226, Ra-228, Th-232, K-40, Pb-210 в донных осадках рек Колва и Уса. Для выявления источников и закономерностей накопления радионуклидов в донных осадках дополнительно оценивались суммарные удельные активности по альфа- (Ауд. альфа), бета-излучениям (Ауд. бета), содержание нефтепродуктов, органического вещества и карбонатов, а также гранулометрический состав осадков.

Результаты исследований радиационных характеристик донных осадков рек Колва и Уса приведены в Таблице 5.1, Рисунках 5.2-5.4 и в Приложении В.

Таблица 5.1 – Радиационные характеристики донных осадков рек Колва и Уса

| Река | | Удельная активность, Бк/кг | | | | | | |
|-------|--------|----------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|------|
| | | Ауд. бета | Ауд. альфа | Ra-226 | Ra-228 | Pb-210 | Th-232 | K-40 |
| Колва | Мин. | 260 | 120 | 4,8 | 7,8 | 8,0 | 5,2 | 179 |
| | Макс. | 840 | 500 | 89,0 | 34,0 | 36,0 | 32,5 | 600 |
| | Средн. | 595 | 301 | 22,2 | 20,2 | 19,9 | 19,3 | 441 |
| Уса | Мин. | 160 | 130 | 5,0 | 5,5 | 7,0 | 5,4 | 126 |
| | Макс. | 640 | 340 | 25,4 | 29,5 | 31,0 | 25,9 | 500 |
| | Средн. | 360 | 193 | 12,0 | 12,8 | 14,5 | 12,2 | 280 |

По изученным радиационным характеристикам донные осадки реки Колва отличаются от донных осадков реки Уса. В соответствии с Таблицей 5.1 наиболее высокие активности естественных радионуклидов отмечаются в донных осадках реки Колва, тогда как в реке Уса уровни содержания радионуклидов схожи со значениями в целом по северо-западному региону России (Yakovlev, 2021).

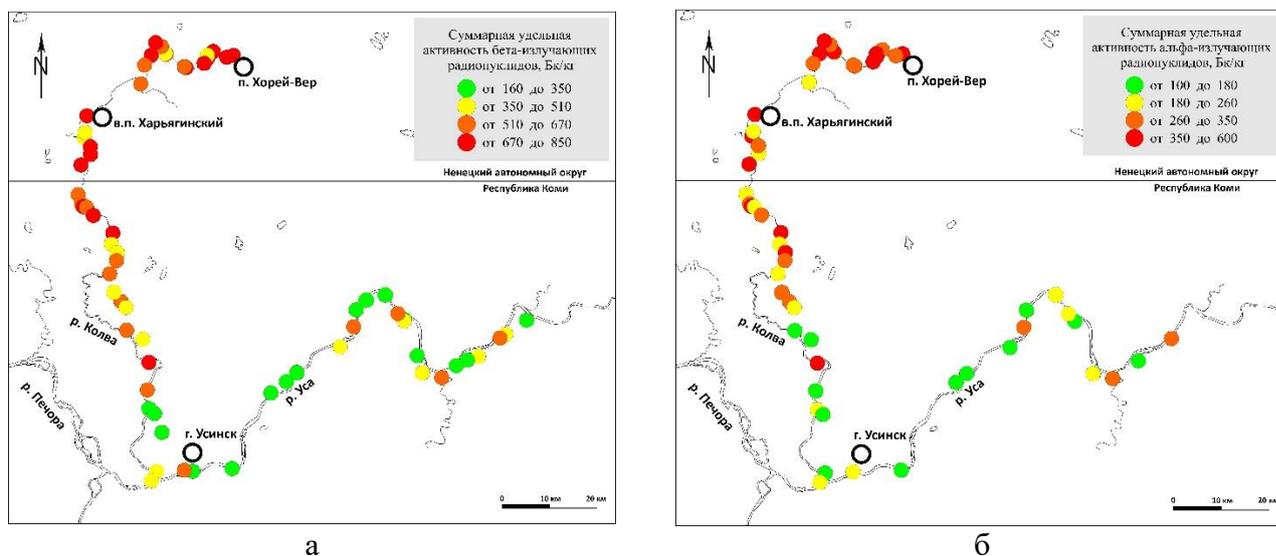


Рисунок 5.2 – Суммарные удельные активности по альфа (а) и бета (б) излучениям в донных осадках рек Колва и Уса

Согласно Рисунок 5.2 суммарные удельные активности по альфа-, бета-излучениям в донных осадках реки Колва снижаются по направлению к устью реки, а в реке Уса находятся на фоновом уровне. Суммарная бета-активность донных осадков реки Колва варьирует в диапазоне от 260 до 840 Бк/кг при среднем значении 595 Бк/кг, в реке Уса – от 160 до 640 Бк/кг при среднем значении 360 Бк/кг. Суммарная бета-активность в основном обусловлена наличием в донных осадках К-40. Распределение этих двух параметров схожи (Рисунок 5.2-а и 5.3-б), а коэффициент корреляции составляет 0,95 (Рисунок 5.6). Суммарная альфа-активность донных осадков реки Колва варьирует в диапазоне от 120 до 500 Бк/кг при среднем значении 301 Бк/кг, в реке Уса – от 130 до 340 Бк/кг при среднем значении 193 Бк/кг. Суммарная альфа-активность в основном обусловлена продуктами распада радионуклидов радиоактивных рядов урана и тория, что находит свое отражение в результатах корреляционного анализа. Согласно корреляционной матрице (Рисунок 5.6) наиболее тесные связи суммарной альфа-активности наблюдаются с радионуклидами Pb-210 ($R=0,56$), Ra-228 ($R=0,51$) и суммарной бета-активностью ($R=0,53$). Несмотря на то, что последние три параметра связаны с бета-излучением, они являются родоначальниками ряда альфа-излучающих радионуклидов (Po-210, Th-228, Ra-224 и т.д.), с которыми зачастую находятся в радиоактивном равновесии (Титаева, 2000).

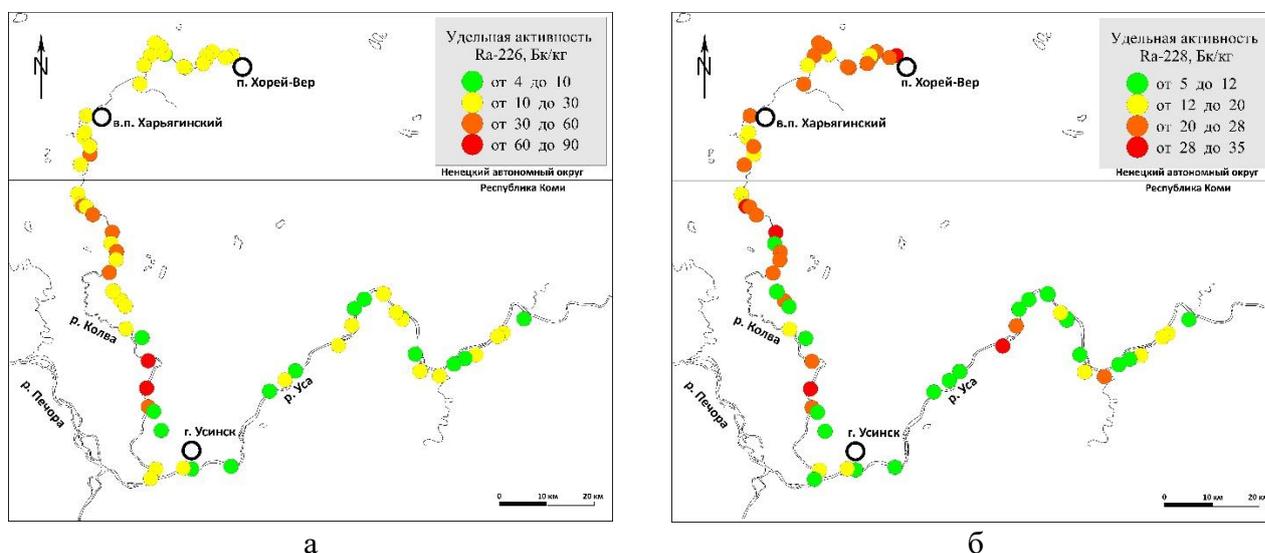


Рисунок 5.3 – Удельные активности Ra-226 (а) и Ra-228 (б) в донных осадках рек Колва и Уса

Распределения радионуклидов Ra-226 и Ra-228 в донных осадках рек Колва и Уса схожи. Согласно Рисунку 5.3 наблюдаются повышенные уровни содержания Ra-226 и Ra-228 в донных осадках реки Колва на участке от в.п. Харьягинский и далее к устью реки. Удельная активность Ra-226 в этой реке варьирует в диапазоне от 4,8 до 89,0 Бк/кг со средним значением 22,2 Бк/кг. В целом среднее значение удельной активности Ra-226 не превышает кларковых значений для земной коры (36,8 Бк/кг) (Смыслов и др., 1979, Рихванов, 2009) и среднемировых значений (32,0 Бк/кг) (UNSCEAR, 2008), но в отдельных пробах донных осадков содержание данного радионуклида превышает указанные значения в 2-3 раза. Донные осадки реки Уса отличаются низкими значениями содержания Ra-226 в диапазоне от 5,0 до 25,4 Бк/кг со средним значением 12,0 Бк/кг.

Содержание Ra-228 в донных осадках рек Колва и Уса несколько ниже содержания Ra-226. Для реки Колва – диапазон содержания от 7,8 до 34,0 Бк/кг со средним значением 20,2 Бк/кг, а для реки Уса – диапазон от 5,5 до 29,5 Бк/кг со средним значением 12,8 Бк/кг.

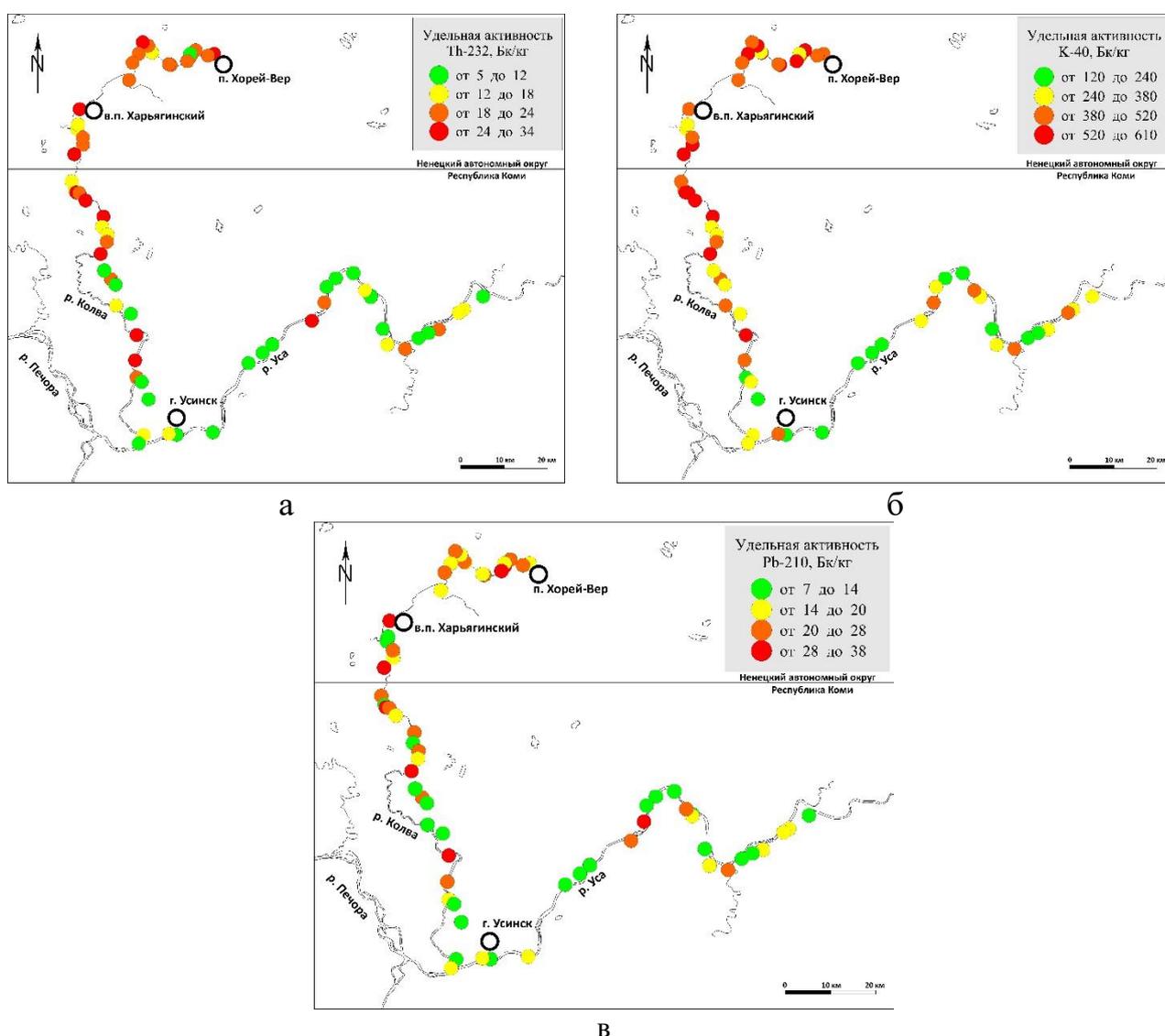


Рисунок 5.4 – Удельные активности Th-232 (а), К-40 (б) и Рb-210 (в) в донных осадках рек Колва и Уса

Распределения радионуклидов Th-232, К-40 и Рb-210 подобны распределениям суммарных удельных активностей по альфа- и бета-излучениям в силу того, что суммарные

активности обусловлены данными радионуклидами (Рисунок 5.4). Наибольшее содержание радионуклидов Th-232, K-40 и Pb-210 отмечается в верховьях реки Колва, а также в районе в.п. Харьягинский. В устье реки Колвы активность естественных радионуклидов снижается до фоновых значений.

В реке Колва содержание Th-232 варьирует в диапазоне от 5,2 до 32,5 Бк/кг со средним значением 19,3 Бк/кг, для реки Уса – диапазоне несколько ниже – от 5,4 до 25,9 Бк/кг со средним значением 12,2 Бк/кг. В соответствии с (UNSCEAR, 2008) среднемировое значение удельной активности Th-232 в донных осадках составляет 45 Бк/кг. Полученные данные по содержанию Th-232 в реке Колва и Уса не превышают данного значения.

Содержание K-40 в Колве оценивается в диапазоне от 179 до 600 Бк/кг со средним значением 441 Бк/кг, для Усы – диапазон от 126 до 500 Бк/кг со средним значением 280 Бк/кг. В целом содержание K-40 находится на фоновом уровне, но в отдельных точках опробования максимальные значения данного радионуклида превышают среднемировые значения – 412 Бк/кг (UNSCEAR, 2008).

Содержание Pb-210 в Колве оценивается в диапазоне от 8,0 до 36,0 Бк/кг со средним значением 19,9 Бк/кг, для Усы – диапазон от 7,0 до 31,0 Бк/кг со средним значением 14,5 Бк/кг. Таким образом, несмотря на повышенные уровни содержания Ra-226 в донных осадках, удельная активность Pb-210 находится на достаточно низком уровне. Согласно литературным данным содержание Pb-210 в донных осадках рек может достигать 100 Бк/кг и выше (Федоров и др., 2017, Григорьев и др., 2020, Saili et al., 2018).

В Таблице 5.2 приведены средние значения удельных активностей Ra-226, Th-232 и K-40 в донных осадках наиболее крупных рек и озер Северо-Запада России и среднемировые значения. Среднее содержание Ra-226 и K-40 в донных осадках реки Колва выше, чем в донных осадках наиболее крупных рек Архангельской области и Ненецкого автономного. Содержание Th-232, наоборот, снижается в ряду Печора>Северная>Двина>Колва>Уса>Золотица.

Таблица 5.2 – Средние значения содержаний естественных радионуклидов в донных отложениях водоемов Северо-Запада России

| Район исследования | Удельная активность, Бк/кг | | | Источник (ссылка) |
|---|----------------------------|--------|-------|------------------------------|
| | Ra-226 | Th-232 | K-40 | |
| Река Печора, Ненецкий автономный округ | 18,7 | 34,0 | 373,0 | Yakovlev et al, 2021 |
| Река Северная Двина, Архангельская область | 15,0 | 25,0 | 360,0 | Киселев, 1999, Баженов, 2014 |
| Река Золотица, Архангельская область | 9,0 | 11,3 | 321,6 | Yakovlev et al., 2020 |
| Наиболее крупные озера Северо-Запада России (Карелия и Архангельская область) | 20,0 | 21,8 | 357,5 | Киселев и др., 2017 |
| Река Колва, Ненецкий автономный округ | 22,2 | 19,3 | 441,0 | Согласно настоящей работе |
| Река Уса, Ненецкий автономный округ | 12,0 | 12,2 | 280,0 | Согласно настоящей работе |
| Среднемировые значения | 32,0 | 45,0 | 412,0 | UNSCEAR, 2008 |

Сравнение полученных результатов распределения удельной активности Ra-226, Th-232 и K-40 для реки Колва с ранее проведенными исследованиями донных осадков в целом на территории Большеземельской тундры (Чернов, 1992) показывает, что превышение удельной активности по сравнению с результатами 1992 года наблюдаются только для Ra-226 (по максимальным значениям). Согласно отчета удельная активность Ra-226 в основном варьировала в диапазоне от минимально-измеряемых значений (<4,3) до 30,0 Бк/кг, Th-232 – в диапазоне от

минимально-измеряемых значений ($<2,3$) до 35,0 Бк/кг, К-40 – в диапазоне от 250 до 700 Бк/кг. При этом согласно Таблицы 1.4 отчета (Чернов, 1992) на территории Большеземельской тундры встречались отдельные участки (точки опробования в отчете не приведены) с повышенным содержанием радионуклидов в донных осадках (для Ra-226 – до 58,8 Бк/кг, для Th-232 – до 62,7 Бк/кг, для К-40 – до 969,7 Бк/кг). Природа данных аномалий авторами отчета не приведена.

Дополнительную информацию о закономерностях распределения радионуклидов в донных осадках может оценка изотопных отношений Ra-226/Ra-228 и Ra-226/Pb-210.

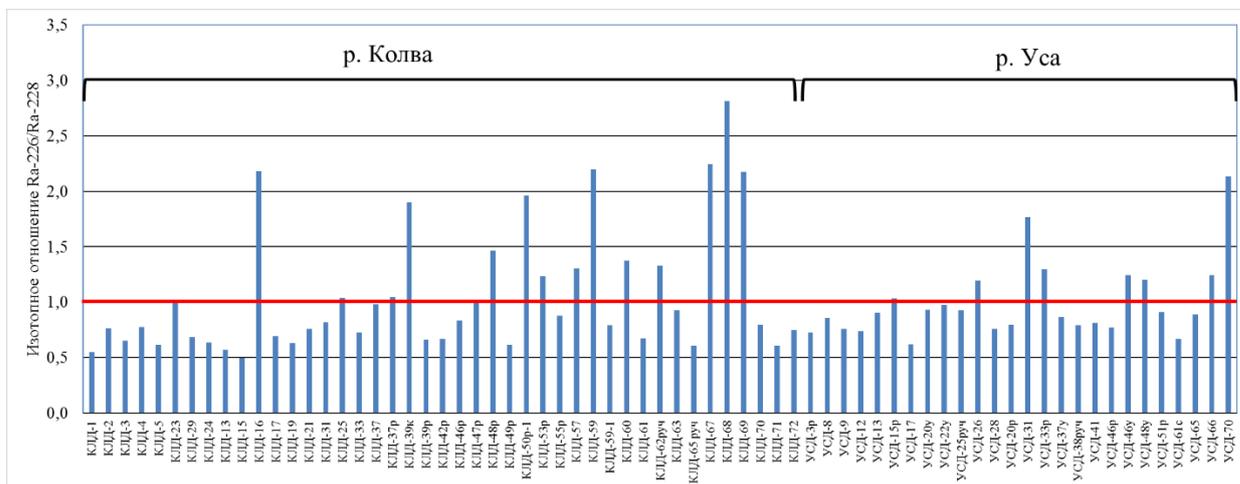


Рисунок 5.5 – Изотопное отношение Ra-226/Ra-228 в донных осадках рек Колва и Уса

Согласно Рисунку 5.5 значения изотопного отношения Ra-226/Ra-228 изменяются в диапазоне от 0,49 до 2,99 отн. ед. со средним значением 1,03 отн. ед. Повышенные значения изотопного отношения выше 1,0 отн. ед. наблюдается в тех же точках, где выявлены высокие значения удельной активности Ra-226, что также указывает на дополнительный источник поступления Ra-226 помимо его природного происхождения. Вероятно, это объясняется тем, что степень подвижности у Ra-228 выше, чем у Ra-226 (Bai and Wan, 1998). И несмотря на то, что оба радионуклида присутствуют в кристаллических решетках глинистых минералов, карбонатные и обменные формы содержат больше Ra-228, чем Ra-226 (Dai et al., 2019).

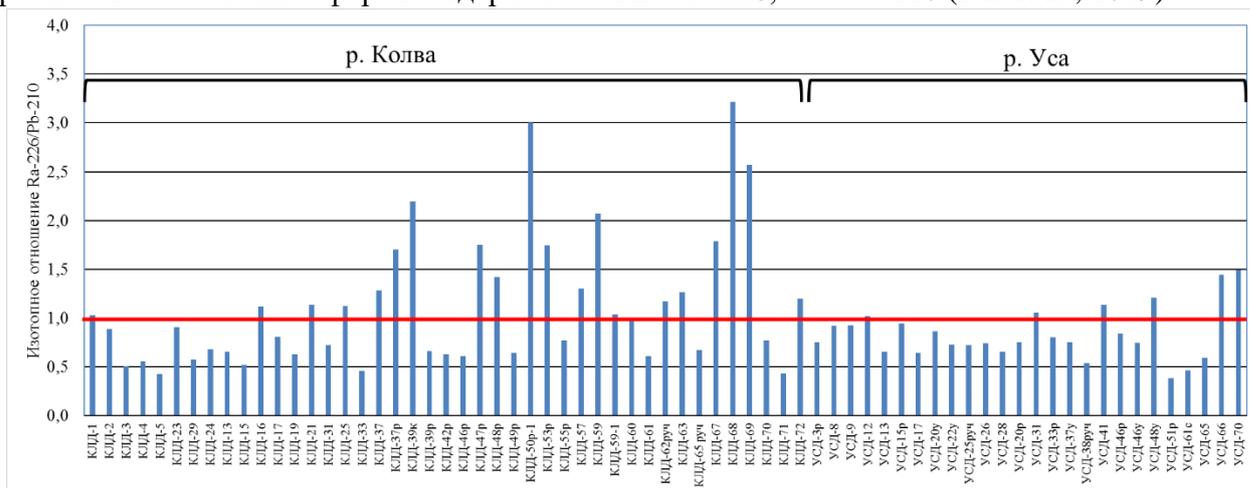


Рисунок 5.6 – Изотопное отношение Ra-226/Pb-210 в донных осадках рек Колва и Уса

Похожая картина наблюдается и для изотопного отношения Ra-226/Pb-210 (Рисунок 5.6). Данный параметр варьирует от 0,38 до 3,42 со средним значением 1,02. Так же, как и с предыдущим изотопным отношением повышенные значения Ra-226/Pb-210 выше 1,0 отн. ед. наблюдается в тех же точках, где выявлены высокие значения удельной активности Ra-226.

Можно сделать вывод, что избыточное поступление Ra-226 в донные осадки относительно свежее, потому что Pb-210 как продукт его распада не успел накопиться до тех же соотношений, что встречаются в целом по остальным пробам донных осадков. Этот же вывод подтверждается тем, что активная нефтедобыча в регионе началась сравнительно недавно в конце 90-х – начале 2000-х годов (Онякова, 2019). Высокие значения изотопного отношения Ra-226/Pb-210 показаны и для нефтешламмов бассейна реки Колва (Пучков и др., 2022, раздел 5.2 настоящей работы).

Для выявления причин повышения удельных активностей естественных радионуклидов в донных осадках реки Колва по сравнению с фоновыми значениями, а также с результатами исследований 1992 года, были проведены исследования распределения содержания нефтепродуктов, физико-химических параметров (органического вещества, карбонатов, зольности) и гранулометрического состава донных осадков.

Результаты исследований физико-химических характеристик донных осадков рек Колва и Уса приведены в Таблице 5.3 в Приложении В. Гранулометрический состав донных осадков рек Колва и Уса подробно описан в главе 3 настоящей работы.

Таблица 5.3 – Физико-химические характеристики донных осадков рек Колва и Уса

| Река | | Органическое вещество, % | Зольность, % | Карбонаты, % | Нефтепродукты, мг/кг |
|-------|--------|--------------------------|--------------|--------------|----------------------|
| Колва | Мин. | 0,59 | 87,6 | 0,32 | 0,6 |
| | Макс. | 12,43 | 99,4 | 2,60 | 101,2 |
| | Средн. | 3,03 | 97,0 | 1,14 | 16,7 |
| Уса | Мин. | 0,32 | 96,5 | 0,18 | 0,6 |
| | Макс. | 3,47 | 99,7 | 2,11 | 2,8 |
| | Средн. | 1,02 | 99,0 | 0,63 | 0,9 |

Согласно Таблицы 5.3 донные осадки реки Колва характеризуются более высоким содержанием органического вещества (до 12,43 %), карбонатов (до 2,6 %), а также нефтепродуктов (до 101,2 мг/кг) по сравнению с рекой Уса. Особого внимания заслуживает параметр содержания в донных осадках нефтепродуктов, поскольку они напрямую указывают на влияние нефтегазовой деятельности на объекты окружающей среды (Валиев, 2020, Лаптева, 2019, Копылов, 2021), в том числе и на их радиоактивное загрязнение (Копылов, 2021, Федоров, 2017, Лебедев, 2016). Пространственное распределение нефтепродуктов в донных осадках рек Колва и Уса с указанием зон влияния нефтяных месторождений на наиболее загрязненных участках приведены на Рисунке 5.7.

В р. Уса содержание нефтепродуктов в донных отложениях изменялось незначительно от 0,62 до 1,25 мг/кг. Максимальная концентрация (1,25 мг/кг) была отмечена на станции, которая находится вблизи г. Усинска.

Иная картина наблюдалась в р. Колва, в бассейне которой находятся многочисленные нефтяные месторождения. В ручьях возле п. Хорей-Вер концентрация нефтепродуктов варьировала в широком диапазоне 0,87-61,71 мг/кг. В верхнем течении в районе Харьягинского нефтяного месторождения концентрация исследуемого поллютанта составляла 65,5 мг/кг. Диапазон содержания нефтепродуктов в районе Ламбейшорского нефтяного месторождения около в.п. Строгановка составлял 22,80-81,90 мг/кг, при среднем значении 54,73 мг/кг. Максимальная концентрация (101,2 мг/кг) нефтепродуктов в донных отложениях в р. Колва была зафиксирована в среднем течении на станции, которая располагалась в районе Возейского нефтяного месторождения (Рисунок 5.8). По полученным результатам в нижнем течении концентрация исследуемого загрязняющего вещества изменялась от 41,36 до 73,45 мг/кг. В устье реки содержание нефтепродуктов снижалось до значений 10,04 мг/кг.

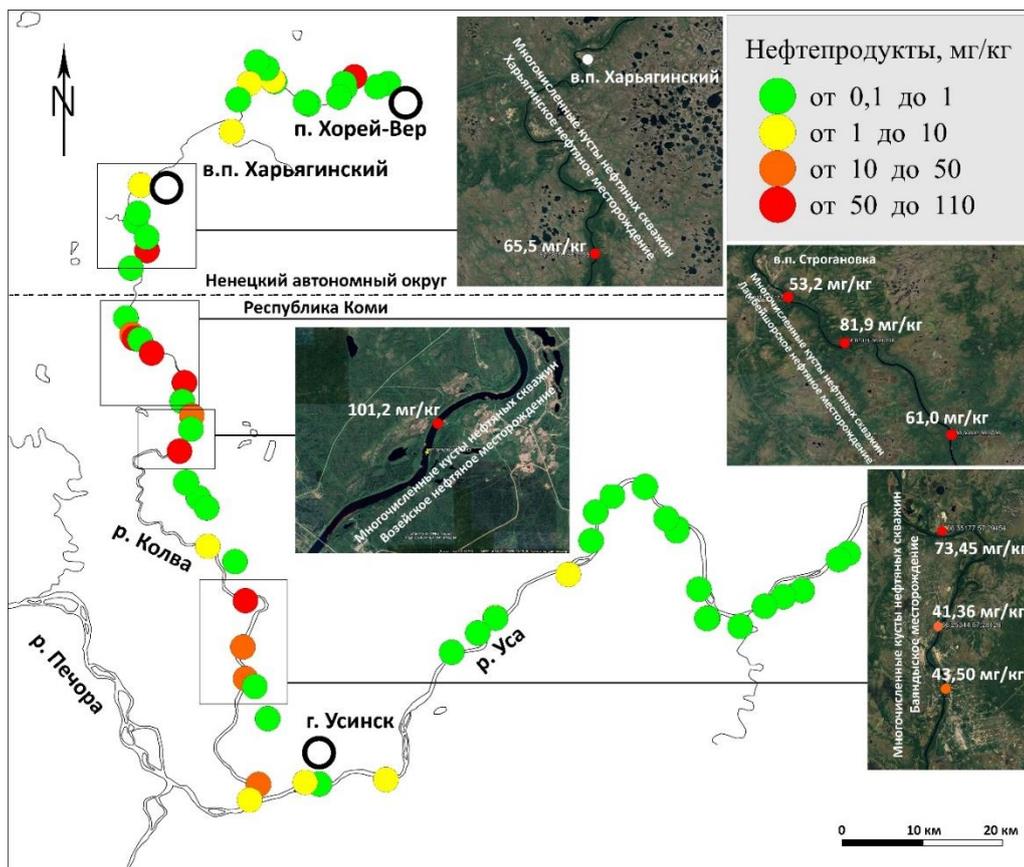


Рисунок 5.7 – Содержание нефтепродуктов в донных осадках рек Колва и Уса и зоны влияния нефтяных месторождений

Согласно корреляционной диаграмме, представленной на Рисунке 5.9, отмечаются слабые связи содержания нефтепродуктов с мелкодисперсными и илистыми фракциями донных отложений ($R=0,38$ для фракции 0,45 мкм и $R=0,35$ для фракции менее 0,45 мкм). Учитывая, что исследованные донные отложения реки Колва представлены в основном крупными фракциями 250 мкм (22 %), 100 мкм (39 %) и более мелкой фракцией 45 мкм (16 %) (Рисунок 3.11 раздела 3 настоящей работы), для которых не характерно высокое содержание нефтепродуктов (Лукин, 2000), можно говорить о прямом поступлении нефтепродуктов в речную экосистему.

Результаты исследований нефтепродуктов показали, что их содержание в донных отложениях изученных рек, а также в их притоках, остаются сравнительно низкими. Отмечаются отдельные точки опробования реки Колва, в которых содержание нефтепродуктов резко контрастирует (до 101,2 мг/кг) по сравнению с результатами в целом для рек Колва и Уса. Сравнение полученных результатов с фоновыми не представляется возможным в связи с отсутствием последних. Фоновые концентрации можно установить лишь по ранее опубликованным данным в целом по региону и в мире. Так, согласно (Лукин, 2000) в качестве расчетной средней фоновой концентрации нефтепродуктов в донных отложениях принимается значение 20 мг/кг. Исходя из этого, результаты исследований донных отложений реки Колва показали, что отдельные значения превышают фоновые до 4-5 раз.

В ноябре 1994 г. Региональным Центром "Мониторинг Арктики" был проведен отбор проб донных отложений в бассейнах рек Колва и Уса после крупной аварии (Краткая справка..., 1994). Наиболее высокие уровни загрязнения донных отложений нефтепродуктами в бассейне Колвы зафиксированы в руч. Пальмер-Шор – 14000 мг/кг, в устье Колвы – 520 мг/кг, в ручье, соединяющем оз. Посейты с Колвой – 3000 мг/кг, в остальных точках – <100 мг/кг (Лукин, 2000). Но уже к 1996 году содержание нефтепродуктов в донных отложениях реки Колва значительно

снизилось до 5-120 мг/кг (Лукин, 2000), чему вероятно способствовал снос загрязненных нефтепродуктами частиц вниз по течению или перекрытие свежими речными наносами.

Следует отметить, что содержание нефтепродуктов в донных отложениях российскими нормативными документами не регламентируется. Имеются отдельные документы, регламентирующие порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами или направленные на гигиеническую оценку качества почв населенных мест (Васильченко, 2015). В этих документах содержание нефтепродуктов до 100 мг/кг в почвах и грунтах считается допустимым уровнем, чему соответствуют и результаты настоящего исследования.

Статистический анализ данных исследований донных осадков рек Колва и Уса. По полученным результатам оценки радиационных и физических параметров построена корреляционная матрица взаимосвязей между ними (Рисунок 5.9). В матрице приняты следующие обозначения: Ауд. бета – суммарная удельная активность бета-излучающих радионуклидов; Ауд. альфа – суммарная удельная активность альфа-излучающих радионуклидов, «число» мм – размер гранулометрической фракции.

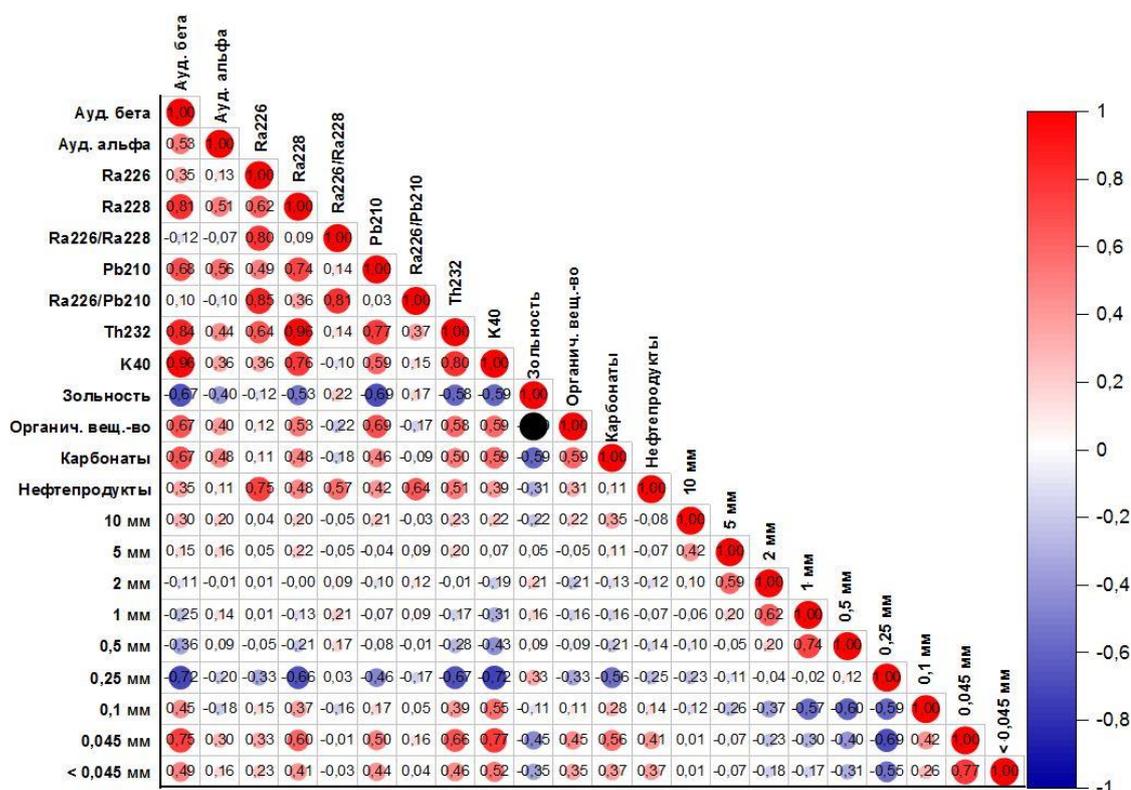


Рисунок 5.9 – Корреляционная матрица взаимосвязей между радиационными, гранулометрическими и физико-химическими параметрами в донных осадках рек Колва и Уса

Результаты корреляционного анализа показывают, что избыточное накопление Ra-226 в донных осадках тесно связано с содержанием в них нефтепродуктов ($R=0,74$), что указывает на поступление в поверхностные воды отходов деятельности нефтегазовых предприятий и последующее радионуклидное загрязнение. Оценка взаимосвязей повышенного содержания естественных радионуклидов с углеводородным загрязнением (разливы сырой и товарной нефти, нефтепродуктов, буровых сточных вод и т.д.) в компонентах природной среды ранее отмечались во многих работах (Ахметов, 2011, Криночкина, 2021, Минигазимов, 2000, Абдарахманов, 2007, Очкин, 2003, Юдин, 2004, Хайкович, 2003 и т.д.). Так, например, на территории Южного

Предуралья (в пределах Башкортостана) загрязнение почвы нефтью и нефтепромысловыми сточными водами приводит к их техногенной метаморфизации (Ахметов, 2011), в том числе за счет накопления тяжелых металлов и радионуклидов. В Республике Коми в рамках составления геохимических основ масштаба 1:1000000 в Ухто-Ижемском нефтегазоносном районе были выявлены зоны с очень высоким уровнем загрязнения почв и донных отложений тяжелыми металлами, в том числе ураном (Криночкина, 2021). В работе (Миниغازимов, 2000) отмечалось, что радиоактивное загрязнение в Республике Башкортостан фиксировалось в зонах многочисленных прорывов нефтепроводов и водоводов. В районах эксплуатации нефтяных месторождений Ханты-Мансийского автономного округа отмечено накопление Ra-226 в почвах и биоте, которые превышают естественные уровни в десятки раз (Хайкович, 2003).

Связь между содержанием Ra-228 и нефтепродуктами в донных осадках несколько ниже ($R=0,46$), чем у Ra-226. Несмотря на химическое сходство двух изотопов радия и на то, что уровень радиоактивного загрязнения промышленного и технологического оборудования определяется, в первую очередь, изотопами Ra-226 и Ra-228, содержащимися в сопутствующих пластовых водах месторождений (Евстифеева, 2018, Zaidan, 2021), разница между их взаимосвязью с нефтепродуктами может быть связана с разными миграционными особенностями. Как уже было выше указано, степень подвижности у Ra-228 выше, чем у Ra-226 (Bai and Wan, 1998), что в свою очередь вероятно препятствовало аккумулярованию в составе попутных вод и нефтешламов. Представленные результаты оценки радионуклидного состава нефтешламов также показывают, что содержание Ra-228 в нефтешламе значительно ниже, чем Ra-226 (Пучков и др., 2022, раздел 5.2 настоящей работы). Схожие соотношения Ra-226/Ra-228 отходах нефтегазовой промышленности отмечаются и в других работах (Cooper, 2003, Zaidan, 2021).

Гранулометрический состав не оказал влияния на аккумулярование радионуклидов в донных осадках. Единственными тесными связями отличились суммарная удельная активность по бета-излучению с фракцией 45 мкм ($R=0,72$), а также K-40 с этой же фракцией ($R=0,74$). Рядом работ также отмечается тесная связь K-40 с более мелкими фракциями донных отложений (Киселев, 2017, Балыкин, 2019, Салтыков, 2010, Kremenchutskii, 2021) и отсутствие в целом зависимости естественных радиоизотопов от гранулометрического состава грунтов (Шарипова, 2012). Отмечаются средние корреляционные связи между содержанием органического вещества и суммарной бета-активностью ($R=0,62$), удельной активностью Pb-210 ($R=0,64$), Th-232 ($R=0,53$), K-40 ($R=0,53$).

5.2 Гамма-съемка и оценка радионуклидного состава почв, загрязненных нефтепродуктами, на участке Харьягинский – Усинск

Результаты исследований донных отложений реки Колва показали, что на территории бассейна реки имеются техногенные источники поступления естественных радионуклидов в водоем. Такими источниками могут быть разливы нефтепродуктов в результате разгерметизации нефтепроводов, несанкционированные сбросы нефтепродуктов в водоёмы, геологоразведочные работы и пробная эксплуатация скважин, транспортировка, переработка и утилизация нефти и нефтепродуктов, эксплуатация шламонакопителей и других объектов нефтегазовой инфраструктуры (Двадненко, 2017, Булатов, 2021). В бассейне реки Колва основная часть нефтегазовой инфраструктуры располагается на участке автомобильной трассы «87 ОП РЗ 87Р – 001» (Распоряжение №438-р от 30.11.2009) от в.п. Харьягинский до г. Усинск (Рисунок 5.10),

общей протяженностью около 170 км. Результаты экспедиционных работ на данном участке показали наличие локальных мест нефтяных загрязнений почвы и присутствия нефтешламов вне охранных зон нефтепроводов. Всего выявлено 8 участков с наличием нефтяных загрязнений и присутствия нефтешламов.

Результаты гамма-съемки участков с нефтяным загрязнением почвы и присутствием нефтешламов представлены на Рисунке 5.10.

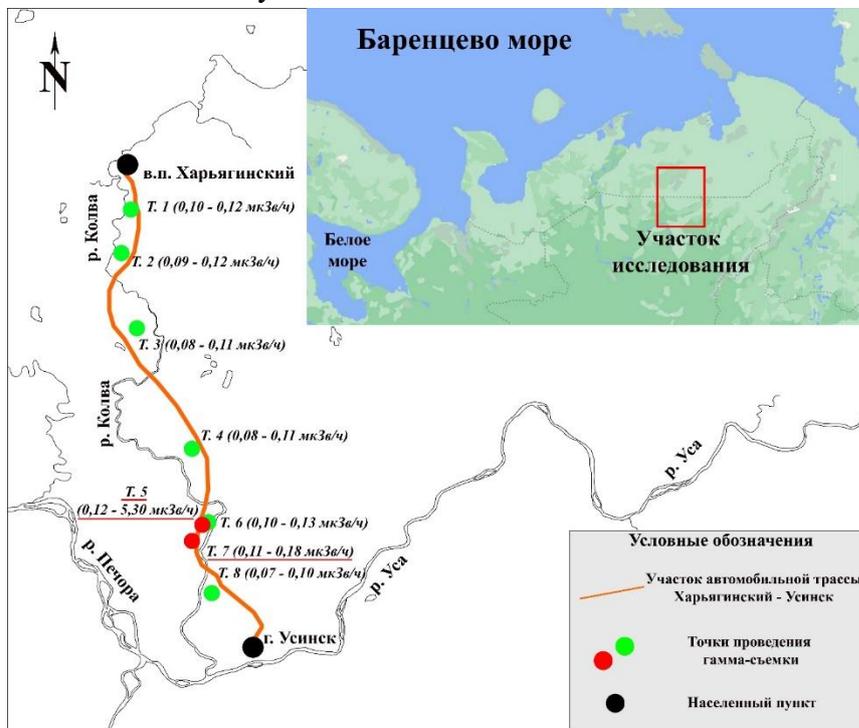


Рисунок 5.10 – Картограмма проведения гамма-съемки в бассейне реки Колвы по маршруту в.п. Харьягинский – г. Усинск

На 2 участках выявлены зоны повышенного уровня гамма-излучения (точки 5 и 7 согласно Рисунку 5.10). В данных точках производился отбор проб для дальнейшего качественного и количественного анализа радионуклидного состава.

В т. 5 обнаружено наличие нефтешлама на поверхности земли вокруг законсервированной скважины с уровнем мощности дозы гамма-излучения от 0,12 до 5,30 мкЗв/ч вплотную от места загрязнения. На данном участке выполнена локальная гамма-съемка местности с применением сцинтилляционного геолого-разведочного прибора СРП-88 с целью оценки пространственного распространения радиоактивного загрязнения. Результаты съемки приведены на рисунке 5.11. Уровень гамма-излучения находится в пределах от 18 до 40 имп./(с*10). Основной участок загрязнения находится в непосредственной близости к законсервированной скважине. Максимальный уровень гамма-излучения наблюдается вплотную от нижней части скважины и составляет 2656 имп./(с*10) (5,30 мкЗв/ч). Распространение загрязнения за пределы участка по результатам гамма-съемки отсутствуют. Отмечается, что территория, на которой располагается законсервированная скважина, огорожена песчаными отвалами со свободным въездом/выездом непосредственно у дороги.

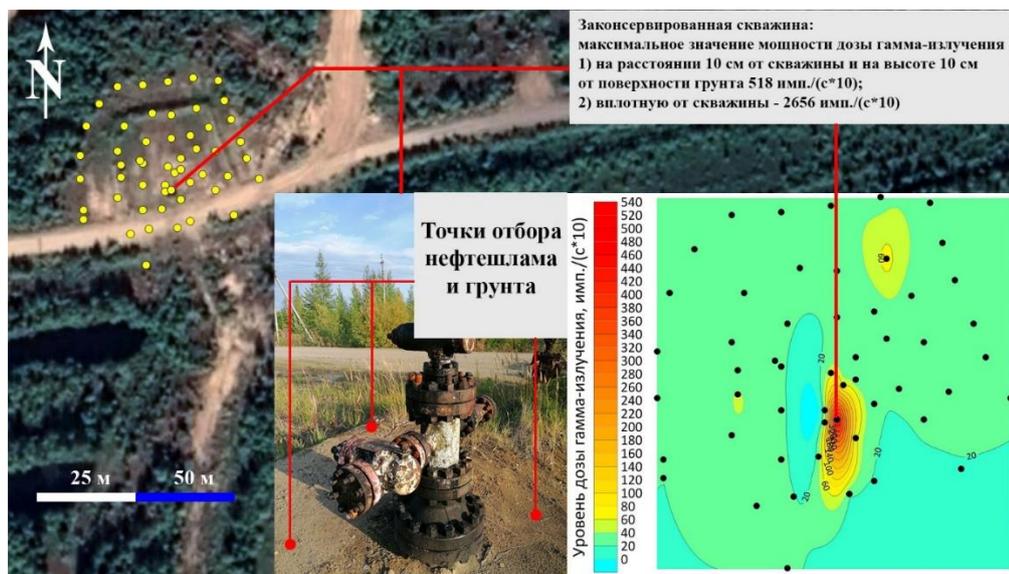


Рисунок 5.11 – Картограмма на участке законсервированной скважины

Предупреждающие знаки об опасности отсутствуют на исследованном участке. Дорога, которая располагается в непосредственной близости к скважине используется в том числе местным населением для проезда к месту рыболовства и отдыха на реке Колва. В рамках данной работы на указанном участке проанализировано 3 пробы: загрязненный грунт и непосредственно нефтешлам, отобранные вокруг скважины. Нефтешлам на участке был представлен углеводородными включениями черного цвета размером до нескольких сантиметров, покрытых песком. Результаты измерений отобранных проб приведены в Таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Результаты измерений радиационных параметров нефтешлама и загрязненного грунта

| № п/п | Точка отбора и тип пробы | Радиационные параметры пробы, Бк/кг | | | | | | | Коэффициент эманации Rn-222 |
|-------|-----------------------------|-------------------------------------|----------|----------|---------|----------|---------------|---------------|-----------------------------|
| | | Ra-226 | Ra-228 | Th-232 | K-40 | Pb-210 | Ra-226/Ra-228 | Ra-226/Pb-210 | |
| 1 | Точка 5, загрязненный грунт | 6400±830 | 1000±120 | 1190±130 | 500±150 | 910±140 | 6,4 | 7,0 | менее 5% |
| 2 | Точка 5, нефтешлам | 6900±890 | 1030±110 | 1340±150 | 410±120 | 1090±150 | 6,7 | 6,3 | менее 5% |
| 3 | Точка 7, загрязненный грунт | 145±30 | 80±16 | 85±19 | 320±64 | 60±19 | 1,8 | 2,4 | менее 5% |

Результаты измерений отобранных проб (таблица 5.4) показали типичный радионуклидный состав для отходов нефтяной промышленности (Нозик, 2010). На рисунке 5.12 приведен спектр амплитудного распределения энергий излучений от счетного образца, изготовленного из пробы нефтешлама (точка 5). Основная активность обусловлена радионуклидами радия, тория, калия, поступающими вместе с попутными минерализованными водами и осаждающимися на поверхностях технологического оборудования в виде солей радия и бария.

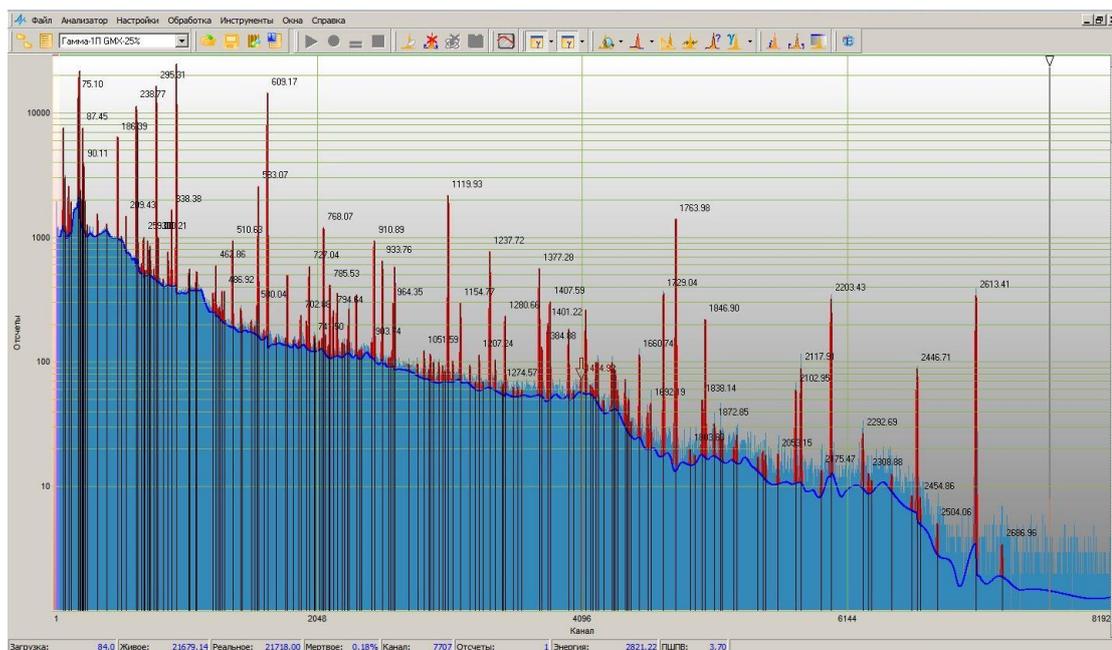


Рисунок 5.12 – Спектр амплитудного распределения энергий излучений от счетного образца, изготовленного из пробы нефтешлама (точка 5)

Примечательно, что исследованные образцы нефтешлама практически не эмануруют Rn-222, несмотря на значительное содержание Ra-226. Эксперимент с герметизацией счетных образцов показал отсутствие увеличения активности Ra-226. Вероятно, это может быть связано с формой нахождения Ra-226 в нефтешламе, при распаде которого энергии отдачи Rn-222 не хватает для преодоления кристаллической решетки и выхода в поровое пространство (IAEA, 2013, Chuhan, 2002, 2008 (Thu), Eakin, 2016 (Thu), Thu, 2020). Исследования почвенного воздуха в пределах Колвинского мегавала, на территории которого расположены ряд месторождений Ненецкого автономного округа и Республики Коми (Миронов, 2012), отмечают невысокие уровни концентрации радона до 1500 Бк/м^3 (Езимова, 2022). С одной стороны, это также может быть связано с низкими уровнями эманирования источников Rn-222, но с другой стороны данная территория характеризуется распространением вечной мерзлоты, которая является барьером для поступления газов на земную поверхность. Встречаются исследования, в которых было установлены высокие концентрации радона в почвенном воздухе на площадях с месторождениями нефти и газа. Так, например, согласно работе (Киляков, 2015) на площади, расположенной в Волгоградской области в пределах Памятно-Сасовского месторождения, концентрации радона в подпочвенном воздухе варьируют в пределах от 1 до 350 кБк/м^3 . Согласно этой же работе, в Астраханской области в пределах Южно-Вязовского лицензионного участка концентрации радона достигают 200 кБк/м^3 .

Согласно пункту 4 документа (Постановление Правительства РФ, 2012) «твердые отходы, образующиеся при осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов, относятся к радиоактивным отходам в случае, если выполняется следующее условие: $A_{\text{Ra}} + 1,3 \cdot A_{\text{Th}} + 0,09 \cdot A_{\text{K}} > 10 \text{ Бк/г}$, где A_{Ra} – удельная активность радия-226, находящегося в равновесии с радионуклидами уранового ряда, Бк/г; A_{Th} – удельная активность тория-232, находящегося в равновесии с радионуклидами ториевого ряда, Бк/г; A_{K} – удельная активность калия-40, Бк/г».

Если применить вышеуказанное требование к оценке соответствия отобранных проб критериям отнесения к радиоактивным отходам, то они не будут ими являться (сумма удельных активностей радионуклидов согласно законодательному условию ниже 10 Бк/г).

Таким образом, схожесть по радионуклидному составу нефтешламов и донных осадков (соотношения радионуклидов Ra-226, Ra-228, Pb-210), наличие фактов открытого размещения нефтешламов, выявление участков с повышенной дозой гамма-излучения от образцов загрязненных почв являются еще одним подтверждением техногенной природы повышенного содержания Ra-226 в донных осадках реки Колва.

5.3. Оценка содержания естественных радионуклидов в донных осадках устьевой части реки Печора

В 1994 году в Республике Коми на территории бассейна реки Колва произошло аварийный разлив нефтепродуктов в объеме по разным данным от 100 тыс. до 220 тыс. тонн (Краткая справка, 1994). На момент аварии донные осадки бассейна реки Печора не отличались высоким содержанием нефтепродуктов (Лукин, 2000). Локальные зоны загрязнения были отмечены около Нарьян-Мара – до 250 мг/кг, в западной части Печорской губы - от 150 до 270 мг/кг, в Коровинской губе – до 60 мг/кг (Краткая справка, 1994). Однако уже в 1995 году концентрации нефтепродуктов в Голодной и Коровинской губах достигли значений 1250 мг/кг. Данный факт указывает на вынос нефтепродуктов с водосбора рек Колва и Уса с последующим переносом в низовья Печоры, в Коровинскую, Голодную, Печорскую губы и далее в Печорское море. Подобный процесс транспортировки может быть характерен и для других загрязнителей, в том числе и радионуклидов. Выявленные факты повышенного содержания Ra-226 в донных осадках реки Колва, а также наличие нефтегазовых месторождений вдоль реки Печора, обусловили проведение исследовательских работ в дельте Печоры, которая является природным биогеохимическим объектом на границе река-море и способна аккумулировать различные виды загрязнений (Скибинский, 2003, Немировская, 2016).

Радиационные параметры донных осадков устьевой части реки Печора. Карта-схема отбора проб приведена на рисунке 3.8 (раздел 3 настоящей работы). В обобщенном виде результаты исследований радиационных параметров в донных осадках дельты р. Печора показаны в Таблице 5.5. Средние концентрации радионуклидов убывают в порядке $^{40}\text{K} > ^{226}\text{Ra} > ^{232}\text{Th}$. Средние активности радионуклидов Ra-226, Th-232, K-40 в целом для исследованных донных осадков составляют 18,72, 13,36, 373,59 Бк/кг, соответственно. Средние значения суммарной альфа и бета активности донных осадков составляют 169,22 и 512,72 Бк/кг, соответственно.

Таблица 5.5 – Концентрации радионуклидов Th-232, Ra-226, K-40, суммарных альфа и бета активностей в донных осадках устьевой части реки Печора.

| Радиационный параметр | Удельная активность, Бк/кг | | |
|-----------------------|----------------------------|----------|---------|
| | Минимум | Максимум | Среднее |
| Ауд. альфа | 25,75 | 380,0 | 169,22 |
| Ауд. бета | 120,73 | 813,85 | 512,72 |
| Ra-226 | 5,2 | 38,4 | 18,72 |
| Th-232 | <0,1 | 34,0 | 13,36 |
| K-40 | 99,0 | 580,0 | 373,59 |

Как видно из рисунка 5.13 (а) активность Ra-226 в донных осадках дельты р. Печора рассчитанная на кг сухого веса варьирует от 5,2 до 38,4 Бк/кг. Среднее значение Ra-226 составляет 18,72 Бк/кг, что более чем в два раза ниже кларковых значений для земной коры (36,8 Бк/кг) (Смыслов, 1979, Рихванов, 2009).

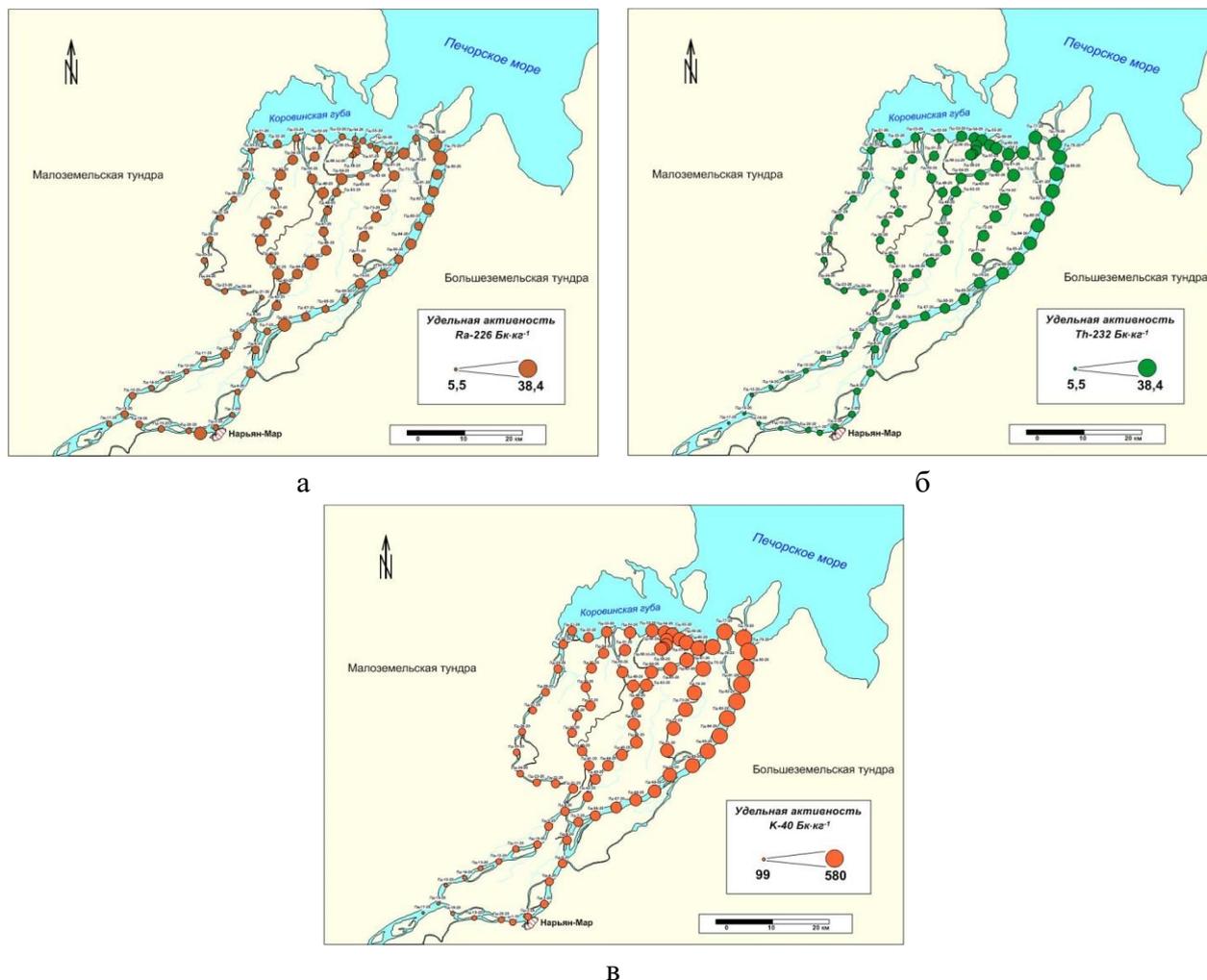


Рисунок 5.13 – Пространственное распределение радионуклидов Ra-226 (а), Th-232 (б) и K-40 (в) в донных осадках устьевой части реки Печора.

В пространственном распределении Ra-226 по площади дельты наблюдается некоторая зональность: активность Ra-226 в донных осадках увеличивается с запада на восток и с юга на север, что вероятно связано с особенностями распределения мелкодисперсного обломочного материала на разных участках дельты. Однако в целом средняя активность Ra-226 в осадках дельты Печоры в 2 раза выше чем, в дельте другой крупной арктической реки Северной Двины, где активность Ra-226, полученная на основе исследования 160 проб, составила 9,7 Бк/кг. В донных осадках реки Золотица, относящейся к бассейну Белого моря, средняя активность Ra-226 составляет 9.0 Бк/кг (Yakovlev and Puchkov, 2020, Yakovlev et al., 2020). Повышенная активность Ra-226 в донных осадках дельты Печоры, по сравнению с другими реками Европейской Арктики России может быть связана с нефтегазовой деятельностью, которая ведется в бассейне Печора (Лебедев, 2016).

Удельная активность Th-232 в донных осадках дельты р. Печора изменяется в диапазоне от менее 0,1 до 34,0 Бк/кг, при средней активности 13,36 Бк/кг (Рисунок 5.13 (б)). Наиболее

высокие активности Th-232 наблюдаются в восточной и северной частях дельты, что в целом схоже с картиной распределения Ra-226 и может быть связано с распределением мелкодисперсных осадков.

Активности K-40 в донных осадках дельты р. Печора варьируют в диапазоне от 99,0 до 580,0 Бк/кг (Рисунок 5.13 (в)), при среднем значении 373,59 Бк/кг. Наиболее низкие значения K-40 наблюдаются в южной и западной частях дельты. При продвижении с севера на юг происходит увеличение активности K-40, достигая максимальных значений на северном фронте дельты, в зоне впадения вод р. Печора в Коровинскую губу.

Увеличение активности естественных радионуклидов по направлению с юга на север может быть связано с одной стороны со снижением скорости течения к низовью дельты, а с другой стороны с увеличением фракций тонкозернистых илов, которыми представлены донные осадки Коровинской и Голодной губ (Лукин, 2005).

Общая альфа-активность в донных осадках дельты р. Печора изменяется в пределах от 99,0 до 580,0 Бк/кг, среднее значение составляет 169,2 Бк/кг (Рисунок 5.14 (а)). Суммарная бета-активность варьирует в диапазоне от 120,7 до 813,6 Бк/кг (Рисунок 5.14 (б)). В целом пространственное распределение суммарных альфа и бета активностей имеет схожие черты с распределением отдельных радионуклидов Th-232, Ra-226 и K-40, что говорит о том, что данные радионуклиды и многочисленные дочерние продукты их распада (Ra-228, Ac-228, Th-228, Pb-212, Pb-210, Bi-210, Po-210 и т.д.) вносят основной вклад в общую радиоактивность донных отложений дельты р. Печора.

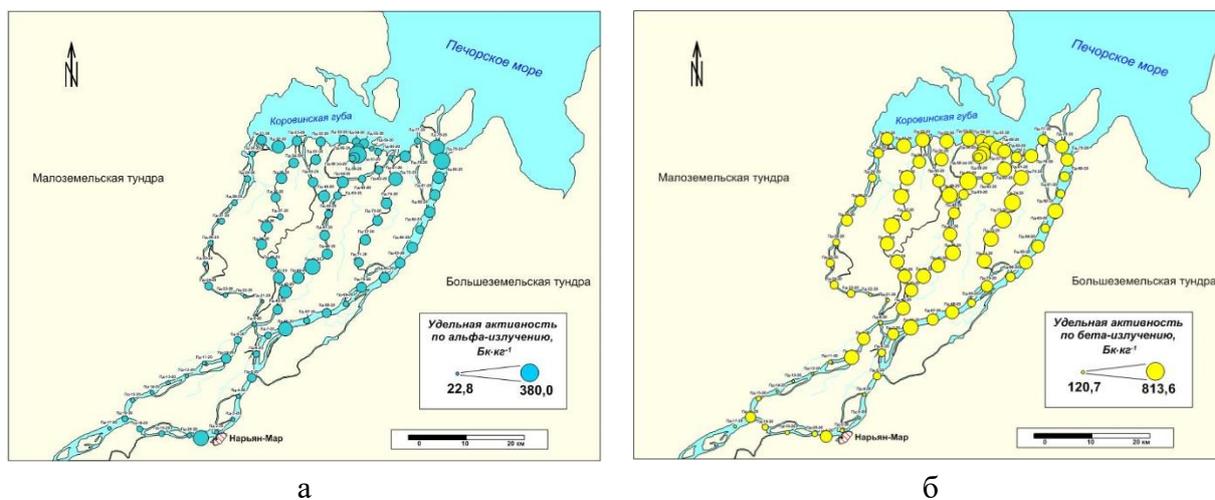


Рисунок 5.14 – Пространственное распределение суммарной альфа- (а) и бета- (а) активности в донных осадках устьевой части реки Печора.

Содержание нефтепродуктов в донных осадках устьевой части реки Печора. Содержание нефтепродуктов в донных осадках варьирует в диапазоне от 0,49 до 39,21 мг/кг со средним значением 3,81 мг/кг (рисунок 5.15).

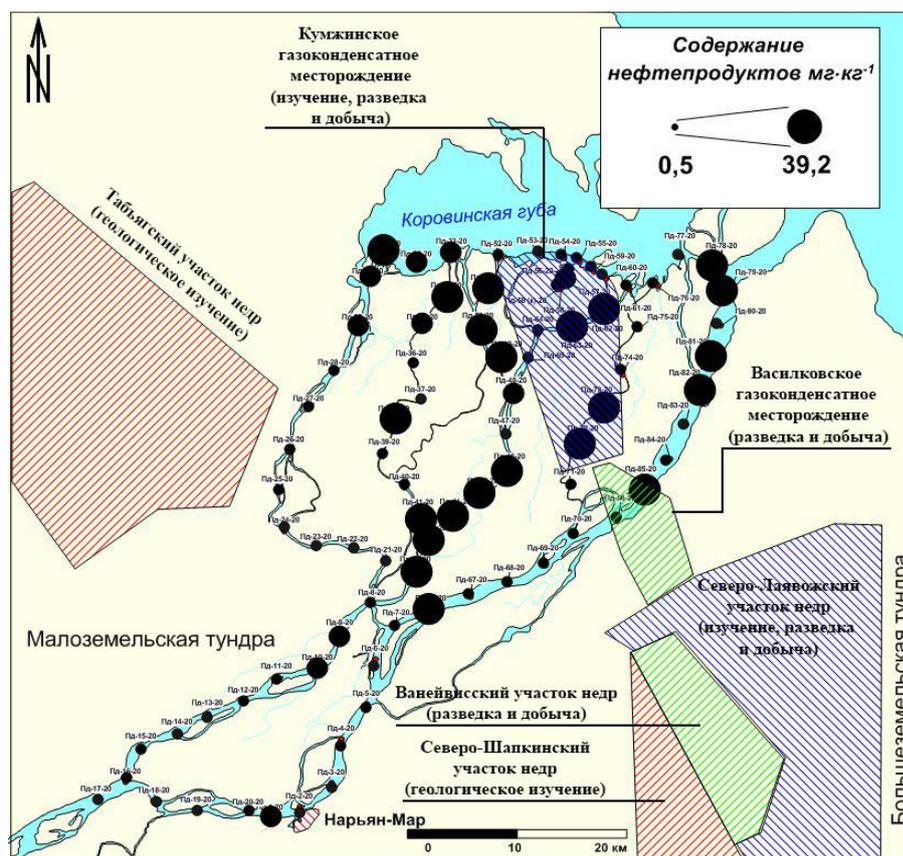


Рисунок 5.15 – Пространственное распределение нефтепродуктов в донных осадках устьевой части реки Печора.

Максимальные значения содержания нефтепродуктов наблюдаются в центральных и северных частях дельты реки и по правому фронту (судоходный рукав). При этом данные зоны не приурочены к участкам месторождений нефти, располагающихся в дельте реки Печора: Северо-Лаявожский и Ванейвисский участки недр (согласно материалам ГИС НАО <https://gisnao.ru/>). Вероятно, участки повышенного содержания нефтепродуктов связаны со сносом нефтепродуктов с водосборных площадей рек Колва и Уса (Лукин, 2005, Скибинский, 2003, Немировская, 2016), а также с локальным загрязнением, обусловленным водотранспортной нагрузкой на основные рукава дельты реки (Киселенко, 2015, Тарабукина, 2017).

Оценка связи накопления радионуклидов, общей альфа и бета активности, содержания нефтепродуктов, органического вещества и карбонатов, а также фракционного состава донных осадков в точках отбора проб будет рассмотрена ниже в разделе статистический анализ.

Статистический и факторный анализ данных. Для исследования особенностей накопления радионуклидов в донных осадках дельты реки Печора был выполнен корреляционный анализ данных (Рисунок 5.16). В построенное корреляционной матрице приняты следующие обозначения: Ауд. бета – суммарная удельная активность бета-излучающих радионуклидов; Ауд. альфа – суммарная удельная активность альфа-излучающих радионуклидов, «число» мм – размер гранулометрической фракции.

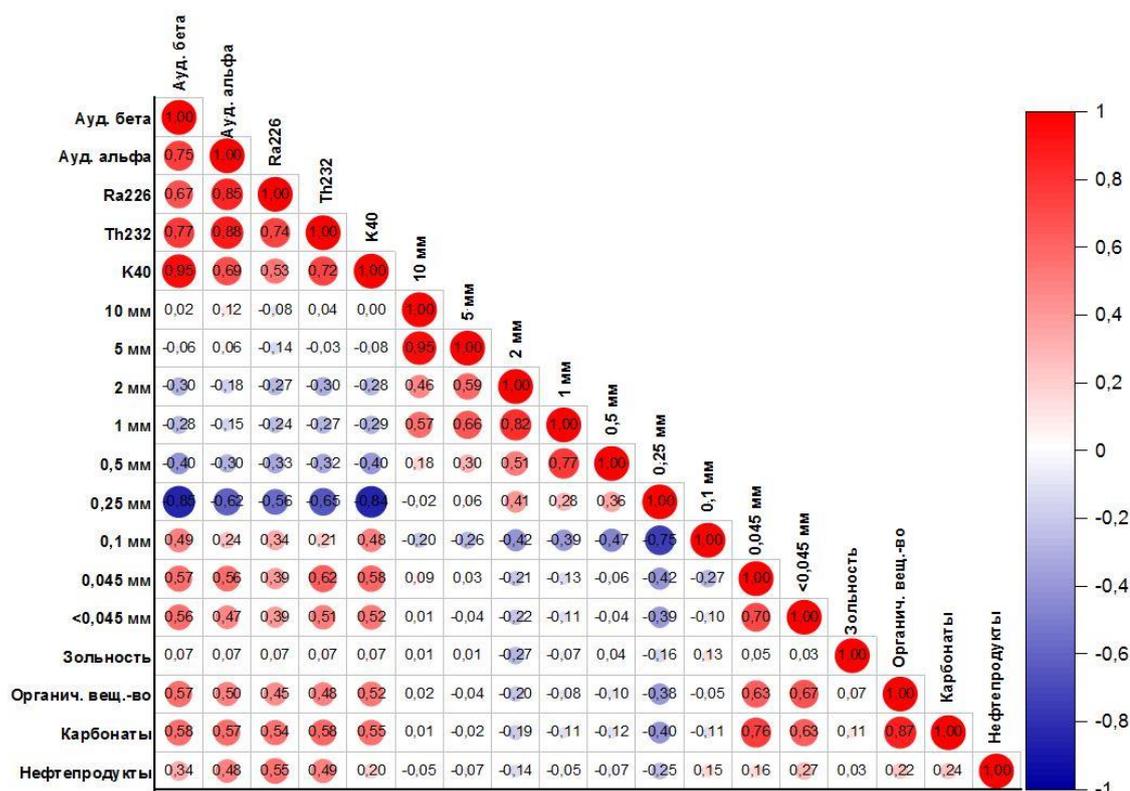


Рисунок 5.16 – Корреляционная матрица по результатам изучения донных осадков в устьевой части реки Печора.

Как видно из корреляционных данных, гранулометрический состав, содержание органического вещества и карбонатов в точках отбора проб оказывают решающее влияние на накопление радионуклидов в донных осадках дельты реки Печора. К тонким фракциям донных осадков алевролитовой и пелитовой размерностей тяготеют суммарные альфа- и бета активности и, соответственно, естественные радионуклиды Ra226, Th232 и K40, как альфа и бета-излучатели. Накопление данных радионуклидов в составе наиболее тонких фракций донных отложений, как правило, связано с повышенными сорбционными свойствами глинистых минералов, а также с рядом физико-химических параметров донных осадков (Yakovlev, 2020).

Связь K-40 и общей бета-активности обусловлена тем, что K-40 претерпевает β^- -распад (~89,28 %) и является основным естественным бета-излучающим радионуклидом в компонентах природной среды (Marshall, 1998). Как правило, основная часть K-40 в донных осадках находится в составе глинистых минералов – калийсодержащих гидрослюдов с общей формулой $[K,(H_3O)]Al_2(OH)_2[AlSi_3O_{10}]$ (Крылов, 2013). Это подтверждается наличием тесной связи K-40 с мелкодисперсными фракциями донных осадков, которую мы видим в первом факторе. Однако распределение калийсодержащих минералов по фракциям донных осадков может быть крайне неравномерным (Grigoryev, 2011), поэтому наличие некоторой части K-40 в составе мелкопесчанистой фракции донных осадков дельты реки Печоры может быть связано с присутствием неглинистых калийсодержащих минералов, например, таких наиболее распространенных как полевой шпат, мусковит, биотит (Abdi, 2008, Lee, 2015).

Средние корреляционные зависимости наблюдаются между содержанием органического вещества, карбонатов и естественными радионуклидами. Как ранее уже было отмечено, органическое вещество наряду с литологическим составом выступает в качестве основного фактора, определяющего аккумуляцию различных поллютантов в донных осадках (Доценко,

2015). Незначительная связь с карбонатами может быть обусловлена формой нахождения радионуклидов в донных осадках. Например, согласно (Рачкова, 2020) содержание Ra-226 увеличивается в ряду форм нахождения в компонентах природной среды: нерастворимый остаток < аморфные силикаты < органическое вещество < полуторные оксиды и гидроксиды < карбонаты < обменная форма < водорастворимая форма.

Отмечается средняя корреляционная связь содержания нефтепродуктов с удельной активности Ra-226 ($R=0,55$), а также слабые корреляционные связи с остальными радиационными параметрами. Согласно Рисунку 5.17 в 30 % случаев вариабельность удельной активности Ra-226 обусловлена содержанием в донных осадках нефтепродуктов. Данное обстоятельство может указывать на снос Ra-226 с водосборной площади реки Колва, в донных осадках которой отмечены участки повышенного содержания данного радионуклида.

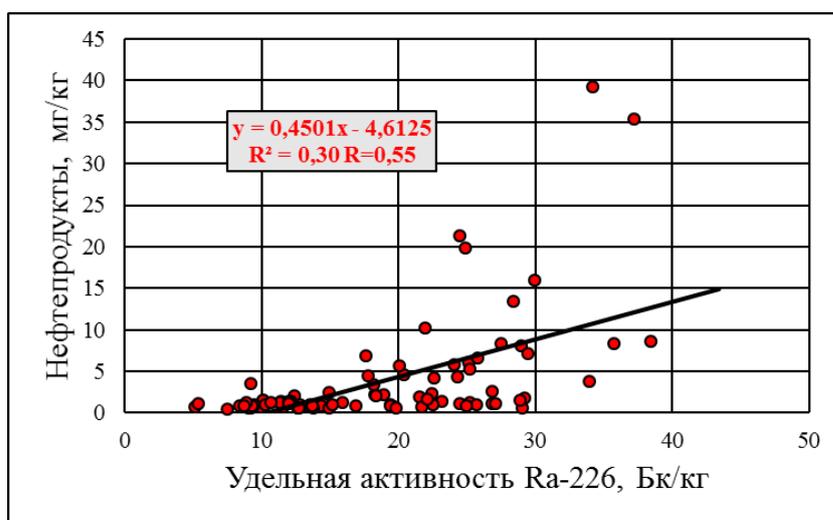


Рисунок 5.17 – Корреляционная зависимость содержания нефтепродуктов с удельной активностью Ra-226

Таким образом, уровни естественных радионуклидов в донных осадках реки Печора находятся в пределах диапазона, характерного для среднемировых значений. Однако было выявлено, что средняя активность Ra226 в донных осадках дельты Печоры в 2 раза выше, чем в других реках Арктического бассейна Европейской части России. Повышенная активность Ra226 в донных осадках дельты Печоры, по сравнению с другими реками Европейской Арктики России, может быть связана с нефтегазовой деятельностью, которая ведется на территории Печорского бассейна. Выявленная средняя корреляционная связь удельной активности Ra-226 с содержанием нефтепродуктов подтверждает данный вывод.

5.4 Оценка параметров радиационной безопасности для донных осадков и нефтешламов

Выявленные зоны повышенного содержания естественных радионуклидов в донных осадках и нефтешламах Печорского бассейна обусловили проведение оценки параметров их радиационной безопасности с точки зрения влияния на человека. В ходе данной работы были проведены расчеты следующих параметров: радиевый эквивалент активности ($Raeq$), годовой эквивалент эффективной дозы (AЕЕDЕ), поглощенная доза гамма-излучения (DR), индекс внешней опасности (Hex), а также эффективная удельная активность природных радионуклидов (Аэф). Результаты расчетов приведены в Таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Результаты измерений индексов радиационной опасности

| Объект исследования | | Поглощенная доза гамма-излучения (нГр·ч ⁻¹) | Годовой эквивалент эффективной дозы (мкЗв·г ⁻¹) | Радиевый эквивалент активности (Бк/кг) | Индекс внешней опасности (отн. ед.) | Аэф (Бк/кг) |
|-------------------------|---------|---|---|--|-------------------------------------|-------------|
| Донные осадки р. Печора | мин. | 7,7 | 19,2 | 14,0 | 0,04 | 16,5 |
| | макс. | 55,1 | 137,8 | 113,7 | 0,32 | 118,5 |
| | среднее | 32,4 | 81,2 | 64,1 | 0,18 | 69,7 |
| Донные осадки р. Колва | мин. | 14,7 | 36,9 | 27,8 | 0,08 | 31,6 |
| | макс. | 77,5 | 193,3 | 163,5 | 0,45 | 167,3 |
| | среднее | 40,4 | 101,2 | 80,7 | 0,23 | 87,0 |
| Донные осадки р. Уса | мин. | 11,7 | 14,4 | 22,9 | 0,06 | 25,2 |
| | макс. | 41,1 | 50,4 | 81,7 | 0,23 | 88,4 |
| | среднее | 24,6 | 30,2 | 48,9 | 0,14 | 52,9 |
| Нефтешамы | мин. | 131,8 | 161,6 | 289,0 | 0,79 | 284,3 |
| | макс. | 4014,4 | 4923,2 | 8844,9 | 23,9 | 8678,9 |
| | среднее | 2614,2 | 3206,1 | 5756,9 | 15,6 | 5651,7 |
| Среднемировые значения | | 57 | 70 | <370 | <1 | <370* |

Примечание:

*Нормируемое значение в соответствии с требованиями документа (НРБ-99/2009).

Радиевый эквивалент активности (Raeq) широко используется для оценки радиационной безопасности природных объектов и материалов (Beretka, 1985). Данный параметр в донных отложениях дельты реки Печора колеблется в широком диапазоне от 14,0 до 113,7 Бк/кг со средним значением 64,1 Бк/кг. Для реки Колва диапазон несколько выше – от 27,8 до 163,5 Бк/кг со средним значением 80,7 Бк/кг. Для Усы – от 22,9 до 81,7 Бк/кг со средним значением 48,9 Бк/кг. При этом результаты по донным осадкам не превышают максимального значения 370 Бк/кг, установленного Агентством по ядерной энергии (NEA-OECD, 1979). Использование этих донных осадков в качестве строительного сырья не представляет радиологической опасности для здоровья (Beretka, 1985, Turhan, 2008). Оценка того же параметра для нефтешамов показала иную картину. Диапазон значений варьирует от 289,0 до 8844,9 Бк/кг со средним значением 5756,9 Бк/кг, что значительно превышает установленные 370 Бк/кг.

Годовой эквивалент эффективной дозы (AEDE), получаемой человеком вне помещений, рассчитывается на основе мощности поглощенной дозы с применением коэффициента преобразования дозы Зв·Гр⁻¹. Принимая во внимание, что люди в среднем проводят 20% своего времени на открытом воздухе, коэффициент занятости на открытом воздухе будет составлять 0,2 (UNSCEAR 2000, Veiga et al., 2006). Эффективная доза для донных осадков дельты реки Печора варьируется от 19,2 до 137,8 нГр·ч⁻¹, при среднем значении 81,2 нГр·ч⁻¹, что сопоставимо со среднемировыми показателями эффективной дозы 70 нГр·ч⁻¹ (Charles, 2001). Более высокие значения получены для донных осадков реки Колва – в диапазоне от 36,9 до 193,3 нГр·ч⁻¹ при среднем значении 101,2 нГр·ч⁻¹. Для Усы – от 14,4 до 50,4 нГр·ч⁻¹ при среднем значении 30,2 нГр·ч⁻¹. В целом только донные осадки реки Колва превышают среднемировое значение на 30%. Диапазон значений AEDE для нефтешамов составил от 161,6 до 4923,2 нГр·ч⁻¹ при среднем значении 3206,1 нГр·ч⁻¹, превышая среднемировые значения в 46 раз.

Поглощенная доза гамма-излучения (D_R) является основной дозиметрической величиной (Kurnaz, 2007, Al-Namaneh, 2008). Для Печоры диапазон изменения величины поглощенной дозы колеблется от 7,7 до 55,1 нГр·ч⁻¹. Среднее значение D_R для отложений дельты составляет

32,4 нГр·ч⁻¹. Для реки Колва диапазон составил от 14,7 до 77,5 нГр·ч⁻¹ при среднем значении 40,4 нГр·ч⁻¹. Для Усы – от 11,7 до 41,1 нГр·ч⁻¹ при среднем значении 24,6 нГр·ч⁻¹. Можно отметить, что средняя мощность поглощенной дозы гамма-излучения в речных донных отложениях изученных рек ниже среднемирового значения 55,0 нГр·ч⁻¹ (Charles, 2001). Этот же параметр для нефтешламов составил от 131,8 до 4014,4 нГр·ч⁻¹ при среднем значении 2614,2 нГр·ч⁻¹.

Индекс внешней опасности (Hex) количественно определяет риск естественного гамма-излучения (Krieger, 1981). Этот индекс используется для оценки радиационной пригодности различных материалов (Ibrahim, 1999). Основная цель этого индекса - ограничить уровень эквивалентной дозы облучения до допустимого значения 1,0 мкЗв·г⁻¹ (International..., 1993). Рассчитанные значения индекса внешней опасности (Hex) для всех исследованных образцов донных осадков р. Печора варьируются от 0,04 до 0,32, при среднем значении 0,18. Для реки Колва – от 0,08 до 0,45 при среднем значении 0,06. Для Усы – от 0,06 до 0,23 при среднем значении 0,14. Результаты показывают, что значения Hex для всех образцов донных отложений находятся ниже 1, что означает, что доза облучения меньше допустимого предела 1,0 мкЗв·г⁻¹. Нефтешламы по данному параметру также значительно превышают значения, полученные для донных осадков – в диапазоне от 0,79 до 23,9 при среднем значении 15,6.

Величина эффективной удельной активности природных радионуклидов (Аэф) получила широкое распространение при оценке потенциальной опасности различных сред и материалов, содержащих природные радионуклиды (Стамат, 2008, НРБ 99/2009). Согласно (НРБ 99/2009) по величине Аэф среды и материалы разделяют на 5 категорий: менее 370 Бк/кг (1 класс), менее 740 Бк/кг (2 класс), менее 1500 Бк/кг (3 класс), менее 4000 Бк/кг (4 класс), более 4000 Бк/кг – для материалов, не подлежащих использованию в строительстве. Для донных осадков изученных рек данный параметр варьировал от 16,5 до 167,3 Бк/кг, что соответствует 1 классу (материалы могут использоваться в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях). Аэф для нефтешламов варьировала от 284,3 до 8678,9 Бк/кг. Превышение 4000 Бк/кг не позволяет применение таких материалов в строительстве. Как отмечено было ранее, изученные нефтешламы не являются радиоактивными отходами в контексте требований документа (Постановление Правительства РФ, 2012).

5.5. Выводы

Проведенные исследования на территории Печорского бассейна показали, что на отдельных участках реки Колва в донных осадках выявлено повышенное содержание Ra-226 с удельной активностью до 89,0 Бк/кг. Результаты корреляционного анализа показывают, что повышенное накопление Ra-226 в донных осадках имеет тесную связь с содержанием в них нефтепродуктов (R=0,74). Это указывает на поступление в поверхностные воды отходов нефтегазовой деятельности и последующее радионуклидное загрязнение водной среды. Данный вывод также подтверждается схожими значениями изотопных отношений Ra-226/Ra-228 и Ra-226/Pb-210 для донных осадков и нефтешламов, наличие которых выявлено на территории бассейна реки Колва.

Удельная активность Ra-226 в донных осадках дельты р. Печора рассчитанная на кг сухого веса варьирует от 5,2 до 38,4 Бк/кг. Среднее значение Ra-226 составляет 18,7 Бк/кг, что более чем в два раза ниже кларковых значений для земной коры (36,8 Бк/кг). Однако активность Ra-226 в донных осадках дельты Печоры в два раза выше значений, характерных для других крупных рек

региона (Северная Двина, Золотица). Результаты корреляционного анализа также показали наличие связи удельной активности Ra-226 и нефтепродуктов в донных осадках ($R=0,55$). Данное обстоятельство может указывать на снос Ra-226 с водосборной площади реки Колва, в донных осадках которой отмечены участки повышенного содержания данного радионуклида.

В целом можно сделать вывод, что радиологический риск для здоровья людей, использующих речные отложения в качестве строительных материалов, на текущий момент отсутствует. Значения параметров радиационной опасности в среднем находятся на уровне ниже среднемирового и не представляют существенной опасности для здоровья населения. В настоящее время в районах дельты р. Печоры, бассейнов рек Колва и Уса наблюдается относительно низкий уровень естественной радиоактивности. Отдельные участки с повышенной удельной активностью Ra-226 в донных осадках реки Колва указывают на локальное загрязнение реки нефтешламами, что вызывает необходимость организации радиационного мониторинга за поверхностными водами, донными отложениями, почвами бассейна реки. Выявленные участки размещения нефтешламов и загрязнения почв нефтепродуктами показывают повышенный уровень дозы гамма-излучения. По результатам радионуклидного анализа отобранные пробы являются отходами с повышенным содержанием естественных радионуклидов, радиоактивными отходами не являются. При этом наличие таких участков, свободных для проезда и прохода, требует проведения инспекционных работ с целью выявления других подобных участков, их локализации, радиометрического обследования и принятия решений о дальнейшем обращении с отходами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы в период с 2019 по 2023 года на примере трех ключевых участков Ненецкого автономного округа (Канинская и Большеземельская тундры, устьевая часть реки Печора) автором получен обширный фактический материал, характеризующий радиоэкологическую обстановку в регионе в целом. Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

1) Установлено, что активность Cs-137 в донных отложениях изученных рек Ненецкого автономного округа в основном варьирует в диапазоне от минимально-измеряемых значений до 5,4 Бк/кг со средним значением не более 3,3 Бк/кг. Наиболее высокие активности, достигающие 36,0 Бк/кг, обнаружены в западной части Ненецкого автономного округа в бассейне реки Несь, что превышает активность Cs-137 в донных отложениях большинства рек Северо-Запада России. Формирование зоны повышенного содержания техногенного Cs-137 в донных осадках вероятно обусловлено стоком с водосборной площади реки Несь, ее гидрологическими особенностями, а также аккумуляцией Cs-137 мелкодисперсными фракциями донных отложениях.

2) Установлено, что плотность загрязнения почв бассейна реки Несь радионуклидом Cs-137 в 2-3 раза превышает имеющиеся данные по Канинской тундре. Впервые проведена оценка содержания Sr-90, Am-241, Pu-238, Pu-239+240 в почвах Канинской тундры. Обнаружено, что латеральное распределение техногенных радионуклидов определяется особенностями рельефа территории. Расчеты изотопных отношений Sr-90/Cs-137, Pu-238/Pu-239+240, Pu-239+240/Cs-137, Am-241/Pu-239+240 и траекторий движения воздушных масс на основе модели HYSPLIT показали, что основными источниками загрязнения техногенными радионуклидами являются глобальные атмосферные выпадения и авария на Чернобыльской АЭС.

3) Выявлено, что изученная рыба из реки Несь (щука, окунь) характеризуются повышенным содержанием техногенных радионуклидов Cs-137 и Sr-90 по сравнению с другими реками региона. Удельные активности Cs-137 и Sr-90 в биологических системах северного оленя Ненецкого автономного округа соответствуют значениям других арктических регионов. Содержание радионуклидов в рыбе и северном олене не превышают установленных норм и требований в области продовольственной безопасности. Расчет дозовых нагрузок при потреблении изученных рыбы и мяса оленя показал, что значение пероральной дозы составляет 0,079 мЗв/год для окуня, 0,065 мЗв/год для щуки и 0,093 мЗв/год для мышечной ткани оленя, что ниже установленных законодательством уровней в 1 мЗв/год.

4) Результаты полевых наблюдений и экспериментальных исследований показали, что многолетнемерзлые породы играют роль барьера для поступления Rn-222 из геологических слоев. Барьерная функция может быть объяснена низкими коэффициентами пористости и проницаемости льда и мерзлых пород, что в свою очередь затрудняет эманации Rn-222 в свободное пространство. Исходя из этого, поступательное оттаивание многолетнемерзлых пород, особенно на территориях с неблагоприятным радиогеохимическим фоном, может усугубить радоновую обстановку с превышением установленных законодательством нормативов.

5) На территории бассейна реки Ома Ненецкого автономного округа установлена связь изменения радиационных параметров (мощность дозы гамма-излучения, плотность потока радона, радионуклидный состав торфа) с мощностью сезонно-талого слоя.

6) Результаты экспериментальных работ по имитации процесса деградации многолетнемерзлых пород показали, что в условиях оттаивания источника радона происходит резкое возрастание его плотности потока с поверхности грунта.

7) Проведенные исследования на территории Печорского бассейна показали, что на отдельных участках реки Колва в донных осадках выявлено повышенное содержание Ra-226 с удельной активностью до 89,0 Бк/кг. Установлена тесная связь Ra-226 и нефтепродуктов в донных осадках ($R=0,74$). Это указывает на поступление в поверхностные воды продуктов и отходов нефтегазовой деятельности и последующее радионуклидное загрязнение водной среды. Это также подтверждается схожими значениями изотопных отношений Ra-226/Ra-228 и Ra-226/Pb-210 в донных осадках и нефтешламе бассейна реки Колва.

8) В донных осадках дельты реки Печора установлены повышенные активности Ra-226 (до 38,4 Бк/кг), что в два раза превышает значения удельной активности, характерные для других крупных рек региона (Северная Двина, Золотица). Причиной повышенного содержания Ra-226 в донных осадках Печора является вероятный снос загрязнения с водосборной площади реки Колва, в донных осадках которой также отмечены участки повышенного содержания данного радионуклида.

9) На участках размещения нефтешламов и загрязнения почв нефтепродуктами обнаружен повышенный уровень дозы гамма-излучения – до 5,3 мкЗв/ч. Радионуклидный анализ отобранных проб в соответствии с законодательством в области радиационной безопасности являются отходами с повышенным содержанием естественных радионуклидов, радиоактивными отходами не являются. В тоже время наличие таких участков, свободных для проезда и прохода, требует проведения инспекционных работ с целью выявления других подобных участков, их локализации, радиометрического обследования и принятия решений о дальнейшем обращении с отходами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Abdi M. R. Distribution of radioactive pollution of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs in northwestern coasts of Persian Gulf, Iran / M. R. Abdi, M. Kamali, S. Vaezifar. – *Marine Pollution Bulletin*, 2008. – № 56(4). – P. 751–757.
- 2) Abdullah, A. Accumulation of radionuclides in selected marine biota from Manjung coastal area / A. Abdullah, Z. Hamzah, A. Saat, A. K. Wood, M. Alias. – *AIP Conf. Proc.*, 2015. – P. 1–11.
- 3) Adel, M. Bioaccumulation of trace metals in banded Persian bamboo shark (*Chiloscyllium arabicum*) from the Persian Gulf: a food safety issue / M. Adel, C. Copat, M. R. Saeidi, G. O. Conti, M. Babazadeh, M. Ferrante. – Elsevier, 2018. – P. 198–203.
- 4) Al-Hamarneh, I.F. Soil radioactivity levels and radiation hazard assessment in the highlands of northern Jordan / I.F. Al-Hamarneh, M. I, Awadallah. – Text : electronic // *Radiation Measurements*. – 2009. – № 44(1). – P. 102–110. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radmeas.2008.11.005> (date of treatment: 01.04.2023).
- 5) Alokina, T. Distribution of radionuclides in modern sediments of the rivers flowing into the Dnieper–Bug Estuary / T. Alokina, V. Gudzenko. – Text : electronic // *Ecochemistry and Geography Education for Sustainable Development*. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128011003>. – Date of publication: 30 June 2021.
- 6) Annual Report for 2013 / IAEA, 2013. – P. 117. Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides. Safety Standards Series / Vienna: International Atomic Energy Agency, 1999. – ISBN: 92–0–101999–8.
- 7) Aquilina, L. 25 years after the Chernobyl power plant explosion: management of nuclear wastes and radionuclide transfer in the environment / L. Aquilina, J. M. Matray, J. Lancelot. – Text : electronic // *Applied Geochemistry*. – 2012. – V.27(7). – P. 1291–1296. DOI: [10.1016/j.apgeochem.2012.04.010](http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.04.010) (date of treatment: 13.06.2023).
- 8) Atmospheric fallout of radionuclides in peat bogs in the Western Segment of the Russian Arctic / E. Yakovlev, S. Druzhinin, A. Ocheretenko [et al.]. – Text : electronic // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2021. – Vol. 28, No. 20. – P. 25460–25478. – DOI [10.1007/s11356-020-12224-7](https://doi.org/10.1007/s11356-020-12224-7) (date of treatment: 16.04.2023).
- 9) Bai, Z. Progress in the study of the soil erosion using radionuclides. / Z. Bai, G. Wan. – Text : electronic // *Adv Earth Sci.* (in Chinese with English abstract). – 1998. – Vol. 13. – DOI: [10.11867/j.issn.1001-8166.1998.03.0232](https://doi.org/10.11867/j.issn.1001-8166.1998.03.0232) (date of treatment: 09.01.2023).
- 10) Beretka, J. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products / J. Beretka, P. J. Matthew. – Text : electronic // *Health Phys.* – 1985. – №48(1). – P. 87–95. – DOI: [10.1097/00004032-198501000-00007](https://doi.org/10.1097/00004032-198501000-00007) (date of treatment: 08.05.2023).
- 11) Bezhenar, R. Multi-compartment kinetic-allometric model of radionuclide bioaccumulation in marine fish / R. Bezhenar, K. O. Kim, V. Maderich, G. de With, K. T. Jung. – Text : electronic // *Biogeosciences*. – 2021. – Vol. 18. – P. 2591–2607. – DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-18-2591-2021> (date of treatment: 01.08.2023).
- 12) Biskaborn, B. K. Permafrost is warming at a global scale / B. K. Biskaborn, S. L. Smith, J. Noetzli, H. Matthes, G. Vieira, D. A. Streletskiy, ... & H. Lantuit. – Text : electronic // *Nature communications*. – 2019. – №10(1). – P. 1–11. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08240-4> (date of treatment: 04.03.2023).
- 13) Bujang Saili, Noor Affizah. ASSESSMENT OF NON-RESISTANT ^{210}Po AND ^{210}Pb IN SURFACE SEDIMENT AT MERSING RIVER, JOHOR / Noor Affizah Bujang Saili, Che Abd

Rahim Mohamed. – Text : electronic // Universiti Kebangsaan Malaysia. – 2018. – DOI: 10.13140/RG.2.2.21733.96483 (date of treatment: 06.04.2023).

14) Buldovicz, S. N. Cryovolcanism on the earth: Origin of a spectacular crater in the Yamal Peninsula (Russia) / S. N. Buldovicz, V. Z. Khilimonyuk, A. Y. Bychkov, E. N. Ospennikov, S. A. Vorobyev, A. Y. Gunar, ... R. M. Amanzhurov. – Text : electronic // Scientific reports. – №8(1). – P. 1–6. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31858-9>. – Date of publication: 10 Sep. 2018.

15) Carvalho, F. P. Radionuclides in deep-sea fish and other organisms from the north Atlantic Ocean / F. P. Carvalho, J. M. Oliveira, M. Malta. – Text : electronic // ICES J. Mar. Sci. – №68(2). – P. 333–340. – DOI:10.1093/ICESJMS/FSQ088. – Date of publication: 2011.

16) Charles, M. UNSCEAR Report 2000: sources and effects of ionizing radiation / M. Charles. – Text : electronic // Journal of Radiological Protection. – 2001. – №. 21. – P. 83. – DOI: 10.1088/0952-4746/21/1/609 (date of treatment: 01.04.2023).

17) Chauhan, R. P. Radon diffusion studies through some building materials: effect of grain size / R.P Chauhan, M. Nain, K. Kant. – Text : electronic // Radiation Measurements. – №43. – P. 445–448. – DOI:10.1016/j.radmeas.2008.03.013. – Date of publication: August 2008.

18) Chauhan, R. P. Radon diffusion through soil and fly ash: effect of compaction / R. P Chauhan, S. K. Chakarvarti. – Text : electronic // Radiation measurements. – №35(2). – P.143–146. – DOI: 10.1016/S1350-4487(01)00287-6. – Date of publication: April 2002.

19) Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems / P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte ... et al. – Text : electronic // IPCC. – 2019. – P. 874. – DOI: <https://www.ipcc.ch/srccl/download/> (date of treatment: 20.07.2023).

20) Cooper, M. B. NORM / Chief Executive Officer of ARPANSA, 2003. – ISBN 978-0-9805638-4-9.

21) Dai, D. Confluent impact of housing and geology on indoor radon concentrations in Atlanta, Georgia, United States. Science of The Total Environment. / D. Dai, N. Fredrick, J. Diem, D. Deocampo, C. Stauber, T. Dignam. – Text : electronic // DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.257. – Date of publication: 20 Feb. 2019.

22) Doloisio, N. The perception of permafrost thaw in the Sakha Republic (Russia): Narratives, culture and risk in the face of climate change / N. Doloisio, J. P. Vanderlinden. – Text : electronic // Polar Science. – 2020. – №26. – P. 45. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100589> (date of treatment: 29.04.2023).

23) Dowdall, M. Uptake of radionuclides by vegetation at a High Arctic location / M. Dowdall, J. P. Gwynn, C. Moran, J. O'Dea, C. Davids, B. Lind. – Text : electronic // Environmental Pollution. – 2005. – №133. – P. 327–332. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.05.032> (date of treatment: 22.08.2023).

24) Eakin, M. Mechanisms of radon loss from zircon: microstructural controls on emanation and diffusion. / M. Eakin, S. J. Brownlee, M. Baskaran, L. Barbero. – Text : electronic // Geochimica et Cosmochimica Acta. – №184. – P. 212–226. – DOI: <https://doi.org/10.2138/am-2017-6017>. – Date of publication: 19 July 2017.

25) Estimation of Physicochemical Parameters and Vertical Migration of Atmospheric Radionuclides in a Raised Peat Bog in the Arctic Zone of Russia / E. Yakovlev, A. Orlov, A. Kudryavtseva, S. Zykov. – Text : electronic // Applied Sciences (Switzerland). – 2022. – Vol. 12, No. 21. – P. 10870. – DOI 10.3390/app122110870 (date of treatment: 07.03.2023).

- 26) Fakhri, Y. The concentration and health risk assessment of radionuclides in the muscle of tuna fish: A worldwide systematic review and meta-analysis. / Y. Fakhri, M. Sarafraz, Z. Pilevar, H. Daraei, A. Rahimizadeh, S. Kazemi, K. M. Khedher, V. N. Thai, L. H. Ba, A. M. Khaneghah. – Text : electronic // *Chemosphere*. – 2022. – P. 289 – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.133149 (date of treatment: 10.05.2023).
- 27) Friedlander, B. R. Radionuclides in the marine environment / B. R. Friedlander, M. Gochfeld, J. Burger, C. W. Powers. – Text : electronic // The State University of New Jersey. – 2005. – P. 20–45. – URL: <https://goo.su/qALFp0> (date of treatment: 29.04.2023).
- 28) Gallardo, A. H. The aftermath of the Fukushima nuclear accident: Measures to contain groundwater contamination / A. H. Gallardo, A. Marui – Text : electronic // *Science of The Total Environment*. – 2016. – V.547. – P.261–268. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.129 (date of treatment: 14.06.2023).
- 29) Grigoryev, A. The basic patterns of the distribution, migration and accumulation of radionuclides in the bottom sediment of the Baltic Sea / A. Grigoryev, M. Vladimirov. – Text : electronic // *Baltic Region*. – 2011. – №1. – P. 54–60. – URL: <https://goo.su/0kUuW> (date of treatment: 24.08.2023).
- 30) Heldal, H. E. Natural and anthropogenic radionuclides in Norwegian farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) / H. E. Heldal, A. Volynkin, M. Komperod, R. Hannisdal, H. Skjerdal, A. L. Rudjord. – Text : electronic // *J. Environ. Radioact.* – №205–206(2). – P. 42–47. – DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.05.002. – Date of publication: Sep. 2019.
- 31) Ho Song, J. An assessment on the environmental contamination caused by the Fukushima accident / J. Ho Song. – Text : electronic // *Journal of Environmental Management*. – 2018. – V. 206. – P. 846–852. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.11.068 (date of treatment: 24.08.2023).
- 32) Holm, E. Fallout of transuranium elements following the Chernobyl accident / E. Holm, J. Rioseco, H. Pettersson. – Text : electronic // *J. Rad. Nuclear Chem. Articles*. – 1992. – №156 (1). – P. 183–200. – DOI: 10.1007/bf02037433 (date of treatment: 18.07.2023).
- 33) Ibrahim, N. Natural activities of ²³⁸U, ²³²Th and ⁴⁰K in building materials / N. Ibrahim. – Text : electronic // *J. Environ. Radioact.* – №43 (3). – P 255–258. –DOI: 10.1016/S0265–931X(98)00033–2. – Date of publication: 1 May 1999.
- 34) Ji, M. Permafrost thawing exhibits a greater influence on bacterial richness and community structure than permafrost age in Arctic permafrost soils. / M. Ji, W. Kong, C. Liang, T. Zhou, H. Jia, X. Dong. – Text : electronic // *The Cryosphere*. – 2020. – №14(11). – P. 3907–3916. – DOI: <https://doi.org/10.5194/tc-14-3907-2020> (date of treatment: 29.07.2023).
- 35) Kershaw, P. The transfer of reprocessing wastes from north-west Europe to the Arctic. / P. Kershaw, A. Baxter. – Text : electronic // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. – 1995. – №42. – P. 1413–1448. – DOI: 10.1016/0967–0645(95)00048–8 (date of treatment: 30.05.2023).
- 36) Khalid, A. N. Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials in oil and gas production: A silent killer / A. N. Khalid Al, K. Faisal, M. Yang. – Text : electronic // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2016. – Vol. 99. – P. 237–247. – DOI:10.1016/J.PSEP.2015.09.014 (date of treatment: 30.05.2023).
- 37) Kirchner, G. Core history and nuclide inventory of the Chernobyl core at the time of accident. / G. Kirchner, C. Noack. – Text : electronic // *Nuclear Safety*. – 1988. – №1. – P. 29. – URL: <https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=19095207#> (date of treatment: 04.05.2023).

- 38) Kriauciunas, V. V. "Spatial distribution of natural and anthropogenic radionuclides in the soils of Naryan–Mar" / V. V. Kriauciunas, S. A. Iglovsky, I. A. Kuznetsova, E. V. Shakhova, A. V. Bazhenov, K. A. Mironenko. – Text : electronic // Arctic Environmental Research. – 2018. – Vol. 18, no. 3. – P. 82–89. – DOI: 10.3897/issn2541–8416.2018.18.3.82 (date of treatment: 06.08.2023).
- 39) Krieger, R. Radioactivity of construction materials. / R. Krieger. – Text : electronic // Natural Science. – 1981. – Vol. 7. – P. 468. – URL: <https://goo.su/SYSYhS> (date of treatment: 26.08.2023).
- 40) Kryshev, A. I. Modelling the radioactive contamination of commercial fish species in the Barents Sea following a hypothetical short–term release to the Stepovogo Bay of Novaya Zemlya. / A. I. Kryshev, T. G. Sazykina, M. N. Katkova, A. A. Buryakova, I. I. Kryshev. – Text : electronic // J. Environ. Radioact. – 2022. – P. 244–245. –DOI: 10.1016/j.jenvrad.2022.106825 (date of treatment: 04.05.2023).
- 41) Kurnaz, A. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Firtina Valley (Rize, Turkey) / A. Kurnaz, B. Küçükömeroğlu, R. Keser, N. T. Okumusoglu, F. Korkmaz, G. Karahan, U. Çevik. – Text : electronic // Applied Radiation and Isotopes, – 2007. – №65(11). – P. 1281–1289. – DOI: <https://10.1016/j.apradiso.2007.06.001> (date of treatment: 09.02.2023).
- 42) Lee, J. K. W. Ar–ar and k–ar dating / J. K. W. Lee. – Text : electronic // Encyclopedia of Earth Sciences Series. – 2015. – No 6/н. – P. 58–73. – DOI:10.2138/rmg.2002.47.17 (date of treatment: 09.02.2023).
- 43) Łokas E. Accumulation of atmospheric radionuclides and heavy metals in cryoconite holes on an Arctic glacier / E. Łokas, A. Zaborska, M. Kolicka et al. – Text : electronic // Chemosphere. – 2016. – Vol. 160. – P. 162–172. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.06.051 (date of treatment: 22.08.2023).
- 44) Łokas, E. Sources and vertical distribution of ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu and ²⁴¹Am in peat profiles from southwest Spitsbergen. / E. Lokas, J. Mietelski, M. Ketterer. – Text : electronic // Appl Geochem. – 2013. – P. 100. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.10.027> (date of treatment: 11.02.2023).
- 45) Łokas, E. Unveiling the extreme environmental radioactivity of cryoconite from a Norwegian glacier / E. Łokas, W. Wachniew, G. Baccolo et al. – Text : electronic // Science of The Total Environment. – 2022 – Vol. 814. – Article № 152656. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152656 (date of treatment: 25.05.2023).
- 46) Łokas, E. Variations in Pu isotopic composition in soils from the Spitsbergen (Norway): Three potential pollution sources of the Arctic region / Łokas, E., R. Anczkiewicz, R. Kierepko, J. Mietelski. – Text : electronic // Chemosphere. – 2017 – Vol. 178. – P. 231–238. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.03.054 (date of treatment: 04.02.2023).
- 47) Macdonald, C. R. Regional variation in radionuclide concentrations and radiation dose in caribou (*Rangifer tarandus*) in the Canadian Arctic / C. R. Macdonald, L. L. Ewing, B. T. Elkinb, A. M. Wiewela. – Text : electronic // The Science of the Total Environment. – P. 53–73. – DOI: 10.1016/0048–9697(95)05037–x. . – Date of publication: May 1996.
- 48) Marshall, B. D. Potassium–calcium decay system. In: Geochemistry. Encyclopedia of Earth Science. / B. D. Marshall. – Text : electronic // Springer, Dordrecht. – 1998. – P. 134. – DOI: https://doi.org/10.1007/1–4020–4496–8_260 (date of treatment: 13.03.2023).
- 49) Martin-Garin, A. Quantitative assessment of radionuclide migration from nearsurface radioactive waste burial sites: the waste dumps in the Chernobyl exclusion zone as an example / A.

Martin–Garin, V. Meir, C. Simonucci, V. Kashparov, D. Bugai. – Text : electronic // Woodhead Publishing. – 2012. – P. 570 –600. – DOI: 10.1533/9780857097194.3.570 (date of treatment: 15.03.2023).

50) Measurement and Calculation of Radon Releases from NORM Residues / Austria : IAEA, 2013. – Technical Reports Series, №474. – P. 103. – ISBN 978–92–0–142610–9.

51) Mietelski, J. Plutonium from Chernobyl in Poland. / J. Mietelski, B. Wąs. – Text : electronic // Applied Radiation and Isotopes. – 1995. – №46. – P. 1203–1211. – DOI: 10.1016/0969–8043(95)00162–7 (date of treatment: 15.03.2023).

52) Miki, S. Concentrations of ^{90}Sr and $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ activity ratios in marine fishes after the Fukushima Dai–ichi Nuclear Power Plant accident. / S. Miki, K. Fujimoto, Y. Shigenobu, D. Ambe, H. Kaeriyama, K. Takagi, T. Ono, T. Watanabe, H. Sugisaki, T. Morita. – Text : electronic // Fish. Oceanogr. – №26(2). – P. 221–233. –DOI: 10.1111/fog.12182. – Date of publication: Nov. 2016

53) Milenkovic, B. Evaluation of heavy metals and radionuclides in fish and seafood products. / B. Milenkovic, J. M. Stajic, N. Stojic, M. Pucarevic, S. Strbac. – Text : electronic // Chemosphere. – №229. – P. 324–331. –DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.04.189. – Date of publication: Aug. 2019

54) Militaryrussia : сайт. – Москва, 2009. – URL: <http://militaryrussia.ru/> (дата обращения: 16.02.2023). – Текст: электронный

55) NEA-OECD. Exposure to Radiation from Natural Radioactivity in Building Materials. – Text : electronic / Open Journal of Marine Science. – 1979. – Vol.7 №3. – P. 154 – URL: <https://goo.su/4RWHFFV> (date of treatment: 17.03.2023).

56) Obu, J. Northern Hemisphere permafrost map based on TTOP modelling for 2000–2016 at 1 km² scale. / J. Obu, S. Westermann, A. Bartsch, N. Berdnikov, H. H. Christiansen, A. Dashtseren, ... D, Zou. – Text : electronic // Earth–Science Reviews. – 2019. – №193. – P. 299–316. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.023> (date of treatment: 17.03.2023).

57) Ohtsuka, Y. Daily Radionuclide Ingestion and Internal Radiation Doses in Aomori Prefecture, Japan. / Y. Ohtsuka, H. Kakiuchi, N. Akata, Y. Takaku, S. Hisamatsu. – Text : electronic // Health Physics. – 2013. – №105(4). – P. 340–350. – DOI: 10.1097/HP.0b013e31829ae95f (date of treatment: 23.07.2023).

58) Olos, G. Effective and environmental half–lives of radiocesium in game from Poland / G. Olos, A. Dolhanczuk–Srodka. – Text : electronic // Journal of Environmental Radioactivity. – 2022. – P. 248. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106870> (date of treatment: 24.04.2023).

59) Payandi-Rolland, D. Impact of freeze–thaw cycles on organic carbon and metals in waters of permafrost peatlands. / D. Payandi–Rolland, L. S. Shirokova, F. Labonne, P. Bénézech, O. S. Pokrovsky. – Text : electronic // Chemosphere. – 2021. – P. 279. – DOI:10.1016/j.chemosphere.2021.130510 (date of treatment: 23.07.2023).

60) Pereira, A. Estimation of the radon production rate in granite rocks and evaluation of the implications for geogenic radon potential maps: A case study in Central Portugal. / A. Pereira, R. Lamas, M. Miranda, F. Domingos, L. Neves, N. Ferreira, L. Costa. – Text : electronic // Journal of environmental radioactivity. – 2017. – №166. – P. 270–277. – DOI:10.1016/j.jenvrad.2016.08.022 (date of treatment: 21.07.2023).

61) Pokrovsky, O. S. Carbon, nutrient and metal controls on phytoplankton concentration and biodiversity in thermokarst lakes of latitudinal gradient from isolated to continuous permafrost. / O.S. Pokrovsky, R. M. Manasyrov, O. A. Pavlova, L. S. Shirokova, S. N. Vorobyev. – Text : electronic

// Science of The Total Environment. – 2022. – P. 806. – DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.151250 (date of treatment: 21.07.2023).

62) Povinec, P. P. Fukushima radionuclides in the NW Pacific, and assessment of doses for Japanese and world population from ingestion of seafood. / P. P. Povinec, K. Hirose. – Text : electronic // Sci. Rep. – 2015. – P. 5. – DOI: 10.1038/srep09016 (date of treatment: 18.04.2023).

63) Puchkov, A. V. Radon flux density in conditions of permafrost thawing: simulation experiment / A. V. Puchkov, E. V. Berezina, E. Y. Yakovlev, N. Hasson, S. V. Druzhinin, A. S. Tyshov, P. I. Lapikov, E. V. Ushakova, L. S. Koshelev. – Text : electronic // Geography Environment Sustainability. – 2022. – Vol. 15. № 3. – P. 5–18. – DOI: <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2022-023> (date of treatment: 08.06.2023).

64) Puchkov, A. V. Radon hazard in permafrost conditions: Current state of research. / A. V. Puchkov, E. Y. Yakovlev, N. Hasson, G. A. Sobrinho, Y. V. Tsykareva, A. S. Tyshov, ... E. V. Ushakova. – Text : electronic // Geogr. Environ. Sustain. – 2021. – P. 24. – DOI:10.24057/2071-9388-2021-037 (date of treatment: 08.06.2023).

65) Puchkov, A.V. Assessing the natural and anthropogenic radionuclide activities in fish from Arctic rivers (Northwestern Russia) / A. V. Puchkov, E. Y. Yakovlev, A. S. Druzhinina, S. V. Druzhinin. – Text : electronic // Pollution. – 2023 – Vol. 9. № 3. – P. 1098–1116. – DOI: <https://doi.org/10.22059/POLL.2023.350148.1668> (date of treatment: 19.06.2023).

66) Radiological Protection and Safety in Medicine – Text : electronic / ICRP Publication. – 1996. – №73. – URL: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2073> (date of treatment: 18.07.2023).

67) Sakakibara, K. Groundwater age and mixing process for evaluation of radionuclide impact on water resources following the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident / K. Sakakibara, S. Iwagami, M. Tsujimura, Y. Abe, M. Hada, I. Pun, Y. Onda. – Text : electronic // Journal of Contaminant Hydrology. – 2019. – V.2 23. – P. 1–9. – DOI: 10.1016/j.jconhyd.2019.03.006 (date of treatment: 14.03.2023).

68) Schleich, B. N. Natural and artificial radionuclides in forest and bog soils: Tracers for migration processes and soil development. Radiochim / B. N. Schleich, D. Degering, S. Unterricker. – Text : electronic // Acta. – 2000. – №88. – P. 803–808. –DOI:10.1524/ract.2000.88.9-11.803 (date of treatment: 20.06.2023).

69) Shirokova, L. S. Lichen, moss and peat control of C, nutrient and trace metal regime in lakes of permafrost peatlands. / L. S. Shirokova, A. V. Chupakov, I. S. Ivanova, O. Y. Moreva, S. A. Zabelina, N. A. Shutskiy, ... O. S. Pokrovsky. – Text : electronic // Science of the Total Environment. – 2021. – P. 782. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146737 (date of treatment: 22.06.2023).

70) Smith, J. N. 239,240Pu transport into the Arctic Ocean from underwater nuclear tests in Chernaya Bay, Novaya Zemlya / J. N. Smith, K. M. Ellis, L. Polyak, G. Ivanov, S. L. Forman, S. B. Moran. – Text : electronic // Cont. Shelf Res. – 2000. – №20(3). – P. 255–279. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.05.017> (date of treatment: 12.07.2023).

71) Smith. H. International Commission on radiological protection. Protection against radon-222 at home and at work / H. Smith. – ICRP, 1993. – №23(2). – P. 1–45. – ISBN 0 08 042475 9.

72) Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) / AMAP, CAFF. – Oslo, Norway, 2017. – ISBN 978-82-7971-101-8.

73) Sources and effects of ionizing radiation / NewYork: United Nations, 2000. –ISBN 92-1-142238-8.

- 74) Stein, F. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. / F. Stein, R. P. Draxler, G. D. Rolph, B. J. Stunder, M. D. Cohen, F. Ngan. – Text : electronic // Bull Am Meteorol Soc – 2015. – №96(12). – P. 2059–2077. – DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1> (date of treatment: 12.07.2023).
- 75) Stephenson, M.T. A Survey of Produced Water Studies. – Text : electronic / M. T. Stephenson. – Springer, Boston. – 1992. P. 214. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2902-6_1 (date of treatment: 02.07.2023).
- 76) Strand, P. On the divergences in assessment of environmental impacts from ionising radiation following the Fukushima accident / P. Strand, S. SundellBergman, J.E. Brown, M. Dowdall. – Text : electronic// Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – V. 169–170. – P. 159–173. – DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.12.005 (date of treatment: 07.01.2023).
- 77) Strand, P. Radioactive contamination in the Arctic—sources, dose assessment and potential risks / P. Strand, B. J. Howard, A. Aarkrog, M. Balonov, Y. Tsaturov, J. M. Bewers, A. Salo, M. Sickel, R. Bergman, K. Rissanen. – Journal of Environmental Radioactivity, 2002. – №60. – P. 5–21. – ISBN 82-7971-017-5.
- 78) Streletskiy, D. A. Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost. / D. A. Streletskiy, L. J. Suter, N. I. Shiklomanov, B. N. Porfiriev, D. O. Eliseev. – Text : electronic // Environmental Research Letters. – №14(2). – P. 250. – DOI:10.1088/1748-9326/aaf5e6. – Date of publication: Feb. 2019.
- 79) Streletskiy, D. Permafrost degradation. – Text : electronic / D. Streletskiy. – Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters. – 2021. – P. 297–322 – DOI: 10.1016/B978-0-12-817129-5.00021-4 (date of treatment: 30.06.2023).
- 80) Streletskiy, D. The costs of Arctic infrastructure damages due to permafrost degradation. / C. Streletskiy, S. Clemens, J. Lanckman, N. Shiklomanov. – Text : electronic // Environmental Research Letters. – 2023. – P. 18. – DOI: 10.1088/1748-9326/acab18. (date of treatment: 30.06.2023).
- 81) The International Food Safety Authorities Network (INFOSAN), World Health Organization Food and Agriculture Organization progress report 2004–2010 / WHO, 2011. – ISBN 9789241501286.
- 82) Thu, H. N. The effects of some soil characteristics on radon emanation and diffusion. / H. Thu, N. Van Thang. – Text : electronic // Journal of environmental radioactivity. – 2020. – P. 216. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106189> (date of treatment: 13.06.2023).
- 83) Tracy, B. L. Health impact of radioactive debris from the satellite Cosmos- 954 / B. L. Tracy, F. A. Prant, J. M. Quinn. – Text : electronic // Health Phys. – 1984. – №47. – P. 225–233. – DOI: 10.1097/00004032-198408000-00001 (date of treatment: 13.06.2023).
- 84) Turhan S., Gunduz L. Determination of Specific Activity of ²²⁶Ra, ²³²Th and ⁴⁰K for Assessment of Radiation Hazards from Turkish Pumice Samples. / S. Turhan, L. Gunduz. – Text : electronic // Journal of Environmental Radioactivity. – 2008. – №99. – P. 332–342. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.08.022> (date of treatment: 18.03.2023).
- 85) UNSCEAR 2008. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. – Text : electronic / New York: United Nations Publication. – URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=10199> (date of treatment: 06.08.2023).
- 86) Veiga, R. Measurement of natural radioactivity in Brazilian Beach sands / R. Veiga, N. Sanches, R. M. Anjos, K. Macario, J. Bastos, M. Iguateny. – Text : electronic // Radiation

Measurements. – 2006. – №41(2). – P. 189–196 – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2005.05.001> (date of treatment: 15.06.2023).

87) Yakovlev, E. Assessment of current natural and anthropogenic radionuclide activity concentrations in the bottom sediments from the Barents Sea / E. Yakovlev, A. Puchkov. – Text : electronic // Mar. Pollut. Bull. – 2020. – P. 160. – DOI: [10.1016/j.marpolbul.2020.111571](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111571) (date of treatment: 10.05.2023).

88) Yakovlev, E. Assessment of the Impact of Anthropogenic Drainage of Raised Peat–Bog on Changing the Physicochemical Parameters and Migration of Atmospheric Fallout Radioisotopes in Russia's Subarctic Zone (Subarctic Zone of Russia). / E. Yakovlev, A. Orlov, A. Kudryavtseva, S. B. Zykov, I. Zubov. – Text : electronic // Applied Sciences. – 2023. – P. 13. – DOI: [10.3390/app13095778](https://doi.org/10.3390/app13095778) (date of treatment: 10.06.2023).

89) Yakovlev, E. Yu. Distribution of trace metals and an environmental risk assessment of the river sediments in the area of the Lomonosov diamond deposit (NW Russia). / E. Yu. Yakovlev, A. I. Malov, S. V. Druzhinin, E. N. Zykova, A. V. Malkov, D. D. Bedrina. – Text : electronic // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – P. 45. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09809-7> (date of treatment: 15.06.2023).

90) Yakovlev, E. Yu. Assessing the natural and anthropogenic radionuclide activities of the Pechora River estuary: Bottom sediments and water (Arctic Ocean Basin) / E. Yu. Yakovlev, A. V. Puchkov, V. M. Bykov. – Text : electronic // Marine Pollution Bulletin. – 2021. – Vol. 172, article № 112765. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112765> (date of treatment: 10.06.2023).

91) Zaidan, J. Natural Occurring Radioactive Materials (NORM) in the oil and gas industry. – Text : electronic / J. Zaidan. – Journal of Petroleum Research and Studies. – 2021. – №1. – P. 4–21. – DOI: [10.52716/jprs.v1i1.22](https://doi.org/10.52716/jprs.v1i1.22) (date of treatment: 10.06.2023).

92) Zolkos, S. Detecting and Mapping Gas Emission Craters on the Yamal and Gydan Peninsulas, Western Siberia / S. Zolkos, G. Fiske, T. Windholz, G. Duran, Z. Yang, V. Olenchenko, ... S. M. Natali. – Text : electronic // Geosciences. – 2021. №11(1). – P. 21. – DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences11010021> (date of treatment: 10.05.2023).

93) Zotina, T. A. Time-dependent trends of artificial radionuclides in biota of the Yenisei River (Siberia, Russia) / T. A. Zotina, E. A. Trofimova, D. V. Dementyev. – Text : electronic // J. Environ. Radioact. – 2019. – P. 208–209. DOI: [10.1016/j.jenvrad.2019.106028](https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106028) (date of treatment: 24.05.2023).

94) Абдрахманов, Р. Ф. Радиоактивные элементы в нефтедобывающих и горнопромышленных системах Южного Урала / Р. Ф. Абдрахманов, Р. М. Ахметов. – Текст: электронный // Новые идеи в науках о земле: сб. материалов. – М., 2007. – С. 187–189. URL: http://ig.ufaras.ru/File/E2009/36_02_09.pdf (дата обращения: 13.02.2023).

95) Адамян, В. Л. Проблемы радиационной безопасности в контексте национального проекта "Здоровье" / В. Л. Адамян, К. С. Жижин. – Текст: непосредственный // Инновации и инвестиции. – 2015. – № 9. – С. 171–173.

96) Алимова, Г. С. СОДЕРЖАНИЕ ¹³⁷CS И ⁴⁰K В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И РЫБАХ Р. ИРТЫШ И Р. ТОБОЛ / Г. С. Алимова, И. Н. Уткина. – Текст: электронный // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 9–1. – С. 101–104. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=10199>. (дата обращения: 09.04.2023).

97) Андрушин, И. А. Ядерные испытания СССР. Том 4. Использование ядерных взрывов для решения народнохозяйственных задач и научных исследований. / И. А. Андрушин,

Н. П. Волошин, Ю. В. Дубасов, Р. И. Илькаев, В. Н. Михайлов, К. В. Мясников, А. К. Чернышев. – Саров: РФЯЦ–ВНИИЭФ, 2000. – 200 с. – Текст: непосредственный.

98) Антонов, Ю.И. Радиогидрогеология: (Учеб. пособие) / Ю. И. Антонов, В. В. Елизарьева. – Днепропетровск: ДГИ, 1978. – 82 с.

99) Арбузов, С. И. Геохимия радиоактивных элементов. Учебное пособие / С. И. Арбузов, Л. П. Рихванов. – Издательство Томского Политехнического Университета, Томск, 2010. – 300 с. – ISBN: 978–5–98298–567–5. – Текст: непосредственный.

100) Астахов, Н. Е. Радоновые аномалии некоторых зон разломов Бурятии как фактор радиационного риска / Н. Е. Астахов, С. В. Бартанова, Ц. А. Тубанов. – Текст: непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, – 2015. – Т. 17, № 5. – С. 21–25.

101) Атлас Архангельской области. – М.: Главное управление геодезии и картографии, 1976, – 72 с. – Текст: непосредственный

102) Ахметов, Р. М. Техногенная деградация почв нефтедобывающих районов Южного Предуралья / Р. М. Ахметов, Ш. М. Хусаинов, И. Ю. Лешан. – Текст: непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, – 2011. – Т. 13, № 5–2. – С. 39–42.

103) Бадрутдинов, О. Р. Радиоактивность экосистем: учебное пособие / О. Р. Бадрутдинов, Р. С. Тюменев, Э. А. Шурлев, М. Н. Мукминов. – Казань: Казан. ун–т, 2017. – 201 с. – Текст: непосредственный

104) Баженов, А. В. Распределение радионуклидов в донных отложениях дельты Северной Двины / А. В. Баженов, Г. П. Киселев, С. В. Дружинин. – Текст: непосредственный // Современные проблемы эрозионных, русловых и устьевых процессов : материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и XXXI пленарного межвузовского координационного совещания, Архангельск, 26–30 сентября 2016 года. – Архангельск: ООО «Издательский центр А3+», 2016. – С. 57–59.

105) Баженов, А. В. Цезий–137 в почвах Архангельской области : специальность 25.00.36 : автореферат дис. ... кандидата геолого–минералогических наук / Баженов Александр Викторович ; Ин–т геоэкологии РАН. – Москва, 2001. – 23 с. – Текст: непосредственный.

106) Балакина, О. Н. Состояние наблюдений и работ в устьевой области Печоры / О. Н. Балакина, В. А. Волик, Л. М. Дуркина, В. Ф. Полонский. – Текст: непосредственный // Труды ГОИН, 2013. – Вып. 214. С. 96–107.

107) Баранов, В. И. Радиогидрогеология / В. И. Баранов, Н. А. Титаева – М.: МГУ, 1973 – 245 с. – Текст: непосредственный.

108) Белонин, М. Д. Тимано–Печорская провинция: геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения / М. Д. Белонин, О. М. Прищепа, Е. Л. Теплов, Г. Ф. Буданов, С. А. Данилевский. – Текст : электронный // С.–Петербург: Недра. – 2004. – 396 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qkhjdt> (дата обращения: 27.07.2023).

109) Белоусова, А. П. Экологическая гидрогеология: Учебник для вузов / А. П. Белоусова, И. К. Гавич, А. Б. Лисенков, Е. В. Попов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 397 с. ISBN: 5–94628–195–Х. – Текст: непосредственный.

110) Библин, А. М. Радиационная обстановка в районе проведения мирного ядерного взрыва «Пирит» / А. М. Библин, Е. В. Храмцов, В. С. Репин, С. А. Иванов, К. В. Варфоломеева, К. А. Седнев, Ю. М. Богомолова. – Текст: электронный // Радиационная гигиена. – 2022. – Том

15, № 4. – С. 149–161. – DOI: 10.21514/1998–426X–2022–15–4–149–161 (дата обращения: 19.06.2023).

111) Библин, А. М. Радиационно–гигиенические исследования в месте проведения мирного ядерного взрыва «Горизонт–1» на территории Республики Коми. / А. М. Библин, Е. В. Храмцов, С. А. Иванов, К. А. Седнев, А. Г. Георгиева. – Текст: электронный // Сборник тезисов Всероссийской научно–практической конференции с международным участием «Радиационная гигиена и непрерывное профессиональное образование: новые вызовы и пути развития». – Москва, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998–426X–2021–14–1–111–123> (дата обращения: 13.02.2023).

112) Богоявленский, В. И. Катастрофа на Кумжинском газоконденсатном месторождении: причины, результаты, пути устранения последствий / В. И. Богоявленский, И. В. Богоявленский, В. М. Бойчук [и др.]. – Текст: электронный // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 1(25). – С. 32–46. DOI: 10.25283/2223–4594–2017–1–32–46 – Текст: электронный. (дата обращения: 28.01.2023).

113) Большаков, В. А. Почвы. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛЬНОСТИ ТОРФЯНЫХ И ОТОРФОВАННЫХ ГОРИЗОНТОВ ПОЧВ / В. А. Большаков, Л. А. Воробьева, Г. В. Добровольский [и др.]. – Текст: электронный // Москва. – 1989. – С. 54. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294826/4294826948.htm> (дата обращения: 12.05.2023).

114) Булатов, В. И. Отходы нефтегазового комплекса как технологический индикатор геоэкологического состояния регионов России / В. И. Булатов, Н. О. Игенбаева, О. А. Нанишвили. – Текст: электронный // Бюллетень науки и практики. – 2021. – Т. 7, № 8. – С. 46–55. – DOI 10.33619/2414–2948/69/05 (дата обращения: 03.03.2023).

115) Булатов, В. И. Россия радиоактивная / В.А. Булатов. – Новосибирск: ЦЭРИС, 1996. – 272. с. ISBN: 5–7007–0024–7. – Текст: непосредственный.

116) Валиев, В. С. Нефтяные углеводороды в донных отложениях: состав, идентификация, механизмы трансформации (обзор) / В. С. Валиев, Д. В. Иванов, Р. Р. Шагидуллин. – Текст: непосредственный // Российский журнал прикладной экологии, – 2020. – № 1(21). – С. 41–51.

117) Васильченко, А. В. Проблема экологической оценки загрязнения почв нефтепродуктами / А. В. Васильченко, Т. С. Воеводина. – Текст: непосредственный // Вестник Оренбургского государственного университета, – 2015. – № 10(185). – С. 147–151.

118) Гепортал Архангельской области: сайт / Архангельск, 2023. – URL: www.maps29.ru (дата обращения: 19.03.2023). – Текст: электронный. Гетман, А. Разведка и добыча полезных ископаемых в НАО / А. Гетман. – Текст: электронный // Заполярный регион. – 2008. – №6. – URL: <https://www.info83.ru/nao–about/razvedka–dobicha–nefti> (дата обращения: 12.05.2023).

119) ГИС НАО : сайт. – 2023. – URL: <https://gisnao.ru/> (дата обращения: 20.05.2023). – Текст : электронный.

120) Гисметео: сайт / Москва, 2023. URL: <https://www.gismeteo.ru/news/> (дата обращения: 12.05.2023). – Текст: электронный. (дата обращения: 22.05.2023).

121) Государственный водный реестр: сайт / Москва, 2023. – URL: <https://textual.ru/gvr/> – Текст: электронный. (дата обращения: 22.05.2023).

122) Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2018 году» : гос. доклад / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «Территориальный фонд информации Республики Коми» ;

редакционная коллегия: Р.В. Полшведкин (главный редактор) [и др.]. – Сыктывкар, 2019. – 163 с. – Текст: непосредственный.

123) Григорьев, В. А. О возможности датирования донных осадков малых водотоков методом неравновесного свинца-210 / В. А. Григорьев, А. Ю. Опекунов – Текст: электронный. // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-запада России. – 2020. – № 7. – С. 281–286. – DOI 10.24411/2687–1092–2020–10746 (дата обращения: 22.04.2023).

124) Данилов, М. А. Апатит–титан–ванадиевое оруденение в щелочных габбро на Северном Тимане / М. А. Данилов, В. А. Скрипниченко. – Текст: непосредственный // Геология рудных месторождений, 1980. – № 1. – С. 102–106.

125) Данилов, М. А. Апатит–титан–ванадиевое оруденение в щелочных габбро на Северном Тимане / М. А. Данилов, В. А. Скрипниченко. – Текст: непосредственный // Геология рудных месторождений, 1980. – № 1. – С. 102–106.

126) Двадненко, М. В. ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕФТИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ / М. В. Двадненко, Р. В. Маджигатов, Н. А. Ракитянский. – Текст: непосредственный // Международный журнал экспериментального образования, 2017. – № 3. – С. 89–90.

127) Державин, Л. М. Почвы. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА / Л. М. Державин, С. Г. Самохвалов, Н. В. Соколова, А. Н. Орлова, К. А. Хабарова, В. Г. Прижукова, С. Я. Приваленкова. – Текст: электронный // Москва. – 1993. – С. 45. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294828/4294828267.htm> (дата обращения: 12.05.2023).

128) Долгирев, Е. И. Детекторы ядерных излучений / Е. И. Долгирев. – Текст: непосредственный // Л.: Атомиздат, 1966. С. 80.

129) Доценко, И. В. О связи содержания ртути и органического вещества в донных отложениях по профилю река Дон–Азовское море / И. В. Доценко, Ю. А. Федоров, А. В. Михайленко, Л. Ю. Дмитрик. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Северо–Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2015. – № 3(187). – С. 96–102.

130) Евстифеева, Т. А. Осуществление контроля за загрязнением окружающей среды радионуклидами при добыче нефти на царичаенском месторождении / Т. А. Евстифеева, Д. И. Шарипова, А. Г. Зулъкарнаева. – Текст: непосредственный // Перспективы развития науки и образования : Сборник научных трудов по материалам XXIX международной научно–практической конференции. – Москва: Индивидуальный предприниматель Туголуков Александр Валерьевич, 2018. – С. 536–541.

131) Езимова, Ю. Е. Закономерности проявления разломов Печоро–Колвинского авлакогена в поле радона / Ю. Е. Езимова, В. В. Удоратин, А. Ш. Магомедова. – Текст: непосредственный // Вестник Санкт–Петербургского университета. Науки о Земле, – 2022. – Т. 67, № 1. – С. 20–49.

132) Елисеев, Д. О. Транспортная инфраструктура арктических регионов России в условиях деградации вечной мерзлоты / Д. О. Елисеев, Ю. В. Наумова. – Текст: электронный // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2019. – №10–1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnaya-infrastruktura-arkticheskikh-regionov-rossii-v-usloviyah-degradatsii-vechnoy-merzloty> (дата обращения: 21.08.2023).

133) Зенченко, С. А. Сравнительный анализ поведения Cs–137 в донных отложениях озер / С. А. Зенченко, К. Е. Зимелис. – Текст: электронный // Международный государственный экологический университет. – 2002. – С. 2. URL: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/046/33046442. df?r=1&r=1 С.180–181 (дата обращения: 30.06.2023).

134) Игловский, С. А. Криолитозона Двинско–Мезенской равнины и полуострова Канин / С. А. Игловский, Ю. Г. Шварцман, И. Н. Болотов ; Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н. П. Лаверова РАН, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, Научно–учебный центр "Природные ресурсы Севера". – Екатеринбург : Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П.Лаверова Российской академии наук, 2010. – 122 с. – Текст: непосредственный.

135) Ильин, Г. В. Объекты инфраструктуры атомного флота как источник радиоактивного загрязнения Баренцева моря (на примере хранилища отходов в губе Андреева) / Г. В. Ильин, Н. Е. Касаткина, Д. В. Моисеев, И. С. Усягина. – Текст: непосредственный // Атомная энергия. – 2017. – Т. 122, № 2. – С. 108–114.

136) Интерфакс: сайт. / Москва, 2012. URL: <https://www.interfax.ru/russia/242201> – Текст: электронный. (дата обращения: 12.01.2023).

137) Калистратова, В. С. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов. / В. С. Калистратова, И. К. Беляев, Е. С. Жорова и соавт. – Изд. ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2012. ISBN – 978–5–9903385–3–1. – Текст: непосредственный.

138) Касимов, Н. С. Геохимия ландшафта / Н. С. Касимов, А. И. Перельман – Издательство Московского государственного университета. – Москва, 1999. – 610 с. – Текст: непосредственный.

139) Квачева, Ю. Е. Судебно–медицинские аспекты расследования радиационных инцидентов и аварий / Ю. Е. Квачева, Б. А. Кухта, Е. О. Грановская. – Текст: электронный // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2016. – № 5. – URL: <http://www.medradiol.ru> (дата обращения: 30.01.2023).

140) Киляков, А. В. История развития эманационных методов и их роль в нефтяной геологии на современном этапе / А. В. Киляков. – Текст: непосредственный // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле, 2013. – Т. 13, № 2. – С. 57–60.

141) Киселенко, А. Н. Водная сеть путей сообщения Европейского Северо–Востока и Приуралья Севера: анализ и прогноз / А. Н. Киселенко, Е. Ю. Сундуков, Н. А. Тарабукина. – Текст: непосредственный // Региональная экономика: теория и практика, 2015. – № 37(412). – С. 2–19.

142) Кичигин, А. И. «Водный промысел»: история производства радия в Республике Коми (1931–1956) / А. И. Кичигин, А. И. Таскаев. – Текст: электронный // Вопросы истории естествознания и техники. – 2004. – № 4. URL: <http://vivovoco.astronet.ru/VV/JOURNAL/VIET/NORD/RADIUM.HTM> (дата обращения: 30.01.2023).

143) Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов. – 5–е изд. – Москва : Энергоатомиздат, 1999. – 520 с. – ISBN 5–283–03063–6. – Текст: непосредственный.

144) Конторович, А. Э. Геология, ресурсы углеводородов шельфов арктических морей России и перспективы их освоения / А. Э. Конторович, М. И. Эпов, Л. М. Бурштейн [и др.]. – Текст: непосредственный // Геология и геофизика, – 2010. – Т. 51, № 1. – С. 7–17.

145) Коптев, Д. П. Норильский разлив: уроки и последствия / Д. П. Коптев. – Текст: непосредственный // Бурение и нефть, 2020. – № 7–8. – С. 3–9.

146) Копылов, И. С. Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края : монография / И. С. Копылов. – Текст: электронный // Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь. – 2021. – 501 с. – URL:

<http://www.psu.ru/files/docs/science/books/mono/kopylov-Geoekologiya-gidrogeologiya-i-inzhenernayageologiya-Permskogo-krauya.pdf> (дата обращения: 15.03.2023).

147) Кошкина, В. В. О морских перевозках радиоактивных отходов, образующихся при нефтегазодобыче на шельфе / В. В. Кошкина, В. И. Ярош. – Текст: непосредственный // Сборник научных трудов АО «ЦНИИМФ. – СПб., 2016. – С. 63–75.

148) Крайнева, О. В. Состав и свойства нефти как потенциальный фактор загрязнения геологической среды и методы его оценки (на примере прибрежной зоны Севера Тимано–Печорской провинции) : спец. 25.00.36 «Геоэкология» : автореф. диссер... канд. геол.–мин. наук / Крайнева Олеся Владимировна ; ФГАОУ ВПО Северный (Арктический) государственный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск, 2014. – 157 с. – Текст: непосредственный.

149) Краткая справка о результатах обследования аварии на нефтепроводе Возей – головные сооружения АО "Усинскнефть" и районов бассейна реки Печоры, подверженных ее воздействию 4–22 ноября 1994 года / СПб.: Региональный Центр "Мониторинг Арктики", 1994. – 35 с. – Текст: непосредственный.

150) Кривов, В. Д. Современное состояние и перспективы социально экономического развития Ненецкого автономного округа (к Дням Ненецкого автономного округа в Совете Федерации) / В. Д. Кривов, К. В. Шкред, А. Г. Саркисов, Т. А. Штукина, Д. Г. Владимиров, В. Е. Данилова, И. В. Макаренко. – Текст: электронный // Аналитический вестник. – 2020. – № 1 (744). – 81 с. – URL: http://council.gov.ru/activity/analytics/analytical_bulletins/112982/ (дата обращения: 15.03.2023).

151) Криночкина, О. К. Химическое и радиоактивное загрязнение природных сред при нефтедобыче / О. К. Криночкина, Л. А. Криночкин, В. Г. Стулов. – Текст: электронный // Разведка и охрана недр. – 2021. – № 8. – С. 60–65. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46507472> (дата обращения: 17.03.2023).

152) Крылов, А. А. Глинистые минералы как индикаторы условий позднечетвертичного осадконакопления в районе поднятия Менделеева, Американо-Азиатский бассейн Северного Ледовитого океана / А. А. Крылов, Р. Штайн, Л. А. Ермакова. – Текст: электронный // Литология и полезные ископаемые. – 2013. – № 6. – С. 507. – DOI 10.7868/S0024497X13060062 (дата обращения: 20.03.2023).

153) Кудельский, А.В. Постчернобыльская гидросфера Беларуси в районах радиоактивных выпадений (ретроспективный обзор) / А. В. Кудельский, Дж.Т. Смит, В. И. Пашкевич. – Текст: электронный // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2012. – № 4. – С. 293–309. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18060468> (дата обращения: 20.03.2023).

154) Кузовкин, А. М. Медико–биологическая оценка воздействий радиации на организм человека / А. М. Кузовкин. – Текст: непосредственный // Актуальные проблемы экологии и природопользования : Сборник научных трудов, Москва, 10–12 апреля 2014 года. Том Выпуск 16. – Москва: Российский университет дружбы народов, 2014. – С. 343–346.

155) Куртеева, Е. И. Результаты геоэкологического обследования участка берегового склона в селе Холмогоры / Е. И. Куртеева, А. Ю. Латкин. – Текст: непосредственный // Геологические опасности : материалы XV Всерос. конф. с межд. участием. – Архангельск, 2009. С. 151–154.

156) Кутьков, В. А. Радиологические свойства радиоактивных аэрозолей / В.А. Кутьков, Б. А. Кухта. – Текст: электронный // АНРИ. – 2006. – № 4(47). – С. 2–22. URL: <https://www.doza.ru/anry/archive/2006/4694/> (дата обращения: 24.05.2023).

157) Лаптева, Е. М. Экологическое состояние малой северной реки после аварийного выброса нефтепродуктов / Е. М. Лаптева, О. А. Лоскутова, Ю. В. Холопов. – Текст: электронный // Водные ресурсы. – 2019. – Т. 46, № 5. – С. 523–532. – DOI 10.31857/S0321-0596465523-532 (дата обращения: 24.05.2023).

158) Латкин, А. Ю. Геоэкологическое обследование компонентов природной среды, загрязненных нефтепродуктами / А. Ю. Латкин, Ю. Г. Шварцман. – Текст: непосредственный // Вестник АГТУ. Серия : Прикладная геоэкология, 2009. – Вып. 79. – С. 18–27.

159) Лебедев, В. А. Проблемы обеспечения радиационной безопасности в нефтедобывающей промышленности России / В. А. Лебедев, В. С. Карабута. – Текст : электронный // Молодой ученый. – 2016. – № 1 (105). – С. 257–261. – URL: <https://moluch.ru/archive/105/24728/> (дата обращения: 16.07.2023).

160) Левин, В. Е. Регистрация ионизирующих излучений / В. Е. Левин, Л. П. Хамьянов. – М.: Атомиздат, 1973. – Текст: непосредственный.

161) Линге, И. И. Радиозэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» / И. И. Линге И. И., И. И. Крышева. – ИБРАЭ РАН, ГК «Росатом» – М., 2021. – 555 с. – ISBN 978-5-907375-04-08. – Текст: непосредственный.

162) Лисин, Ю. В. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2011 году» / Ю. В. Лисин, А. А. Ермаков, О. Г. Козел, А. Н. Попов. – Текст: непосредственный // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «ТФИ РК». – Сыктывкар, 2012. С. 188.

163) Лоскутова, О. А. Фауна хирономид (Diptera, Chironomidae) реки Колва (бассейн Печоры) в условиях нефтяного загрязнения / О. А. Лоскутова, Н. И. Зеленцов, Г. Х. Щербина. – Текст: электронный // Биология внутренних вод. – 2015. – № 3. – С. 56–66. – DOI 10.7868/S0320965215030109 (дата обращения: 26.07.2023).

164) Лукин, А. А. Экосистема Печоры в современных условиях / А. А. Лукин, В. А. Даувальтер, А. П. Новоселов ; Кольский научный центр Российской академии наук; Комитет экологии Ненецкого автономного округа. – Апатиты : Кольский научный центр Российской академии наук, 2000. – 192 с. – Текст: непосредственный.

165) Макаревич, Т. А. Радиозэкология: пособие / Т. А. Макаревич. – Минск: БГУ, 2013. – 136 с. – ISBN: 978-985-518-923-8. – Текст: непосредственный.

166) Маренный, А. М. Закономерности формирования радонового поля в геологической среде / А. М. Маренный, А. А. Цапалов, П. С. Микляев, Т. Б. Петрова ; Федеральное медико-биологическое агентство, Федеральное гос. унитарное предприятие Научно-технический центр радиационно-технической безопасности и гигиены ФМБА России. – Москва : Перо, 2016. – 394 с. : ил., табл.; 25 см.; ISBN 978-5-906883-94-0. – Текст: непосредственный.

167) Маськов, М. И. Загрязнение поверхностных и подземных вод нефтепродуктами в бассейне Северной Двины / М. И. Маськов, В. В. Станиславец. – Текст: непосредственный // Актуальные проблемы экологического образования и охраны природы : материалы конференции. – Архангельск, 1997. – С. 174–180.

168) Матишов, Г. Г. Многолетняя динамика радиоактивного загрязнения Баренцево-Карского региона (1960–2013 гг.) / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, И. С. Усягина, Н. Е. Касаткина. – Текст: электронный // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 458, № 4. – С. 473. – DOI 10.7868/S0869565214280238 (дата обращения: 30.07.2023).

169) Методика измерений суммарной удельной активности альфа-излучающих радионуклидов в сыпучих материалах с применением альфа-бета-радиометра LB-770, 2003. С. 17. – Текст: непосредственный.

170) Методика измерений суммарной удельной активности бета-излучающих радионуклидов в сыпучих материалах с применением альфа-бета-радиометра LB-770, 2003. С. 17. – Текст: непосредственный.

171) Методика измерений удельной активности изотопов плутония в пробах почв, грунтов, донных отложений и горных пород альфа-спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой / Москва: ВИМС, 2013. – С. 15. – Текст: непосредственный.

172) Методика измерений удельной активности радионуклидов в счётных образцах на гамма-спектрометрах с использованием ПО «Spectra Line» / Москва : ООО «ЛСРМ», 2022. – 25 с. – Текст: непосредственный.

173) Методика измерений удельной активности стронция-90 в пробах почв, грунтов, донных отложений и горных пород бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой. / Москва : ФГУП «ВИМС», 2013. – 19 с. – Текст: непосредственный.

174) Минигазимов, Н. С. Охрана и рациональное использование водных ресурсов в нефтяной промышленности : специальность 11.00.11 : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Минигазимов Наил Султанович. – Уфа, 2000. – 342 с. – Текст: непосредственный.

175) Миронов, В. В. Особенности геологического строения и условий разработки силурийских залежей Верхневозейского месторождения / В. В. Миронов, И. А. Козлова. – Текст: непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело, 2012. – Т. 11, № 2. – С. 7–12.

176) Мискевич, И. В. Исследования экосистем эстуариев рек Чижа и Чёша на полуострове Канин / И. В. Мискевич, Д. С. Мосеев, В. В. Брызгалов. – Архангельск: Изд-во «КИРА», 2014. 107 с. ISBN: 978-5-98450-353-2. – Текст: непосредственный.

177) Мотузов, С. И. Геотектоническое развитие Печоро-Колвинского авлакогена и сравнительная оценка перспектив нефтегазоносности его структурных элементов : специальность 04.00.17 : автореферат дис. ... кандидата геолого-минералогических наук / Мотузов Сергей Иванович. – Москва, 1999. – 23 с. – Текст: непосредственный.

178) Мурашко, О. А. Трансформации традиционного образа жизни и питания коренного населения Ненецкого автономного округа / О. А. Мурашко, В. К. Даллманн – Текст: непосредственный // Вестник Московского университета, 2011. – Серия XXIII. №4. – С. 4–24.

179) Немировская, И. А. Трансформация углеводородов в зоне река – море в Арктике / И. А. Немировская, З. Ю. Реджепова, И. П. Трубкин. – Текст: непосредственный // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2016. – № 2(108). – С. 64–78.

180) Ненецкий округ стал лидером СЗФО по потреблению рыбы и рыбопродуктов – Текст: электронный // Портал государственных органов. – 2016. – URL: <https://adm-nao.ru/press/government/10877/> (дата обращения 27.03.2023).

181) Новиков, В. С. Радиационная безопасность и здоровье населения Беларуси / В. С. Новиков, А. Н. Лызикив, В. Н. Бортновский, К. Г. Вартамян. – Российская академия естественных наук, Гомельский государственный медицинский университет. – Санкт-Петербург : НПО "Профессионал", 2014. – 263 с. – ISBN 978-5-91259-097-9. – Текст: непосредственный.

182) Нозик, М. Л. Научно-методические основы обеспечения радиозоологической безопасности на предприятиях нефтегазового комплекса : специальность 25.00.36 "Геоэкология

(по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого–минералогических наук / Нозик Михаил Леонидович. – Москва, 2010. – 165 с. – Текст: непосредственный.

183) Омельчук, В. В. Радиационно–гигиеническая характеристика глобальных выпадений радионуклидов в арктических регионах России (по данным НИИ радиационной гигиены им. П. В. Рамзаева) / В. В. Омельчук. – Текст: электронный // Радиационная гигиена. – 2020. – Том 13 № 4. – С. 51–66. – DOI: 10.21514/1998–426X–2020–13–4–51–66 (дата обращения: 30.04.2023).

184) Онищенко, Г. Г. Основные направления обеспечения радиационной безопасности населения Российской Федерации на современном этапе / Г. Г. Онищенко, И. К. Романович. – Текст: электронный // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 5–22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23217732> (дата обращения: 28.02.2023).

185) Онякова, А. М. Проблемы освоения ресурсов нефти и газа на месторождениях Ненецкого автономного округа с учетом изменений в законодательстве РФ / А. М. Онякова. – Текст: электронный // Проблемы освоения нефтегазовых месторождений приарктических территорий России : Материалы научной конференции студентов и аспирантов высшей школы энергетики, нефти и газа, Архангельск, 01–30 апреля 2019 года. Том Выпуск 2. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. – 2019. – С. 75–79. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38583612> (дата обращения: 28.02.2023).

186) Отчет «Проведение исследовательских работ для получения исходных фоновых характеристик по химическим, гидробиологическим и радиометрическим показателям нефтегазоносных районов. – Текст: электронный / Научно–производственное предприятие «Экогео». – Амдерма. – 1992 год. – 115 с. – URL: <https://rfgf.ru/> (дата обращения: 17.02.2023).

187) Отчет о научно–исследовательской работе: «Изучение и анализ ресурсной базы углеводородного сырья на территории Тимано–Печорской нефтегазоносной провинции» Российская Академия наук. – Текст: электронный / Уральское отделение. Коми научный центр. Институт геологии. Сыктывкар. – 2005. – URL: <https://rfgf.ru/> (дата обращения: 17.02.2023).

188) Отчет о результатах аэрогеофизических работ масштаба 1:25000 – 1:50000, выполненных Канинской партией в 1972–1973 гг. на полуострове Канин. В двух томах. – Текст: электронный / Ленинград. – 1974. – Инв. № 1082. – URL: <https://rfgf.ru/> (дата обращения: 17.02.2023).

189) Отчет о результатах аэрогеофизических работ, выполненных Северотиманской, Сульской и опытно–методической партиями в 1971 году в пределах Северного Тимана и прилегающих площадей. В двух томах. – Текст: электронный / Ленинград. – 1972. – Инв. № 935. – URL: <https://rfgf.ru/> (дата обращения: 17.02.2023).

190) Оценка эффективной удельной активности природных радионуклидов в производственных отходах по мощности эквивалентной дозы гамма–излучения / П. Н. Кубарев, А. Ф. Хисамутдинов, Т. А. Сапугольцева [и др.]. – Текст: электронный // Сборник научных трудов ТатНИПИнефть / ТатНИПИнефть. Том Выпуск 80. – Москва : Всероссийский научно–исследовательский институт организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности. – 2012. – С. 341–347. URL: <https://elibrary.ru/rdvlrz> (дата обращения: 20.02.2023).

191) Очкин, А. В. Введение в радиоэкологию : Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Хим. технология материалов соврем. энергетики" / А. В. Очкин, Н. С. Бабаев, Э. П. Магомедбеков ; А. В. Очкин, Н. С. Бабаев, Э. П. Магомедбеков. – Москва : ИздАТ, 2003. – 199 с. – ISBN 5–86656–112–3. – Текст: непосредственный.

192) Павлов, А. Г. Миграция цезия–137 и стронция–90 в кормовой цепочке северного оленя в условиях Республики Саха, Якутия : специальность 03.00.01 : автореферат дис. ... кандидата биологических наук / Павлов Андрей Геннадьевич ; Моск. гос. акад. ветеринарной медицины и биотехнологии им. К. И. Скрябина. – Москва, 2000. – 16 с. – Текст: непосредственный.

193) Перспективы развития сырьевой базы нефтегазовой отрасли Тимано Печорской провинции / Н. Н. Тимонина, Т. В. Майдль, Н. Н. Рябинкина [и др.]. – Текст: электронный // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2018. – № 4(36). – С. 68–80. – DOI 10.19110/1994–5655–2018–4–68–80 (дата обращения: 19.02.2023).

194) Пилясов, А. Н. Экономика арктических «Островов» (на примере Ненецкого и Чукотского автономных округов) / А. Н. Пилясов, Н. В. Гальцева, Е. А. Атаманова. – Текст: электронный // Экономика региона. – 2017. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomika-arkticheskikh-ostrovov-na-primere-nenetskogo-i-chukotskogo-avtonomnyh-okrugov> (дата обращения: 16.02.2023).

195) Полонский, В. Ф. Влияние приливов на распределение стока воды в дельте Печоры / В. Ф. Полонский. – Текст: электронный // Арктика: экология и экономика. – 2012. – № 2(6). – С. 20–27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18878376> (дата обращения: 19.03.2023).

196) Полонский, В. Ф. Метод типовых графиков для определения расходов воды в приливных устьях рек / В. Ф. Полонский. – Текст: непосредственный // Водные ресурсы, 1987. – № 4. – С. 105–113.

197) Полонский, В. Ф. Распределение стока воды в устьевой области Печоры и тенденция его изменения / В. Ф. Полонский. – Текст: непосредственный // Труды ГОИН, 1984. – Вып. 172. – С. 96–110.

198) Полшведкин, Р. В. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2019 году» : гос. доклад / Р.В. Полшведкин (главный редактор) [и др.]. – Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «Территориальный фонд информации Республики Коми» ; редакционная коллегия. – Сыктывкар, 2020. – 162 с. – Текст: непосредственный.

199) Полшведкин, Р. В. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2019 году» : гос. доклад / Р. В. Полшведкин [и др.]. – Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «Территориальный фонд информации Республики Коми». – Сыктывкар, 2020. – 162 с. – Текст: непосредственный.

200) Польшов, Б. Б. Географические работы / Б. Б. Польшов. – Москва : Государственное издательство географической литературы, 1952. – 405 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=476798> (дата обращения: 06.08.2023). – Текст : электронный.

201) Постановление Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 №1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» / URL: <https://base.garant.ru/70247038/> (дата обращения: 30.04.2023). – Текст : электронный.

202) Постановление Правительства Российской Федерации от 6 июня 2013 г. № 477 "Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды" / Москва. – 2013. – URL: <https://base.garant.ru/70393142/#friends> (дата обращения: 30.04.2023). – Текст : электронный.

203) Прищепа, О. М. Углеводородный потенциал Арктической зоны России: состояние и тенденции развития / О. М. Прищепа, Л. С. Маргулис, Ю. В. Подольский, А. П. Боровинских. – Текст : электронный // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2014. – № 1. – С. 2–13. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=rvqqsb> (дата обращения: 29.07.2023).

204) Прищепа, О. М. Уточненная оценка нефтегазового потенциала Тимано Печорской провинции / О. М. Прищепа, А. В. Куранов, Е. И. Грохотов [и др.]. – Текст : электронный // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2020. – № 6(174). – С. 32–45. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44877739> (дата обращения: 24.07.2023).

205) Пудовкина, Е. С. Исследование экологического состояния реки Колвы на Харьятинском месторождении / Е. С. Пудовкина, В. Ф. Куксанов. – Текст : электронный // Естественные науки: актуальные вопросы и социальные вызовы : Материалы III Международной научно–практической конференции, Астрахань, 27–28 ноября 2020 года / Составители: Н.С. Шуваев, Е.А. Колчин. – Астрахань: Издательский дом "Астраханский университет". – 2020. – С. 146–149. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44695811> (дата обращения: 23.04.2023).

206) Пучков, А. В. Накопление радионуклидов в рыбе из рек северо западного сектора Российской Арктики / А. В. Пучков, А. С. Дружинина, Е. Ю. Яковлев, С. В. Дружинин. – Текст : электронный // АРКТИКА: ЭКОЛОГИЯ И ЭКОНОМИКА. 2023. Т. 13. № 1. С. 127–137. DOI: <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-1-127-137> (дата обращения: 23.04.2023).

207) Пучков, А. В. Радиационные параметры гидробионтов условно чистой территории Ненецкого автономного округа / А. В. Пучков, Е. Ю. Яковлев, С. В. Дружинин. – Текст : электронный // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 6. – С. 118–122. – DOI: <https://doi.org/10.17513/use.37420> (дата обращения: 23.04.2023).

208) Пучков, А. В. Радиоактивность нефтешлама: первые результаты исследований территории Большеземельской тундры / А. В. Пучков, Е. Ю. Яковлев, А. С. Дружинина, С. В. Дружинин. – Текст : электронный // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 10. – С. 75–80. – DOI 10.17513/use.37911. (дата обращения: 25.05.2023).

209) Радиационно–гигиеническое обследование территории проведения мирного ядерного взрыва «Пирит» в Ненецком автономном округе / А. М. Библин, Е. В. Храмцов, В. С. Репин [и др.]. – Текст: непосредственный // Здоровье и окружающая среда : СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, ПОСВЯЩЕННОЙ 95–ЛЕТИЮ РЕСПУБЛИКАНСКОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГИГИЕНЫ», Минск, 24–25 ноября 2022 года. – Минск: Издательский центр БГУ. – 2022. – С. 115–116.

210) Радиометрическая оценка территории Архангельской и Новгородской областей, Северо–Западной части Республики Коми с целью выявления и картирования экологически неблагоприятных площадей. Отчет АГП–4 о результатах экологической аэрогамма–спектрометрической съемки масштаба 1:1000000 на объекте Экосевер в 1990–1993 гг. Северо–Западный региональный геологический центр Петербургская геофизическая экспедиция, 1993. – Текст: непосредственный.

211) Радионуклиды ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs в почвах и донных отложениях территории космодрома "Восточный" (Амурская область) / Д. Н. Балыкин, А. В. Пузанов, С. Н. Балыкин [и др.]. – Текст : электронный // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2019. – № 3(54). – С. 98–104. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/radionuklidy-238u-232th-40k-137cs-v-pochvah-i-donnyh-otlozheniyah-territorii-kosmodroma-vostochnyy-amurskaya-oblast> (дата обращения: 25.05.2023).

212) Распоряжение Правительства Республики Коми от 30.11.2009 N 438-р "Об утверждении перечня автомобильных дорог общего пользования регионального или межмуниципального значения Республики Коми". Республика Коми, 2009. – Текст: непосредственный.

213) Рачкова, Н. Г. Формы нахождения радия-226 в компонентах наземных и водных северотаежных экосистем в районе расположения бывшего радиевого промысла / Н. Г. Рачкова, Л. М. Шапошникова. – Текст : электронный // Геохимия. – 2020. – Т. 65, № 6. – С. 599–608. – DOI 10.31857/S0016752520050106 (дата обращения: 25.05.2023).

214) Регнум : сайт. – 2009. – URL: <https://regnum.ru/news/1219380> (дата обращения: 16.02.2023). – Текст : электронный.

215) Результаты обследования территории проведения мирного ядерного взрыва «Глобус-3» / А. М. Библин, Е. В. Храмцов, С. А. Иванов [и др.]. – Текст : электронный // Хроническое радиационное воздействие: отдаленные медико-биологические эффекты : Материалы VII научной конференции с международным участием, Челябинск, 06–08 декабря 2022 года. – Челябинск: Челябинский государственный университет. – 2022. – С. 194–195. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=bpogvf> (дата обращения: 18.06.2023).

216) РИА новости : сайт. – 2020. – URL: <https://ria.ru/20200608/1572638450.html> (дата обращения: 20.06.2023). – Текст : электронный.

217) Рихванов, Л. П. Радиоактивные элементы в окружающей среде и проблемы радиэкологии / Л. П. Рихванов, С. И. Арбузов, Н. В. Барановская [и др.]. – Текст : электронный // Томск : СТТ. – 2009. – 430 с. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/radioaktivnye-elementy-v-okruzhayushchey-srede> (дата обращения: 20.06.2023).

218) Романович, И. К. НРБ / И. К. Романович, М. И. Балонов, А. Н. Барковский [и др.]. – Москва, 2009. – 101 с. – ISBN 978-5-7508-0805-2.

219) Руководство по эксплуатации. Комплекс измерительный для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов. ББЕК 590000.001 РЭ / Москва : ПК НТМ-Защита, 2014. С. 84. – Текст: непосредственный.

220) СанПиН 2.3.2.1078-01 / Министерство Здравоохранения РФ, 2002. – Текст: непосредственный.

221) Сапожников, Ю. А. Радиоактивность окружающей среды / Ю. А. Сапожников, Р. А. Алиев, С. Н. Калмыков. – М:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 286 с. – ISBN 978-5-9963-2791-1. – Текст: непосредственный.

222) Сезонность потребления традиционных продуктов оленеводства и речного рыболовства коренными жителями Арктической зоны Западной Сибири в условиях изменения климата / С. В. Андронов, А. А. Лобанов, И. В. Кобелькова [и др.]. – Текст : электронный // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 6. – С. 610–616. – DOI 10.47470/0016-9900-2021-100-6-610-616 (дата обращения: 20.07.2023).

223) Селин, В. С. Значение северных и арктических регионов в новых геоэкономических условиях развития России / В. С. Селин, Е. П. Башмакова. – Текст : электронный // Регион: экономика и социология. – 2010. – №. 3. – С. 23–39. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15235652> (дата обращения: 20.07.2023).

224) Скибинский, Л. Э. Современное гидрохимическое состояние прибрежных и устьевых акваторий Белого и Печорского морей : специальность 25.00.28 "Океанология" : диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук / Скибинский Леонид Эльич, Москва, 2003. – 160 с. – Текст: непосредственный.

225) Смыслов, А. А. Тепловой режим и радиоактивность Земли [Текст] / А. А. Смыслов, У. И. Моисеенко, Т. З. Чадович ; А.А. Смыслов, У.И. Моисеенко, Т.З. Чадович. – Л. : Недра. Ленингр. отд–ние, 1979. – 191 с. – Текст: непосредственный.

226) Стамат, И. П. Эффективная удельная активность природных радионуклидов в средах с нарушенным радиоактивным равновесием в рядах урана и тория / И. П. Стамат, Э. П. Лисаченко. – Текст : электронный. // Радиационная гигиена. – 2008. – Т. 1, № 1. – С. 27–31. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11992031> (дата обращения: 19.07.2023).

227) Стариченко, Б. Е. Обработка и представление данных педагогических исследований с помощью компьютера : Учебно пособие / Б. Е. Стариченко. – Екатеринбург : Уральский государственный педагогический университет, 2004. – 213 с. ISBN: 5–7686–0181–Х. – Текст: непосредственный.

228) Стратегические подходы к планированию обращения с затопленными объектами атомного флота / А. А. Саркисов, С. В. Антипов, В. П. Биляшенко, В. Л. Высоцкий. – Текст: непосредственный // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2013. – № 2. – С. 86–89.

229) Стратегия социально–экономического развития Ненецкого автономного округа до 2030 года (утверждена Постановлением Собрания депутатов № 256–сд от 07.11.2019). – 2019. – 124 с. – Текст: непосредственный.

230) Тарабукина, Н. А. Водные пути сообщения Печорского бассейна / Н. А. Тарабукина. – Текст: непосредственный // Проблемы развития транспортной инфраструктуры северных территорий : Материалы 2–й всероссийской научно–практической конференции, Котлас, 22–23 апреля 2016 года / Под редакцией С. А. Гладких. Том Выпуск 2. – Котлас: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2017. – С. 64–69.

231) ТАСС : сайт. – 2021. – URL: <https://tass.ru/proisshestviya/11388343> (дата обращения: 19.07.2023). – Текст : электронный.

232) Титаева, Н. А. Ядерная геохимия. 2–е издание. Учебник / Н. А. Титаева. – М. Изд.МГУ, 2000 г. – 336 с. – ISBN: 5–211–02564–4. – Текст: непосредственный.

233) Тихонов, М. Н. Дозообразующие радионуклиды / М. Н. Тихонов, М. И. Рылов. – Текст : электронный // ProAtom. – 2011. – URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=2995> (дата обращения: 20.05.2023).

234) Трапезников, А. В. Радиационно–гигиеническая оценка содержания и распределения Sr–90 и Cs–137 в ихтиофауне Обь–Иртышской речной системы / А. В. Трапезников, В. Н. Николкин, А. В. Коржавин, В. Н. Трапезникова. – Текст : электронный // Радиационная гигиена. – 2019. – Т.12. № 3. – С. 16–26. – DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-3-16-26> (дата обращения: 29.07.2023).

235) Третьякова, А. Н. К вопросу о радиоактивном загрязнении нефтегазовых месторождений / А. Н. Третьякова, А. А. Корнус. – Текст: непосредственный // Сумское отделение Украинского географического общества, Сумы, 2017.

236) Указ Президента Российской Федерации от 13.10.2018 № 585. – Текст : электронный / Москва. – 2018. – С. 6. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43631> (дата обращения: 24.07.2023).

237) Федоров, Ю. А. Естественные и техногенные радионуклиды в донных отложениях (на примере р. Дон, ст. Манычская) / Ю. А. Федоров, В. М. Ярославцев, И. В. Доценко. – Текст :

электронный // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2017. – № 3–1(195–1). – С. 108–113. – DOI 10.23683/0321–3005–2017–3–1–108–113 (дата обращения: 19.05.2023).

238) ФЗ №3. – Текст : электронный / Москва. – 1996. – С. 8. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/8724> (дата обращения: 24.07.2023).

239) Филов, В. А. Вредные вещества в окружающей среде. Справочно-энциклопедическое издание / В. А. Филов, И. Я. Василенко, О. И. Василенко, В. А. Калистратова, Ю. И. Москалев. – СПб.: НПО «Профессионал», 2006. – ISBN: 5–7245–0264–Х. – Текст: непосредственный.

240) Хайкович, И. М. Радиационный мониторинг и дезактивация промышленных объектов, загрязненных естественными радионуклидами в результате добычи углеводородного сырья / И. М. Хайкович, Н. А. Мац, Е. И. Крапивский, В. Н. Рыжаков. – Текст : электронный // Известия УГГУ. – 2003. – №17. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/radiatsionnyu-monitoring-i-dezaktivatsiya-promyslovyh-obektov-zagryaznennyh-estestvennymi-radionuklidami-v-rezultate-dobychi> (дата обращения: 21.08.2023).

241) Цапалов, А. А. Принцип обнаружения участков с активной геодинамикой на основе анализа отношения активностей Pb–210/Ra–226 в пробах грунта / А. А. Цапалов, П. С. Микляев, Т. Б. Петрова. – Текст : электронный // АНРИ. – 2013. – № 1(72). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18818385> (дата обращения: 30.04.2023).

242) Шоба, С. А. Национальный Атлас почв Российской Федерации / С. А. Шоба. – М.: Астрель: АСТ, 2011. – 632 с. – ISBN: 978–5271–37461. – Текст: непосредственный.

243) Шумилова, Ю. Н. Выявление зон экологической уязвимости природной среды территории Ненецкого автономного округа к потенциальному воздействию со стороны нефтедобывающего комплекса по результатам геоэкологического районирования / Ю. Н. Шумилова. – Текст : электронный // Вестник Поморского университета. Серия : Естественные и точные науки. – 2009. – № 1. – С. 40–46. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vyyavlenie-zon-ekologicheskoy-uyazvimosti-prirodnoy-sredy-territorii-nenetskogo-avtonomnogo-okruga-k-potentsialnomu-vozddeystviyu-so> (дата обращения: 14.07.2023).

244) Юдин, С. С. Радиоэкологическая обстановка в нефтепромысловых районах / С. С. Юдин. – Текст : электронный // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2004. – № 1. – С. 158–165. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/radioekologicheskaya-obstanovka-v-neftepromyslovyh-rayonah> (дата обращения: 14.07.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Таблица А.1 – Содержание Cs-137 и физико-химические параметры донных отложений рек Ненецкого автономного округа и Республики Коми

| Шифр пробы | Координаты | | Удельная активность Cs-137 Бк/кг | Зольность % | Органическое вещество % | Карбонаты | Particle size distribution, % | | | | | | | |
|------------|------------|----------|-------------------------------------|-------------|-------------------------|-----------|-------------------------------|------|------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | Широта | Долгота | | | | | 5 mm | 2 mm | 1 mm | 500 µm | 250 µm | 100 µm | 45 µm | <45 µm |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| НД-1 | 66,651 | 44,50103 | 1,2±0,6 | 98,19 | 1,81 | 1,15 | - | - | 0,27 | 6,80 | 6,63 | 73,30 | 12,00 | 1,00 |
| НД-2 | 66,64805 | 44,58648 | 3,2±0,8 | 97,13 | 2,87 | 2,10 | - | 0,02 | 0,22 | 15,20 | 24,38 | 44,30 | 14,93 | 0,94 |
| НД-3 | 66,6434 | 44,60722 | 4,5±0,4 | 98,16 | 1,84 | 2,15 | - | - | 0,13 | 3,56 | 15,94 | 62,13 | 16,78 | 1,26 |
| НД-4 | 66,61523 | 44,6479 | 2,7±0,4 | 97,19 | 2,81 | 2,61 | - | - | - | 1,02 | 10,22 | 66,68 | 20,48 | 1,61 |
| НД-5 | 66,59341 | 45,10892 | 0,6±0,2 | 99,24 | 0,76 | 0,28 | - | 0,15 | 0,13 | 0,31 | 59,01 | 36,65 | 3,31 | 0,43 |
| НД-6 | 66,58917 | 44,95752 | 6,5±1,2 | 97,31 | 2,69 | 0,51 | - | 0,03 | 2,49 | 20,91 | 53,63 | 16,67 | 5,39 | 0,88 |
| НД-7 | 66,58776 | 44,83672 | 13,6±1,4 | 98,82 | 1,18 | 0,20 | - | 0,02 | 0,12 | 0,51 | 69,86 | 27,71 | 1,62 | 0,16 |
| НД-8 | 66,58306 | 44,83674 | 19,3±1,9 | 96,89 | 3,11 | 1,65 | - | 0,89 | 1,63 | 3,42 | 20,41 | 52,10 | 20,98 | 0,57 |
| НД-9 | 66,57371 | 44,70165 | 9,8±1,1 | 97,69 | 2,31 | 2,12 | - | - | - | 3,68 | 35,49 | 31,86 | 25,46 | 3,51 |
| НД-10 | 66,57755 | 44,70104 | 1,7±0,5 | 99,56 | 0,44 | 0,12 | - | - | 1,46 | 4,24 | 14,41 | 47,65 | 30,92 | 1,31 |
| НД-11 | 66,72089 | 44,58617 | 2,3±0,3 | 97,44 | 2,56 | 1,86 | - | - | - | 0,35 | 15,93 | 82,61 | 1,01 | 0,10 |
| НД-12 | 66,72794 | 44,62276 | 2,1±0,6 | 97,54 | 2,46 | 4,59 | - | - | 0,50 | 10,11 | 23,40 | 51,91 | 13,88 | 0,20 |
| НД-13 | 66,67556 | 44,64404 | 4,4±1,0 | 98,56 | 1,44 | 0,95 | - | 0,68 | 1,69 | 9,24 | 31,49 | 48,54 | 6,20 | 2,16 |
| НД-14 | 66,62876 | 44,6541 | 4,8±0,9 | 97,07 | 2,93 | 0,57 | - | - | 1,12 | 7,03 | 37,65 | 38,81 | 13,06 | 2,33 |
| НД-15 | 66,5479 | 44,49712 | 36,0±3,2 | 94,02 | 5,98 | 3,51 | - | - | 0,82 | 3,93 | 12,87 | 28,37 | 49,36 | 4,65 |
| НД-16 | 66,58073 | 44,65375 | 15,3±2,3 | 95,78 | 4,22 | 3,02 | - | - | - | - | 4,57 | 59,28 | 32,02 | 4,13 |
| НД-17 | 66,60627 | 44,61204 | 22,9±3,7 | 94,63 | 5,37 | 2,95 | - | - | - | 2,56 | 10,30 | 47,26 | 35,89 | 3,99 |
| НД-18 | 66,62708 | 44,58845 | 19,1±3,6 | 94,72 | 5,28 | 2,21 | - | - | 2,94 | 5,43 | 9,65 | 36,78 | 41,65 | 3,55 |
| ВД-1 | 66,76902 | 45,90908 | 2,2±0,6 | 98,62 | 1,38 | 1,34 | 3,45 | 6,94 | 3,91 | 5,15 | 20,05 | 38,22 | 19,66 | 0,55 |
| ВД-2 | 66,62795 | 45,89398 | 1,2±0,5 | 96,16 | 3,84 | 2,26 | - | 0,24 | 1,83 | 4,96 | 22,08 | 50,06 | 19,50 | 1,33 |
| ВД-3 | 66,52812 | 45,85337 | 2,6±0,8 | 97,55 | 2,45 | 2,16 | - | - | - | 2,58 | 30,89 | 40,19 | 24,85 | 1,49 |
| ВД-4 | 66,81958 | 46,01422 | 0,6±0,2 | 98,99 | 1,01 | 1,98 | - | - | 2,40 | 3,21 | 26,45 | 42,38 | 24,61 | 0,95 |
| ВД-5 | 66,72256 | 45,88925 | 0,8±0,3 | 99,85 | 0,15 | 2,33 | - | - | - | 5,52 | 29,52 | 48,36 | 15,82 | 0,78 |
| ВД-6 | 66,68963 | 45,88702 | 2,3±0,6 | 97,78 | 2,22 | 2,95 | - | - | 4,58 | 10,20 | 18,53 | 40,81 | 24,56 | 1,32 |
| ВД-7 | 66,59481 | 45,87397 | 2,9±0,8 | 97,14 | 2,86 | 1,15 | - | - | 5,68 | 13,72 | 14,35 | 35,73 | 28,95 | 1,57 |

Продолжение таблицы А.1 – Содержание Cs-137 и физико-химические параметры донных отложений рек Ненецкого автономного округа и Республики Коми

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-------|----------|----------|---------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ВД-8 | 66,55936 | 45,8538 | 2,4±0,7 | 96,85 | 3,15 | 2,98 | - | - | - | 0,35 | 23,12 | 49,64 | 25,74 | 1,15 |
| ВД-9 | 66,49017 | 45,78993 | 1,7±0,5 | 98,26 | 1,74 | 1,59 | - | - | 2,48 | 2,03 | 33,01 | 46,25 | 15,25 | 0,98 |
| ВД-10 | 66,46906 | 45,87263 | 1,9±0,6 | 98,41 | 1,59 | 1,46 | 0,49 | 1,51 | 6,15 | 14,49 | 21,84 | 26,32 | 28,19 | 1,01 |
| ВД-11 | 66,43325 | 45,88446 | 1,2±0,4 | 98,54 | 1,46 | 1,94 | - | - | 1,78 | 6,31 | 31,19 | 40,54 | 19,59 | 0,59 |
| ЧД-1 | 67,07828 | 44,37795 | 4,2±1,1 | 97,01 | 2,99 | 2,13 | - | - | - | 5,47 | 32,06 | 35,81 | 26,15 | 0,51 |
| ЧД-2 | 67,11004 | 44,49174 | 3,8±1,0 | 98,56 | 1,44 | 2,01 | - | 0,79 | 2,30 | 15,42 | 28,93 | 30,65 | 19,65 | 2,26 |
| ЧД-3 | 67,12758 | 44,48009 | 2,3±0,6 | 97,87 | 2,13 | 1,98 | - | - | - | 19,35 | 25,39 | 42,83 | 10,98 | 1,45 |
| ЧД-4 | 67,13043 | 44,51199 | 1,6±0,5 | 98,59 | 1,41 | 1,15 | - | - | - | 3,03 | 20,09 | 53,16 | 22,34 | 1,38 |
| ЧД-5 | 67,09715 | 44,43397 | 5,4±0,8 | 97,12 | 2,88 | 1,78 | - | - | - | 2,97 | 21,18 | 48,93 | 24,41 | 2,51 |
| ЧД-6 | 67,09715 | 44,43397 | 2,2±0,6 | 98,02 | 1,98 | 1,55 | - | - | 1,45 | 14,00 | 25,48 | 36,75 | 21,03 | 1,29 |
| ОД-1 | 66,30497 | 46,7788 | 2,8±0,6 | 98,45 | 1,55 | 0,62 | - | 1,81 | 8,50 | 17,06 | 24,94 | 32,85 | 13,49 | 1,35 |
| ОД-2 | 66,39129 | 46,7184 | 0,8±0,3 | 98,69 | 1,31 | 1,01 | 2,23 | 5,42 | 9,01 | 17,32 | 18,68 | 35,19 | 11,12 | 1,03 |
| ОД-3 | 66,53555 | 46,55334 | 4,0±0,8 | 97,13 | 2,87 | 1,56 | - | - | 1,00 | 17,05 | 19,23 | 42,30 | 19,84 | 0,58 |
| ОД-4 | 66,80987 | 46,5451 | 1,7±0,5 | 98,98 | 1,02 | 0,80 | - | - | 1,31 | 5,10 | 28,00 | 40,25 | 23,45 | 1,89 |
| ОД-5 | 66,76978 | 46,46035 | 2,3±0,5 | 95,49 | 4,51 | 1,56 | - | - | - | 3,36 | 25,61 | 38,37 | 29,47 | 3,19 |
| ОД-6 | 66,70772 | 46,4502 | 0,5±0,2 | 98,41 | 1,59 | 1,65 | - | - | - | 8,56 | 29,63 | 40,06 | 19,62 | 2,13 |
| ОД-7 | 66,65663 | 46,46667 | 1,1±0,4 | 98,49 | 1,51 | 0,75 | - | 1,90 | 5,52 | 17,03 | 25,78 | 38,99 | 10,13 | 0,65 |
| ОД-8 | 66,60051 | 46,49689 | 2,5±0,7 | 97,66 | 2,34 | 1,63 | - | 2,46 | 6,59 | 12,10 | 22,86 | 45,16 | 9,56 | 1,27 |
| ОД-9 | 66,47887 | 46,62804 | 2,1±0,6 | 97,92 | 2,08 | 1,86 | - | 0,39 | 5,63 | 16,48 | 25,23 | 37,90 | 13,25 | 1,12 |
| КД-1 | 67,42263 | 58,04267 | 0,8±0,4 | 98,19 | 1,81 | 1,15 | 21,00 | 14,47 | 5,41 | 0,00 | 13,90 | 19,34 | 10,65 | 1,22 |
| КД-2 | 67,4159 | 57,98291 | 1,4±0,6 | 94,18 | 5,82 | 2,6 | 5,71 | 2,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 28,99 | 21,59 | 7,03 |
| КД-3 | 67,4363 | 57,86473 | 3,2±1,3 | 94,58 | 5,42 | 0,98 | - | 0,42 | 0,05 | 0,32 | 9,84 | 29,70 | 44,16 | 15,52 |
| КД-4 | 67,41308 | 57,81417 | 3,0±0,7 | 94,89 | 5,11 | 1,61 | 0,80 | 1,15 | 0,41 | 0,00 | 0,00 | 38,94 | 33,42 | 12,67 |
| КД-5 | 67,39552 | 57,78242 | 2,3±1,4 | 87,57 | 12,43 | 1,11 | - | - | - | - | 70,76 | 26,42 | 2,80 | 0,02 |
| КД-23 | 67,42298 | 57,81177 | 0,9±0,5 | 99,23 | 0,77 | 0,32 | - | - | - | - | 85,83 | 13,13 | 0,83 | 0,21 |
| КД-29 | 67,39531 | 57,78325 | 2,7±0,5 | 95,55 | 4,45 | 1,41 | - | - | - | - | - | 58,32 | 34,12 | 7,56 |
| КД-24 | 67,38127 | 57,62326 | 1,0±0,5 | 97,64 | 2,36 | 1,11 | 0,80 | 1,42 | - | - | 9,52 | 65,83 | 18,44 | 2,41 |
| КД-13 | 67,38429 | 57,60895 | 2,9±0,6 | 97,21 | 2,79 | 1,02 | 2,30 | 1,32 | 0,21 | - | 10,72 | 72,26 | 0,83 | 4,65 |
| КД-15 | 67,42661 | 57,44654 | 1,9±0,5 | 97,03 | 2,97 | 1,01 | - | - | - | - | 0,72 | 74,28 | 18,08 | 6,92 |
| КД-16 | 67,42891 | 57,43924 | 1,0±0,5 | 99,29 | 0,71 | 0,43 | 0,57 | 8,05 | 14,11 | 27,03 | 45,97 | 3,05 | 0,97 | 0,26 |
| КД-17 | 67,45351 | 57,40546 | 2,7±0,8 | 96,61 | 3,39 | 1,16 | 0,14 | 0,04 | 0,07 | 0,00 | 2,75 | 57,12 | 31,76 | 8,11 |
| КД-19 | 67,466 | 57,35411 | 2,0±0,6 | 96,11 | 3,89 | 1,65 | 4,83 | 5,32 | 0,56 | 0,02 | 22,98 | 38,56 | 17,02 | 3,95 |
| КД-21 | 67,42294 | 57,31542 | 1,4±0,6 | 96,62 | 3,38 | 2,09 | 2,23 | 1,79 | 1,67 | 0,00 | 0,00 | 52,81 | 36,19 | - |
| КД-31 | 67,3899 | 57,25645 | 1,7±0,5 | 97,2 | 2,8 | 0,85 | 5,10 | 1,48 | 0,00 | 0,00 | 3,53 | 29,17 | 9,53 | 3,07 |

Продолжение таблицы А.1 – Содержание Cs-137 и физико-химические параметры донных отложений рек Ненецкого автономного округа и Республики Коми

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----------|----------|----------|----------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| КД-25 | 67,32532 | 57,22243 | 2,7±0,5 | 96,7 | 3,3 | 0,98 | 8,58 | 16,94 | 13,47 | 5,44 | 9,54 | 25,30 | 12,60 | 3,65 |
| КД-33 | 67,21592 | 56,7471 | 3,9±0,9 | 94,36 | 5,64 | 1,98 | 0,55 | 0,73 | 0,05 | 1,94 | 24,59 | 39,50 | 8,17 | 0,16 |
| КД-37 | 67,14187 | 56,71971 | 0,7±0,4 | 99,41 | 0,59 | 1 | 0,25 | 5,26 | 13,36 | 35,09 | 35,32 | 9,51 | 1,11 | 0,10 |
| КД-37р | 67,15773 | 56,73211 | 0,8±0,3 | 99,39 | 0,61 | 0,77 | 8,71 | 14,74 | 8,05 | 9,17 | 35,78 | 18,26 | 1,12 | 0,24 |
| КД-39 | 67,08193 | 56,77954 | 1,6±0,5 | 98,57 | 1,43 | 0,9 | - | 5,13 | 12,61 | - | 9,72 | 33,23 | 27,03 | 12,29 |
| КД-39р | 67,10932 | 56,77707 | 1,2±0,5 | 95,11 | 4,89 | 2,4 | 0,75 | 0,35 | - | - | - | 74,43 | 20,93 | 3,55 |
| КД-42р | 67,04582 | 56,69512 | 3,5±0,7 | 95,8 | 4,2 | 1,62 | 0,59 | 0,62 | - | - | 14,80 | 44,85 | 34,53 | 4,62 |
| КД-46р | 66,94264 | 56,66855 | 1,7±0,6 | 97,22 | 2,78 | 1,47 | - | 0,50 | 1,06 | 2,26 | 27,09 | 53,33 | 13,65 | 2,12 |
| КД-47р | 66,909 | 56,70065 | 1,2±0,5 | 97,17 | 2,83 | 1,5 | - | 0,48 | 0,30 | 1,57 | 0,00 | 56,55 | 34,80 | 6,31 |
| КД-48р | 66,901 | 56,71272 | 2,2±0,6 | 95,79 | 4,21 | 1,34 | 1,45 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 49,28 | 35,85 | 11,25 |
| КД-49р | 66,89861 | 56,74241 | 3,5±0,7 | 96,68 | 3,32 | 1,3 | - | 0,28 | - | - | 13,10 | 66,89 | 15,97 | 3,76 |
| КД-50г-1 | 66,87021 | 56,80346 | 2,2±0,6 | 96,87 | 3,13 | 0,99 | - | - | - | - | - | 57,48 | 34,15 | 8,37 |
| КД-53р | 66,80892 | 56,9756 | 3,3±0,7 | 95,84 | 4,16 | 1,76 | 4,98 | - | 0,32 | - | - | 46,55 | 26,67 | 13,73 |
| КД-55р | 66,7699 | 56,9641 | 0,8±0,4 | 98,62 | 1,38 | 0,65 | 0,19 | 2,80 | 1,88 | 5,03 | 55,78 | 30,48 | 3,16 | 0,68 |
| КД-57р | 66,73996 | 57,01375 | 1,4±0,4 | 98,83 | 1,17 | 0,72 | 2,37 | 3,13 | 15,19 | 55,05 | 20,92 | 1,09 | 0,00 | 0,00 |
| КД-59 | 66,66598 | 56,94943 | 1,6±1,0 | 97,54 | 2,46 | 0,86 | 1,64 | 0,40 | 0,29 | 0,60 | 6,19 | 74,92 | 12,69 | 0,35 |
| КД-59-1 | 66,71216 | 57,00911 | 1,3±0,5 | 97,86 | 2,14 | 0,78 | 6,24 | 4,04 | 1,06 | 0,00 | 38,23 | 34,20 | 12,76 | 0,30 |
| КД-60 | 66,60112 | 56,98456 | 0,7±0,4 | 99,03 | 0,97 | 2,03 | 8,27 | 8,86 | 10,01 | 10,90 | 26,46 | 15,87 | 2,42 | 0,47 |
| КД-61 | 66,56811 | 57,04858 | 12,3±1,1 | 92,39 | 7,61 | 1,12 | 1,37 | 4,13 | 14,19 | 59,05 | 16,92 | 1,09 | 0,00 | 0,00 |
| КД-62р | 66,54738 | 57,09154 | 3,5±0,6 | 97,08 | 2,92 | 1,03 | 1,29 | 0,79 | 3,84 | 27,28 | 31,87 | 18,90 | 8,89 | 2,84 |
| КД-63 | 66,46667 | 57,09741 | 0,9±0,5 | 98,66 | 1,34 | 0,41 | 0,20 | 0,32 | 0,00 | 0,00 | 20,26 | 67,66 | 10,73 | 0,82 |
| КД-65р | 66,4343 | 57,23964 | 1,9±0,5 | 98,89 | 1,11 | 0,56 | - | - | - | - | 53,98 | 41,36 | 4,01 | 0,65 |
| КД-67 | 66,35177 | 57,29454 | 2,8±0,6 | 95,48 | 4,52 | 1,83 | - | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,74 | 51,45 | 36,13 | 11,67 |
| КД-68 | 66,25344 | 57,28126 | 1,2±0,5 | 98,68 | 1,32 | 0,6 | 3,52 | 2,50 | 0,63 | 0,39 | 21,19 | 51,23 | 14,27 | 2,48 |
| КД-69 | 66,18623 | 57,29509 | 1,0±0,5 | 99,39 | 0,61 | 0,36 | 4,46 | 11,44 | 5,10 | 8,62 | 53,93 | 8,09 | 1,10 | 0,24 |
| КД-70 | 66,1694 | 57,34407 | 1,0±0,5 | 99,3 | 0,7 | 0,76 | 0,77 | 1,10 | 1,09 | 3,33 | 51,48 | 37,79 | 2,56 | 0,43 |
| КД-71 | 66,10076 | 57,41128 | 1,3±0,5 | 98,8 | 1,2 | 0,46 | 0,37 | 0,33 | 0,10 | 0,00 | 70,68 | 25,14 | 2,15 | 1,23 |
| КД-72 | 65,9599 | 57,36271 | 1,2±0,5 | 98,48 | 1,52 | 0,5 | 2,72 | 3,66 | 1,04 | 0,35 | 34,17 | 42,94 | 9,27 | 2,81 |
| УСД-3р | 69,52997 | 33,03638 | 0,8±0,4 | 98,98 | 1,02 | 0,61 | 3,74 | 2,37 | 1,25 | 4,9 | 54,63 | 24,29 | 6,41 | 2,4 |
| УСД-8 | 69,47282 | 32,95753 | 0,9±0,5 | 98,96 | 1,04 | 0,58 | 0 | 0,55 | 1,24 | 0 | 8,49 | 70,72 | 14,18 | 4,82 |
| УСД-9 | 69,52503 | 32,79495 | 4,1±1,0 | 99,17 | 0,83 | 0,92 | 5,96 | 7,03 | 5,55 | 6,25 | 15,87 | 31,61 | 21,41 | 3,17 |
| УСД-12 | 69,48912 | 32,69052 | 0,9±0,5 | 99,32 | 0,68 | 0,4 | 0,24 | 0,28 | 0,47 | 0,81 | 12,84 | 73,39 | 7,84 | 4,12 |
| УСД-13 | 69,55958 | 32,66437 | 0,8±0,4 | 99,34 | 0,66 | 0,4 | - | 0,07 | - | 4,19 | 50,81 | 41,43 | 2,61 | 0,88 |
| УСД-15р | 69,55418 | 32,59182 | 0,6±0,3 | 99,68 | 0,32 | 0,46 | - | - | 0,75 | 8,64 | 71,77 | 18,27 | 0,51 | 0,05 |

Продолжение таблицы А.1 – Содержание Cs-137 и физико-химические параметры донных отложений рек Ненецкого автономного округа и Республики Коми

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---------|------------|------------|---------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| УСД-17 | 69,52770 | 32,45335 | 3,8±1,1 | 98,4 | 1,6 | 0,83 | 1,13 | 3,08 | 3,76 | 6,54 | 15,86 | 46,13 | 16,2 | 7,29 |
| УСД-20 | 69,59390 | 32,45018 | 0,8±0,4 | 99,54 | 0,46 | 0,48 | - | 22,1 | 7,87 | 5,09 | 18,95 | 41,65 | 3,44 | 0,89 |
| УСД-22 | 69,57388 | 32,29062 | 0,6±0,3 | 99,67 | 0,33 | 0,52 | - | 0,69 | 0,53 | 5,32 | 80,66 | 12,35 | 0,41 | 0,05 |
| УСД-25р | 69,60758 | 32,30028 | 0,9±0,5 | 99,42 | 0,58 | 2,11 | - | 0,06 | 0,58 | 3,58 | 31,56 | 58,29 | 4,36 | 1,56 |
| УСД-26 | 69,56290 | 32,02913 | 0,8±0,4 | 99,19 | 0,81 | 0,75 | - | - | 0,54 | 1,18 | 10,01 | 80,07 | 5,94 | 2,26 |
| УСД-28 | 69,61967 | 32,14062 | 1,9±0,6 | 98,37 | 1,63 | 0,96 | 0,59 | 1,82 | 1,47 | 1,59 | 3 | 60,5 | 22,09 | 8,94 |
| УСД-20р | 69,69160 | 32,16243 | 2,1±0,6 | 98,1 | 1,9 | 1,01 | 3,12 | 4,21 | 2,91 | 2,37 | 7,12 | 55,11 | 13,14 | 9,66 |
| УСД-31 | 69,48417 | 32,60690 | 1,3±0,4 | 99,4 | 0,6 | 0,3 | - | 0,33 | 2,42 | 13,81 | 79,38 | 3,58 | 0,47 | - |
| УСД-33р | 69,46758 | 32,60442 | 1,1±0,4 | 99 | 1 | 0,4 | 1,69 | 10,82 | 23,42 | 49,21 | 10,2 | 2,88 | 1,25 | 0,52 |
| УСД-37 | 69,52317 | 33,19837 | 1,1±0,5 | 99,09 | 0,91 | 0,36 | 5,09 | 4,5 | 4,88 | 10,06 | 45,87 | 20,94 | 3,84 | 0,93 |
| УСД-38р | 69,47970 | 33,18488 | 3,6±1,0 | 96,53 | 3,47 | 1,21 | 2,97 | 6,03 | 8,07 | 10,79 | 16,23 | 11,35 | 26,82 | 15,47 |
| УСД-41 | 69,33580 | 32,91672 | 1,0±0,4 | 99,43 | 0,57 | 0,45 | - | 0,19 | - | 0,23 | 10,24 | 79,04 | 8,61 | 1,69 |
| УСД-46р | 69,34720 | 32,92398 | 1,0±0,4 | 99,4 | 0,6 | 0,37 | - | 0,82 | 0,98 | 1,84 | 43,4 | 49,36 | 1,97 | 1,64 |
| УСД-46 | 69,35842 | 32,94203 | 0,9±0,4 | 99,42 | 0,58 | 0,33 | - | 0,21 | 1,54 | 42,63 | 48,07 | 5,59 | 1,04 | 0,92 |
| УСД-48 | 69,37067 | 32,95705 | 0,8±0,4 | 99,59 | 0,41 | 0,49 | - | 1,52 | 7,03 | 24,31 | 59,05 | 7,34 | 0,76 | - |
| УСД-51р | 69,39672 | 32,99937 | 0,9±0,4 | 99,38 | 0,62 | 0,26 | - | 0,64 | 3,8 | - | 82,91 | 8,55 | 2,62 | 1,48 |
| УСД-61 | 69,40507 | 33,00252 | 0,9±0,5 | 96,96 | 3,04 | 1,16 | 3,69 | 2,51 | 1,48 | 0,59 | 45,62 | 23,82 | 11,6 | 10,69 |
| УСД-65 | 69,41647 | 33,03022 | 0,7±0,4 | 99,67 | 0,33 | 0,18 | 8,72 | 7,34 | 1,45 | 1,24 | 53,11 | 21,32 | 1,85 | 0,87 |
| УСД-66 | 69,42342 | 33,04993 | 2,1±0,8 | 98,33 | 1,67 | 0,52 | 0,24 | 4,12 | 1,98 | 4,86 | 50,07 | 31,74 | 6,18 | 0,81 |
| УСД-70 | 69,43787 | 33,09183 | 1,0±0,4 | 99,16 | 0,84 | 0,41 | 2,25 | 2,92 | 2,73 | 11,94 | 39,66 | 20,81 | 8,52 | 2,31 |
| ПД-1 | 67,637908 | 52,9565789 | < 0,1 | 97,45 | 2,55 | 1,35 | - | - | - | - | 8,45 | 7,48 | 84,07 | - |
| ПД-2 | 67,6657295 | 53,0369521 | < 0,1 | 99,77 | 0,23 | 0,14 | - | 0,13 | 0,44 | 2,56 | 69,46 | 27,09 | 0,33 | - |
| ПД-3 | 67,6915476 | 53,1250143 | < 0,1 | 99,55 | 0,45 | 0,13 | - | 0,08 | 0,07 | 0,5 | 86,04 | 13,09 | 0,13 | 0,09 |
| ПД-4 | 67,7359457 | 53,1512785 | < 0,1 | 99,12 | 0,88 | 0,51 | 0,11 | 0,34 | 0,11 | 2,28 | 79,55 | 16,98 | 0,64 | - |
| ПД-5 | 67,7754557 | 53,2192564 | < 0,1 | 99,54 | 0,46 | 0,23 | - | 0,26 | 0,22 | 0,73 | 18,58 | 75,17 | 4,74 | 0,3 |
| ПД-6 | 67,81898 | 53,23972 | < 0,1 | 99,71 | 0,29 | 0,16 | - | 0,02 | 0,12 | 0,3 | 14,29 | 82,73 | 2,36 | 0,17 |
| ПД-7 | 67,8612636 | 53,298564 | < 0,1 | 99,21 | 0,79 | 0,46 | - | 0,11 | 0,09 | 2,27 | 6,82 | 84,99 | 4,47 | 1,25 |
| ПД-8 | 67,8858332 | 53,2312727 | < 0,1 | 99,77 | 0,23 | 0,15 | 0,11 | 1,32 | 1,52 | 4,05 | 63 | 29,56 | 0,43 | - |
| ПД-9 | 67,8503931 | 53,1468153 | < 0,1 | 99,17 | 0,83 | 0,39 | - | - | 0,59 | 1,05 | 2,18 | 85,37 | 10,53 | 0,27 |
| ПД-10 | 67,81732 | 53,08734 | < 0,1 | 98,65 | 1,35 | 0,59 | - | - | 0,11 | 0,9 | 8,15 | 62,02 | 27,39 | 1,43 |
| ПД-11 | 67,8053039 | 52,9744672 | < 0,1 | 99,71 | 0,29 | 0,19 | 0,17 | 2,53 | 2,59 | 14,25 | 47,19 | 33,02 | 0,25 | - |
| ПД-12 | 67,7825968 | 52,8821135 | < 0,1 | 99,76 | 0,24 | 0,11 | - | 0,91 | 1,59 | 7,69 | 77,91 | 11,59 | 0,3 | - |
| ПД-13 | 67,7653246 | 52,7822066 | < 0,1 | 99,74 | 0,26 | 0,10 | 0,2 | 0,81 | 0,79 | 2,3 | 78,9 | 16,91 | 0,1 | - |
| ПД-14 | 67,7486897 | 52,7001524 | < 0,1 | 99,76 | 0,24 | 0,13 | 0,18 | 0,2 | 0,18 | 1,14 | 87,23 | 10,84 | 0,09 | 0,13 |

Продолжение таблицы А.1 – Содержание Cs-137 и физико-химические параметры донных отложений рек Ненецкого автономного округа и Республики Коми

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-------|------------|------------|---------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| ПД-15 | 67,7321732 | 52,6005888 | < 0,1 | 99,72 | 0,28 | 0,13 | 0,69 | 1,87 | 2,97 | 12,21 | 25,42 | 56,39 | 0,46 | - |
| ПД-16 | 67,7018408 | 52,5600768 | < 0,1 | 99,47 | 0,53 | 0,25 | - | - | - | 0,06 | 0,86 | 93,76 | 5,13 | 0,19 |
| ПД-17 | 67,6787725 | 52,4831724 | < 0,1 | 99,78 | 0,22 | 0,13 | 1,12 | 1,58 | 0,37 | 3,9 | 75,4 | 17,04 | 0,6 | - |
| ПД-18 | 67,6772077 | 52,6438475 | < 0,1 | 99,72 | 0,28 | 0,14 | - | 0,13 | 0,22 | 0,47 | 52,52 | 44,19 | 2,47 | - |
| ПД-19 | 67,6675556 | 52,7543974 | < 0,1 | 99,81 | 0,19 | 0,08 | - | - | - | - | 62,04 | 37,43 | 0,53 | - |
| ПД-20 | 67,6679926 | 52,8980125 | < 0,1 | 99,89 | 0,11 | 0,05 | - | 1,76 | 2,8 | 8,53 | 34,17 | 51,97 | 0,77 | - |
| ПД-21 | 67,9286131 | 53,2757075 | < 0,1 | 99,74 | 0,26 | 0,13 | - | 0,19 | 0,52 | 5,91 | 76,99 | 15,61 | 0,78 | - |
| ПД-22 | 67,9433153 | 53,1854136 | < 0,1 | 99,78 | 0,22 | 0,15 | 0,09 | 0,64 | 0,8 | 3,96 | 80,64 | 12,89 | 0,98 | - |
| ПД-23 | 67,9446046 | 53,0827601 | < 0,1 | 99,60 | 0,40 | 0,17 | - | - | 0,3 | 1,63 | 25,83 | 70,64 | 1,59 | - |
| ПД-24 | 67,964836 | 52,9948695 | < 0,1 | 99,32 | 0,68 | 0,26 | - | - | 0,17 | 0,58 | 20,49 | 73,92 | 4,77 | 0,07 |
| ПД-25 | 68,003317 | 52,9807932 | < 0,1 | 99,74 | 0,26 | 0,14 | - | 0,42 | 0,16 | 0,11 | 61,73 | 37,3 | 0,16 | 0,11 |
| ПД-26 | 68,0446868 | 53,009289 | < 0,1 | - | - | - | 0,15 | 2,86 | 1,03 | 0,88 | 63,06 | 31,51 | 0,46 | 0,05 |
| ПД-27 | 68,0891858 | 53,0631907 | < 0,1 | 99,38 | 0,62 | 0,27 | 0,19 | 5,3 | 1,89 | 1,64 | 64,39 | 25,83 | 0,76 | - |
| ПД-28 | 68,1272046 | 53,130482 | < 0,1 | 99,71 | 0,29 | 0,18 | 0,07 | 0,3 | 0,36 | 0,24 | 2,6 | 95,42 | 1,01 | - |
| ПД-29 | 68,1733316 | 53,1974299 | < 0,1 | 99,75 | 0,25 | 0,13 | - | 0,02 | 0,1 | 0,04 | 3,44 | 95,76 | 0,6 | 0,04 |
| ПД-30 | 68,2244611 | 53,2331355 | < 0,1 | 99,76 | 0,24 | 0,14 | - | - | 0,3 | 0,51 | 1,97 | 96,03 | 1,19 | - |
| ПД-31 | 68,2514462 | 53,269871 | < 0,1 | 99,85 | 0,15 | 0,35 | - | - | 0,06 | 0,32 | 3,82 | 67,23 | 27,56 | 1,02 |
| ПД-32 | 68,2380849 | 53,3581049 | 1,1±0,4 | 99,13 | 0,87 | 0,65 | - | 0,11 | 0,09 | 1,02 | 6,12 | 19,9 | 69,4 | 3,36 |
| ПД-33 | 68,249029 | 53,452862 | < 0,1 | 99,72 | 0,28 | 0,41 | - | - | - | 0,48 | 3,8 | 47,44 | 47,27 | 1,01 |
| ПД-34 | 68,2025442 | 53,4443648 | < 0,1 | 99,64 | 0,36 | 0,31 | - | - | 0,19 | 1,14 | 5,55 | 49,43 | 42,6 | 1,09 |
| ПД-35 | 68,1753419 | 53,3757861 | < 0,1 | 97,74 | 2,26 | 0,80 | - | 0,1 | 0,08 | 0,36 | 4,15 | 51,26 | 42,44 | 1,6 |
| ПД-36 | 68,1352452 | 53,3501656 | < 0,1 | 98,09 | 1,91 | 0,59 | - | - | 0,55 | 1,8 | 2,41 | 81,96 | 12,27 | 1,01 |
| ПД-37 | 68,0972663 | 53,3716679 | < 0,1 | 99,86 | 0,14 | 0,11 | - | - | - | 0,14 | 0,87 | 95,13 | 3,78 | 0,08 |
| ПД-38 | 68,0775351 | 53,3008575 | < 0,1 | 99,56 | 0,44 | 0,47 | - | - | 0,21 | 1,4 | 5,57 | 44,64 | 47,06 | 1,13 |
| ПД-39 | 68,0407822 | 53,2667398 | < 0,1 | 96,84 | 3,16 | 0,85 | - | 0,11 | 0,94 | 2,1 | 4,53 | 61,76 | 28,55 | 2,01 |
| ПД-40 | 68,0092424 | 53,3259201 | < 0,1 | 98,62 | 1,38 | 0,53 | - | - | 0,21 | 1,03 | 2,58 | 71,8 | 23,49 | 0,89 |
| ПД-41 | 67,9723163 | 53,3712387 | < 0,1 | 98,89 | 1,11 | 0,44 | - | 0,02 | 0,1 | 0,54 | 2,8 | 82,48 | 13,32 | 0,74 |
| ПД-42 | 67,9180752 | 53,3589649 | < 0,1 | 99,50 | 0,50 | 0,29 | - | - | - | - | 0,1 | 93,68 | 6,18 | 0,03 |
| ПД-43 | 67,9513439 | 53,3929916 | < 0,1 | 99,45 | 0,55 | 0,25 | - | 0,02 | 0,31 | 0,96 | 1,4 | 90,89 | 6,16 | 0,26 |
| ПД-44 | 67,9760759 | 53,4599395 | < 0,1 | 98,78 | 1,22 | 0,44 | - | - | 0,43 | 1,42 | 6,1 | 53,66 | 37,02 | 1,37 |
| ПД-45 | 67,9995095 | 53,5329032 | < 0,1 | 98,13 | 1,87 | 0,53 | 0,06 | - | 0,13 | 2,25 | 4,64 | 56,87 | 33,61 | 2,44 |
| ПД-46 | 68,0223915 | 53,6098075 | < 0,1 | 98,43 | 1,57 | 0,57 | - | 0,34 | 1,39 | 2,14 | 2,53 | 81,12 | 11,38 | 1,09 |
| ПД-47 | 68,0606488 | 53,606031 | < 0,1 | 99,37 | 0,63 | 0,32 | - | - | - | 0,03 | 0,66 | 88,91 | 10,23 | 0,17 |
| ПД-48 | 68,1026368 | 53,6258114 | < 0,1 | 99,48 | 0,52 | 0,26 | - | - | - | 0,09 | 0,35 | 91,27 | 8,3 | 0,09 |

Продолжение таблицы А.1 – Содержание Cs-137 и физико-химические параметры донных отложений рек Ненецкого автономного округа и Республики Коми

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--------|------------|------------|---------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| ПД-49 | 68,1401541 | 53,5937108 | < 0,1 | 98,76 | 1,24 | 0,37 | - | - | 0,06 | 0,84 | 3,36 | 69,26 | 25,28 | 1,2 |
| ПД-50 | 68,1681247 | 53,5395534 | < 0,1 | 99,16 | 0,84 | 0,56 | - | - | - | 0,03 | 0,2 | 91,24 | 8,44 | 0,09 |
| ПД-51 | 68,2117844 | 53,5574531 | < 0,1 | 99,69 | 0,31 | 0,30 | - | 0,07 | 0,36 | 1,15 | 4,92 | 67,26 | 25,62 | 0,62 |
| ПД-52 | 68,2466745 | 53,582859 | 0,6±0,3 | 98,29 | 1,71 | 0,51 | - | 0,07 | 0,62 | 2,35 | 3,42 | 72,5 | 18 | 3,03 |
| ПД-53 | 68,2501098 | 53,6934089 | 0,9±0,4 | 98,99 | 1,01 | 0,28 | - | - | - | 0,81 | 4,11 | 64,19 | 29,95 | 0,95 |
| ПД-54 | 68,2465473 | 53,756237 | 2,2±0,9 | 98,67 | 1,33 | 0,50 | - | - | 0,97 | 9,97 | 12,67 | 13,13 | 61,28 | 1,98 |
| ПД-55 | 68,2426025 | 53,798294 | 1,4±0,5 | 98,53 | 1,47 | 0,51 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,45 | 2,36 | 83,41 | 13,27 | 0,34 |
| ПД-56 | 68,23191 | 53,77718 | 1,1±0,5 | 98,95 | 1,05 | 0,37 | 7,2 | 3,81 | 4,02 | 4,43 | 10,55 | 15,52 | 33,06 | 0,86 |
| ПД-57 | 68,22163 | 53,77031 | < 0,1 | 99,54 | 0,46 | 0,06 | - | 0,14 | 0,19 | 0,22 | 1,89 | 89,84 | 7,63 | 0,09 |
| ПД-58 | 68,21586 | 53,74662 | 2,2±0,8 | 97,89 | 2,11 | 0,41 | 0,05 | 0,17 | 0,27 | 1 | 4,09 | 62,77 | 30,74 | 0,89 |
| ПД-58k | 68,21503 | 53,74427 | < 0,1 | 99,65 | 0,35 | 0,32 | 3,57 | 3,08 | 2,72 | 8,97 | 33,98 | 33,76 | 8,85 | 0,46 |
| ПД-59 | 68,2338464 | 53,8394869 | 1,1±0,5 | 98,91 | 1,09 | 0,35 | - | 0,12 | 0,1 | 0,34 | 1,32 | 87,87 | 9,91 | 0,34 |
| ПД-60 | 68,2259518 | 53,8700426 | 1,1±0,6 | 98,70 | 1,30 | 0,44 | - | - | 0,09 | 0,21 | 2,5 | 67,11 | 28,35 | 1,75 |
| ПД-61 | 68,2153152 | 53,9371622 | 0,8±0,4 | 99,86 | 0,14 | 0,16 | - | - | - | 0,12 | 0,6 | 95,72 | 3,36 | 0,2 |
| ПД-62 | 68,189882 | 53,8748491 | < 0,1 | 99,42 | 0,58 | 0,25 | - | 0,02 | 0,1 | 0,14 | 4,17 | 85,4 | 9,21 | 0,95 |
| ПД-63 | 68,1718897 | 53,7879884 | < 0,1 | 99,74 | 0,26 | 0,19 | - | - | 0,06 | 0,15 | 1,44 | 86,25 | 11,89 | 0,21 |
| ПД-64 | 68,168315 | 53,6932314 | < 0,1 | 98,94 | 1,06 | 0,48 | - | - | 0,22 | 0,84 | 2,68 | 73,4 | 22,23 | 0,62 |
| ПД-65 | 68,1408484 | 53,6671388 | < 0,1 | 99,54 | 0,46 | 0,31 | - | - | - | 0,04 | 0,55 | 86 | 12,57 | 0,84 |
| ПД-66 | 67,8785539 | 53,3917455 | < 0,1 | 98,48 | 1,52 | 0,62 | - | 0,14 | 0,72 | 1,72 | 1,49 | 79,01 | 14,88 | 2,04 |
| ПД-67 | 67,8948382 | 53,5022954 | < 0,1 | 99,46 | 0,54 | 0,27 | - | - | - | 0,04 | 0,46 | 92,53 | 6,37 | 0,59 |
| ПД-68 | 67,9077541 | 53,6083821 | < 0,1 | 99,13 | 0,87 | 0,29 | - | - | - | 1,1 | 2,77 | 78,63 | 16,85 | 0,66 |
| ПД-69 | 67,9264695 | 53,7096623 | < 0,1 | 99,02 | 0,98 | 0,09 | - | - | 0,1 | 1,05 | 33,09 | 62,37 | 3,34 | 0,04 |
| ПД-70 | 67,95727 | 53,79094 | < 0,1 | 99,59 | 0,41 | 0,21 | - | - | - | 0,04 | 0,32 | 92,89 | 6,61 | 0,14 |
| ПД-71 | 68,0086381 | 53,78588 | < 0,1 | 97,75 | 2,25 | 0,88 | - | - | 0,41 | 1,26 | 4,06 | 67,76 | 25,38 | 1,13 |
| ПД-72 | 68,0507684 | 53,8085393 | < 0,1 | 98,45 | 1,55 | 0,74 | - | - | 0,13 | 1,16 | 5,37 | 43,83 | 48 | 1,5 |
| ПД-73 | 68,088082 | 53,8754872 | < 0,1 | 98,03 | 1,97 | 0,63 | - | - | 0,4 | 1,56 | 1,79 | 72,11 | 22,41 | 1,72 |
| ПД-74 | 68,1278932 | 53,9197758 | < 0,1 | 98,51 | 1,49 | 0,48 | - | - | 0,07 | 0,89 | 2,67 | 67,35 | 27,54 | 1,47 |
| ПД-75 | 68,1719765 | 53,9668111 | 1,0±0,5 | 97,04 | 2,96 | 1,03 | - | - | 0,23 | 1,23 | 5,49 | 20,58 | 67,39 | 5,08 |
| ПД-76 | 68,2176315 | 54,0107564 | < 0,1 | 99,24 | 0,76 | 0,33 | - | - | 0,1 | 0,24 | 1,53 | 88,5 | 8,77 | 0,85 |
| ПД-77 | 68,2462787 | 54,0780476 | < 0,1 | 99,54 | 0,46 | 0,20 | - | - | 0,07 | 0,1 | 8,02 | 89,93 | 1,88 | - |
| ПД-78 | 68,2352061 | 54,1745213 | < 0,1 | 99,45 | 0,55 | 0,36 | 0,37 | 0,11 | 0,09 | 0,32 | 1,88 | 88,37 | 8,64 | 0,22 |
| ПД-79 | 68,2097313 | 54,2013005 | < 0,1 | 99,46 | 0,54 | 0,41 | 0,69 | 1,19 | 1,14 | 2,84 | 14,01 | 66,31 | 11,67 | 0,32 |
| ПД-80 | 68,1755506 | 54,1861943 | < 0,1 | 99,36 | 0,64 | 0,35 | 1,19 | 3,04 | 2,07 | 3,05 | 36,2 | 51,98 | 1,99 | - |
| ПД-81 | 68,1414467 | 54,1714314 | < 0,1 | 99,75 | 0,25 | 0,16 | - | - | - | - | 19,97 | 78,41 | 1,58 | 0,04 |

Продолжение таблицы А.1 – Содержание Cs-137 и физико-химические параметры донных отложений рек Ненецкого автономного округа и Республики Коми

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-------|------------|------------|-------|-------|------|------|---|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| ПД-82 | 68,1067801 | 54,1395024 | < 0,1 | 99,32 | 0,68 | 0,30 | - | - | 0,07 | 0,1 | 0,67 | 86,39 | 12,38 | 0,39 |
| ПД-83 | 68,0711114 | 54,0948705 | < 0,1 | 99,76 | 0,24 | 0,05 | - | - | - | 0,06 | 6,3 | 92,73 | 0,92 | - |
| ПД-84 | 68,033773 | 54,0468053 | < 0,1 | 99,60 | 0,40 | 0,22 | - | - | - | 0,06 | 0,32 | 91,9 | 6,63 | 1,09 |
| ПД-85 | 68,0037023 | 53,989127 | < 0,1 | 98,79 | 1,21 | 0,32 | - | - | 0,07 | 1,29 | 8,7 | 56,04 | 32,15 | 1,74 |
| ПД-86 | 67,9752665 | 53,9081029 | < 0,1 | 99,39 | 0,61 | 0,44 | - | 0,13 | 0,18 | 0,45 | 45,19 | 49,11 | 4,67 | 0,27 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(Справочное)

Таблица Б.1 – Плотности загрязнения техногенными радионуклидами в пробах почвы в бассейне реки Несь

| Шифр пробы | Координаты | | Плотность загрязнения, Кюри/км ² | | | | |
|------------|------------|----------|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Широта | Долгота | Cs-137 | Sr-90 | Am-241 | Pu-238 | Pu-239+240 |
| НП-32 | 66,55431 | 44,55055 | 8,34E-02±8,64E-03 | 2,71E-02±4,74E-03 | 8,21E-04±4,53E-04 | 2,80E-04±8,96E-05 | - |
| НП-33 | 66,56086 | 44,57282 | 8,40E-02±9,47E-03 | 3,24E-02±5,33E-03 | 8,64E-04±4,48E-04 | 1,76E-04±5,97E-05 | 1,91E-03±3,25E-04 |
| НП-34 | 66,57073 | 44,58314 | 9,55E-02±9,18E-03 | 3,32E-02±5,47E-03 | 7,35E-04±4,22E-04 | 6,53E-05±2,48E-05 | 2,19E-03±3,71E-04 |
| НП-35 | 66,5819 | 44,58855 | 1,31E-01±1,50E-02 | 5,07E-02±8,11E-03 | 1,11E-03±3,65E-04 | 3,17E-04±1,14E-04 | 4,04E-03±6,86E-04 |
| НП-36 | 66,59412 | 44,5846 | 1,25E-01±1,36E-02 | 3,93E-02±6,68E-03 | 8,60E-04±4,93E-04 | 1,15E-04±4,03E-05 | 2,81E-03±4,77E-04 |
| НП-38 | 66,60276 | 44,60595 | 3,50E-02±5,15E-03 | 2,68E-02±5,40E-03 | 6,01E-04±2,34E-04 | - | 1,59E-03±3,93E-04 |
| НП-39 | 66,60437 | 44,62981 | 2,27E-02±3,02E-03 | 6,76E-03±1,75E-03 | 2,11E-04±8,45E-05 | 7,04E-05±2,82E-05 | 2,75E-04±3,85E-05 |
| НП-40 | 66,60682 | 44,64397 | 2,87E-02±3,83E-03 | 2,08E-02±4,49E-03 | 2,88E-04±1,41E-04 | 1,54E-04±5,54E-05 | 8,46E-04±1,10E-04 |
| НП-41 | 66,60718 | 44,65108 | 1,03E-01±9,27E-03 | 2,29E-02±3,77E-03 | 4,54E-04±1,27E-04 | 5,16E-05±2,11E-05 | 1,05E-03±1,93E-04 |
| НП-42 | 66,60647 | 44,66303 | 2,40E-02±3,01E-03 | 8,11E-03±1,97E-03 | 1,78E-04±8,53E-05 | 5,33E-05±2,08E-05 | 5,08E-04±7,62E-05 |
| НП-43 | 66,60632 | 44,66428 | 1,08E-02±3,78E-03 | 1,88E-02±4,46E-03 | 5,80E-04±2,78E-04 | 1,26E-04±4,40E-05 | 1,45E-03±2,17E-04 |
| НП-19 | 66,60625 | 44,67122 | 2,82E-02±4,40E-03 | 1,86E-02±3,97E-03 | 2,47E-04±1,19E-04 | - | 6,97E-04±1,04E-04 |
| НП-20 | 66,60935 | 44,67632 | 1,61E-02±2,26E-03 | 1,74E-02±3,75E-03 | 2,14E-04±1,01E-04 | - | 1,17E-03±1,52E-04 |
| НП-31 | 66,61498 | 44,68884 | 1,43E-02±1,72E-03 | 4,90E-03±1,10E-03 | 2,26E-04±1,34E-04 | 8,83E-05±3,71E-05 | 5,93E-04±1,05E-04 |
| НП-21 | 66,62161 | 44,71009 | 3,05E-02±3,48E-03 | 1,07E-02±2,17E-03 | 1,76E-04±7,91E-05 | - | 3,34E-04±4,34E-05 |
| НП-30 | 66,61498 | 44,68884 | 4,55E-02±5,01E-03 | 1,19E-02±2,29E-03 | 6,89E-04±3,70E-04 | - | 7,55E-04±1,50E-04 |
| НП-22 | 66,62704 | 44,76274 | 2,77E-02±2,89E-03 | 8,42E-03±1,83E-03 | 1,57E-04±7,52E-05 | 2,55E-05±1,07E-05 | 8,98E-04±1,59E-04 |
| НП-23 | 66,63037 | 44,78404 | 4,88E-02±5,37E-03 | 1,00E-02±2,13E-03 | 2,34E-04±1,10E-04 | 3,89E-05±1,60E-05 | 9,35E-04±1,86E-04 |
| НП-28 | 66,6409 | 44,77005 | 1,10E-02±1,15E-03 | 2,29E-03±4,91E-04 | 8,69E-05±5,01E-05 | - | 8,18E-05±1,23E-05 |
| НП-24 | 66,6409 | 44,77005 | 1,79E-02±2,52E-03 | 1,09E-02±2,35E-03 | - | 7,61E-05±2,89E-05 | 2,16E-04±3,45E-05 |
| НП-27 | 66,6461 | 44,79869 | 1,18E-02±1,69E-03 | 4,78E-03±1,22E-03 | 2,84E-04±1,52E-04 | 1,84E-05±7,56E-06 | 5,55E-04±7,77E-05 |
| НП-25 | 66,64774 | 44,83378 | 1,35E-02±1,97E-03 | 8,05E-03±1,85E-03 | 4,27E-04±2,42E-04 | - | 6,59E-04±1,49E-04 |
| НП-26 | 66,65185 | 44,84578 | 9,22E-03±1,33E-03 | 6,01E-03±1,54E-03 | 1,48E-04±5,90E-05 | - | 2,40E-04±3,85E-05 |

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(Справочное)

Таблица В.1 – Радиационные параметры и содержание нефтепродуктов в донных отложениях рек Колва и Уса

| Шифр пробы | Радиационные параметры, Бк/кг | | | | | | | Изотопные отношения, отн. ед. | | Содержание нефтепродуктов, мг/кг |
|------------|--|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------|----------------------------------|
| | Суммарная активность по бета-излучению | Суммарная активность по альфа-излучению | Удельная активность Ra-226 | Удельная активность Ra-228 | Удельная активность Pb-210 | Удельная активность Th-232 | Удельная активность K-40 | Ra226/Ra228 | Ra226/Pb210 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| КД-1 | 780±125 | 250±100 | 16,5±2,1 | 30,0±3,6 | 16,0±6,4 | 28,5±2,9 | 510±41 | 0,6 | 1,0 | 0,65 |
| КД-2 | 740±118 | 420±147 | 17,8±1,8 | 23,3±2,6 | 20,0±5,4 | 23,6±2,1 | 510±41 | 0,8 | 0,9 | 0,87 |
| КД-3 | 710±114 | 390±137 | 13,7±2,3 | 21,0±3,4 | 27,0±7,3 | 23,0±3,2 | 520±68 | 0,7 | 0,5 | 61,71 |
| КД-4 | 750±120 | 190±95 | 15,6±1,9 | 20,2±2,6 | 28,0±7,0 | 21,6±1,9 | 510±41 | 0,8 | 0,6 | 0,87 |
| КД-5 | 670±107 | 200±80 | 14,1±3,0 | 23,0±4,6 | 33,0±13,2 | 24,0±3,6 | 440±62 | 0,6 | 0,4 | 52,20 |
| КД-23 | 390±66 | 320±112 | 12,7±1,5 | 12,4±1,0 | 14,0±5,6 | 7,9±1,7 | 282±25 | 1,0 | 0,9 | 0,63 |
| КД-29 | 770±123 | 390±137 | 16,1±1,4 | 23,5±2,1 | 28,0±5,9 | 23,1±1,8 | 560±39 | 0,7 | 0,6 | 0,75 |
| КД-24 | 710±114 | 220±88 | 13,6±1,5 | 21,5±2,2 | 20,0±8,0 | 19,5±1,6 | 530±42 | 0,6 | 0,7 | 0,74 |
| КД-13 | 630±101 | 280±112 | 12,5±1,4 | 21,9±2,2 | 19,0±5,7 | 18,9±1,7 | 510±41 | 0,6 | 0,7 | 0,71 |
| КД-15 | 650±104 | 420±126 | 8,3±1,7 | 16,8±1,7 | 16,0±6,4 | 15,2±1,5 | 520±42 | 0,5 | 0,5 | 0,62 |
| КД-16 | 370±63 | 180±90 | 29,0±2,3 | 13,3±1,6 | 26,0±6,0 | 13,8±1,2 | 248±124 | 2,2 | 1,1 | 1,32 |
| КД-17 | 660±106 | 300±105 | 14,6±2,2 | 21,0±3,2 | 18,0±9,0 | 19,5±2,7 | 520±62 | 0,7 | 0,8 | 0,66 |
| КД-19 | 730±117 | 470±165 | 15,7±1,7 | 24,9±2,5 | 25,0±7,5 | 24,2±2,2 | 490±39 | 0,6 | 0,6 | 0,80 |
| КД-21 | 840±134 | 240±96 | 18,2±1,8 | 24,0±2,2 | 16,0±6,4 | 23,0±2,1 | 600±48 | 0,8 | 1,1 | 1,64 |
| КД-31 | 650±104 | 490±147 | 15,9±1,7 | 19,5±2,0 | 22,0±6,6 | 19,6±1,8 | 510±41 | 0,8 | 0,7 | 0,79 |
| КД-25 | 630±101 | 190±95 | 21,3±1,7 | 20,5±2,1 | 19,0±5,1 | 19,3±1,7 | 430±34 | 1,0 | 1,1 | 9,85 |
| КД-33 | 790±126 | 300±105 | 16,6±1,8 | 22,8±2,7 | 36,0±9,0 | 24,4±2,4 | 490±39 | 0,7 | 0,5 | 1,80 |
| КД-37 | 350±60 | 310±124 | 14,1±1,4 | 14,4±1,6 | 11,0±4,4 | 13,1±1,2 | 243±22 | 1,0 | 1,3 | 0,71 |
| КД-37р | 470±75 | 270±108 | 17,0±1,5 | 16,3±1,5 | 10,0±4,0 | 14,7±1,3 | 344±28 | 1,0 | 1,7 | 0,89 |
| КД-39 | 700±112 | 230±104 | 37,3±3,4 | 19,6±2,4 | 17,0±5,1 | 20,4±1,8 | 590±47 | 1,9 | 2,2 | 65,50 |
| КД-39р | 690±110 | 140±84 | 17,2±1,9 | 26,0±3,9 | 26,0±6,8 | 22,3±2,0 | 450±36 | 0,7 | 0,7 | 0,82 |
| КД-42р | 750±120 | 120±72 | 18,3±1,8 | 27,5±2,5 | 29,0±7,3 | 27,9±2,2 | 570±46 | 0,7 | 0,6 | 0,83 |
| КД-46р | 560±90 | 350±123 | 12,2±1,7 | 14,6±2,5 | 20,0±10,0 | 15,5±2,3 | 460±60 | 0,8 | 0,6 | 0,66 |
| КД-47р | 610±98 | 150±75 | 19,3±2,5 | 19,1±1,9 | 11,0±5,5 | 17,0±2,0 | 500±40 | 1,0 | 1,8 | 22,80 |

Продолжение таблицы В.1 – Радиационные параметры и содержание нефтепродуктов в донных отложениях рек Колва и Уса

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------|---------|---------|----------|----------|-----------|----------|--------|-----|-----|--------|
| КД-48р | 760±122 | 190±76 | 42,5±3,0 | 29,0±3,2 | 30,0±6,6 | 27,4±2,2 | 570±46 | 1,5 | 1,4 | 53,20 |
| КД-49р | 630±101 | 120±60 | 12,9±1,2 | 21,1±2,1 | 20,0±6,0 | 20,5±1,8 | 520±42 | 0,6 | 0,6 | 0,60 |
| КД-50г-1 | 730±117 | <72 | 51,0±4,1 | 26,0±3,9 | 17,0±6,8 | 28,0±3,9 | 590±71 | 2,0 | 3,0 | 81,90 |
| КД-53р | 780±125 | 170±85 | 41,9±3,8 | 34,0±3,4 | 24,0±6,2 | 27,7±2,2 | 580±46 | 1,2 | 1,7 | 61,00 |
| КД-55р | 450±77 | <100 | 10,0±1,3 | 11,4±1,1 | 13,0±5,2 | 13,3±1,3 | 336±30 | 0,9 | 0,8 | 0,61 |
| КД-57р | 470±75 | <86 | 35,2±2,8 | 27,0±4,9 | 27,0±5,9 | 17,1±1,4 | 259±21 | 1,3 | 1,3 | 22,80 |
| КД-59 | 660±106 | 280±112 | 58,0±4,6 | 26,4±4,5 | 28,0±6,2 | 25,2±3,8 | 570±68 | 2,2 | 2,1 | 101,20 |
| КД-59-1 | 600±96 | <93 | 16,6±2,5 | 21,0±3,8 | 16,0±8,0 | 20,4±3,1 | 490±57 | 0,8 | 1,0 | 0,78 |
| КД-60 | 420±71 | 130±78 | 12,1±1,3 | 8,8±2,2 | 12,0±4,8 | 9,2±1,1 | 261±23 | 1,4 | 1,0 | 0,69 |
| КД-61 | 600±96 | <82 | 14,1±1,6 | 21,0±2,3 | 23,0±6,0 | 19,7±1,8 | 450±36 | 0,7 | 0,6 | 0,69 |
| КД-62р | 350±60 | 340±136 | 14,1±1,4 | 10,6±1,6 | 12,0±4,8 | 11,8±1,3 | 245±22 | 1,3 | 1,2 | 0,68 |
| КД-63 | 590±94 | 170±68 | 13,9±3,2 | 15,0±1,5 | 11,0±5,5 | 14,0±1,3 | 490±39 | 0,9 | 1,3 | 2,00 |
| КД-65р | 420±71 | <110 | 5,4±1,0 | 8,9±1,0 | 8,0±4,0 | 7,9±0,9 | 334±27 | 0,6 | 0,7 | 0,62 |
| КД-67 | 720±115 | <63 | 60,8±4,9 | 27,1±2,7 | 34,0±7,8 | 28,4±2,6 | 530±42 | 2,2 | 1,8 | 73,45 |
| КД-68 | 510±82 | 160±80 | 89,0±7,1 | 29,8±3,0 | 26,0±7,0 | 32,5±2,9 | 400±32 | 3,0 | 3,4 | 41,36 |
| КД-69 | 260±44 | 180±90 | 43,7±4,8 | 20,1±2,0 | 17,0±5,1 | 18,7±2,2 | 179±18 | 2,2 | 2,6 | 43,50 |
| КД-70 | 330±56 | 180±90 | 6,2±0,9 | 7,8±1,2 | 8,0±4,8 | 7,4±0,9 | 278±25 | 0,8 | 0,8 | 0,75 |
| КД-71 | 310±53 | 190±76 | 4,8±1,2 | 7,9±1,2 | 11,0±6,6 | 5,2±1,6 | 223±22 | 0,6 | 0,4 | 0,66 |
| КД-72 | 380±65 | <86 | 13,2±1,2 | 17,7±1,8 | 11,0±4,4 | 16,2±1,5 | 340±27 | 0,7 | 1,2 | 10,04 |
| УСД-3р | 340±58 | 140±70 | 8,3±1,0 | 11,4±1,4 | 11,0±5,5 | 10,6±1,1 | 267±24 | 0,7 | 0,8 | 0,69 |
| УСД-8 | 450±72 | 320±128 | 12,9±1,5 | 15,1±1,7 | 14,0±7,0 | 14,6±1,5 | 370±30 | 0,9 | 0,9 | 0,74 |
| УСД-9 | 580±93 | 130±65 | 13,9±2,2 | 18,3±2,9 | 15,0±9,0 | 17,6±2,3 | 430±52 | 0,8 | 0,9 | 0,67 |
| УСД-12 | 370±63 | <85 | 14,3±1,6 | 19,4±1,9 | 14,0±5,6 | 18,1±1,8 | 333±27 | 0,7 | 1,0 | 0,72 |
| УСД-13 | 310±53 | 160±80 | 8,5±1,1 | 9,4±1,1 | 13,0±6,5 | 8,8±1,2 | 227±23 | 0,9 | 0,7 | 0,64 |
| УСД-15р | 240±41 | 170±77 | 6,6±1,0 | 6,4±1,2 | 7,0±3,9 | 6,6±1,0 | 168±18 | 1,0 | 0,9 | 0,68 |
| УСД-17 | 540±86 | <67 | 14,8±2,4 | 24,0±3,4 | 23,0±11,5 | 21,7±2,8 | 380±49 | 0,6 | 0,6 | 0,75 |
| УСД-20 | 350±60 | 130±65 | 13,8±1,4 | 14,8±1,5 | 16,0±6,4 | 14,2±1,4 | 222±20 | 0,9 | 0,9 | 0,80 |
| УСД-22 | 210±36 | <79 | 7,3±1,0 | 7,5±1,3 | 10,0±6,0 | 7,8±0,9 | 170±17 | 1,0 | 0,7 | 0,62 |
| УСД-25р | 310±53 | 210±84 | 7,2±1,2 | 7,8±0,9 | 10,0±6,0 | 6,7±0,9 | 275±25 | 0,9 | 0,7 | 0,82 |
| УСД-26 | 460±74 | 200±80 | 10,4±1,1 | 8,7±1,9 | 14,0±4,2 | 10,5±1,2 | 371±30 | 1,2 | 0,7 | 0,69 |
| УСД-28 | 590±94 | 250±100 | 14,4±1,7 | 19,0±1,9 | 22,0±6,6 | 17,9±1,6 | 500±40 | 0,8 | 0,7 | 0,78 |
| УСД-20р | 430±69 | 420±147 | 11,3±2,5 | 14,2±2,4 | 15,0±9,0 | 15,0±2,3 | 310±43 | 0,8 | 0,8 | 0,85 |
| УСД-31 | 220±37 | 390±137 | 12,7±1,1 | 7,2±1,2 | 12,0±3,6 | 6,1±0,7 | 160±14 | 1,8 | 1,1 | 0,78 |
| УСД-33р | 160±29 | 190±95 | 9,6±1,2 | 7,4±1,1 | 12,0±4,8 | 6,7±0,9 | 126±15 | 1,3 | 0,8 | 0,72 |
| УСД-37 | 270±46 | 200±80 | 9,8±1,4 | 11,3±1,2 | 13,0±5,2 | 9,6±1,1 | 256±23 | 0,9 | 0,8 | 0,73 |

Продолжение таблицы В.1 – Радиационные параметры и содержание нефтепродуктов в донных отложениях рек Колва и Уса

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------|---------|---------|----------|----------|-----------|----------|---------|-----|-----|------|
| УСД-38р | 640±102 | 320±112 | 16,6±2,5 | 21,0±3,2 | 31,0±12,4 | 22,0±3,1 | 480±58 | 0,8 | 0,5 | 0,70 |
| УСД-41 | 430±69 | 390±137 | 23,9±2,2 | 29,5±2,7 | 21,0±6,3 | 25,9±2,1 | 297±27 | 0,8 | 1,1 | 1,65 |
| УСД-46р | 330±56 | 220±88 | 6,7±0,9 | 8,7±1,0 | 8,0±4,0 | 8,2±0,7 | 285±23 | 0,8 | 0,8 | 1,23 |
| УСД-46 | 240±41 | 280±112 | 9,7±1,3 | 7,8±1,3 | 13,0±6,5 | 7,5±0,9 | 161±18 | 1,2 | 0,7 | 0,92 |
| УСД-48 | 200±36 | 420±126 | 10,9±1,4 | 9,1±1,0 | 9,0±5,4 | 7,7±1,0 | 162±16 | 1,2 | 1,2 | 0,89 |
| УСД-51р | 170±31 | 180±90 | 5,0±1,0 | 5,5±0,7 | 13,0±6,5 | 5,4±0,8 | 146±16 | 0,9 | 0,4 | 0,94 |
| УСД-61 | 280±48 | 300±105 | 7,0±1,1 | 10,5±1,5 | 15,0±6,0 | 10,6±1,1 | 234±21 | 0,7 | 0,5 | 1,67 |
| УСД-65 | 270±46 | 470±165 | 7,7±1,2 | 8,7±1,1 | 13,0±6,5 | 8,3±0,8 | 176±138 | 0,9 | 0,6 | 0,88 |
| УСД-66 | 520±83 | 240±96 | 23,1±3,5 | 18,6±2,8 | 16,0±8,0 | 17,6±2,3 | 470±56 | 1,2 | 1,4 | 1,25 |
| УСД-70 | 440±70 | 490±147 | 25,4±4,8 | 11,9±1,9 | 17,0±7,7 | 11,2±1,7 | 290±38 | 2,1 | 1,5 | 2,80 |