

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ — СОСНЫ»

На правах рукописи

УДК 539.16.04



ХАКИМОВ
Дилшод Абдухолимович

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ОБЪЕКТАХ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ БЕЛОРУССКОЙ
АЭС И РАЙОНОВ УРАНОВЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ УЗБЕКИСТАНА
И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПРЕСС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ^{222}Rn В
ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности
05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование,
эксплуатацию и вывод из эксплуатации

Минск 2023

Научная работа выполнена в Государственном научном учреждении «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований — Сосны» Национальной академии наук Беларуси

Научный **Жук Игорь Владимирович,**
руководитель: кандидат технических наук, заведующий лабораторией экспериментальных ядерно-физических исследований и экспертных анализов радиоактивных материалов ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований — Сосны» НАН Беларуси

Трифонов Александр Георгиевич,

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований — Сосны» НАН Беларуси

Официальные
оппоненты:

Коржик Михаил Васильевич,

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией экспериментальной физики высоких энергий НИИ ядерных проблем Белорусского государственного университета

Жукова Ольга Митрофановна,

кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории радиационной безопасности РУП «Научно-практический центр гигиены»

Оппонирующая
организация:

Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета

Защита состоится 23 ноября 2023 г. в 10-00 на заседании совета по защите диссертаций Д 01.10.01 при государственном научном учреждении «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси по адресу: Минский р-н, Луговослободской с/с, район д. Прилесье 47/22. Телефон ученого секретаря: +375 17 318-53-36; e-mail: nata.mak@sosny.bas-net.by.

Почтовый адрес: 220109, г. Минск, а/я 119

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного научного учреждения «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси.

Автореферат разослан «18» 10 2023 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат биологических наук



Н.А. Маковская

ВВЕДЕНИЕ

Развитие атомной энергетики в современных условиях связано с постоянным контролем радиационной безопасности на всех стадиях ядерно-топливного цикла. В настоящее время ядерно-топливный цикл осуществляется преимущественно на реакции деления ^{235}U с воспроизводством на основе ^{238}U . Основная радиационная опасность уранового цикла связана с продуктами распада, включая изотопы радона. В первую очередь радоновая проблема актуальна для мест добычи урановой руды и вблизи объектов атомной энергетики (включая АЭС). Радоновая проблема и радиационная безопасность окружающей среды требуют пристального внимания, при этом необходимо аккуратно рассматривать их общие стороны и различия. Например, нужно выделять фоновые уровни содержания радона вблизи радиационно-опасных объектов, но в то же время контролировать динамику радиационной обстановки.

С обретением в 1990-е годы рядом государств Центральной Азии государственной независимости многие объекты по добыче и переработке урана (включая отвалы и хвосты) были заброшены. Одной из серьезнейших проблем, которые создают хвостохранилища, является риск попадания природных радионуклидов и тяжелых металлов в трансграничную речную систему, следует учесть их негативное влияние на здоровье населения, проживающее вблизи площадок уранового наследия. Также некоторые из подобных объектов расположены в сейсмически активных районах и в непосредственной близости от региональных водных путей.

С учетом сказанного, как для Республики Узбекистан, так и Республики Беларусь актуальны организация постоянного мониторинга облучения населения и создание эффективной системы контроля содержания радона в питьевой воде и воздухе населенных пунктов, где расположены радиационно-опасные объекты, включая АЭС. Узбекистан занимает одно из лидирующих мест по мировым запасам и добыче урана, кроме этого правительством Узбекистана также принято решение о строительстве АЭС. В диссертационное исследование включены территории Узбекистана – Нурабадский район Самаркандской области, известный горной добычей и разработкой урановых руд, и Джизакская область, где также сосредоточено большое количество шахт, в которых добываются полиметаллические руды, содержащие свинец, цинк, железо; а также сырье для изготовления извести и известняка.

В настоящее время практически во всех странах мира реализуются национальные радоновые программы, курируемые ООН. Известно, что не менее 40 % территории Беларуси является потенциально радоноопасной, поскольку радон может поступать в помещения, расположенные в зонах тектонических разломов. Актуальность данной задачи для Беларуси также подтверждена

предварительными исследованиями [Чеховский А.Л., 2014, Карабанов А.К., 2015, Киевец М.К., 2016], выполненными за последние 10–15 лет в области радонового обследования зданий и населенных пунктов, водных источников Республики Беларусь, с созданием электронных карт уровней активности радона по результатам проводимых исследований.

Измерение удельной активности радона ($УA_{Rn}$) в питьевой воде сопряжено с определенными трудностями, поскольку радон легко высвобождается из воды при работе с ней. Последнее мешает его точному измерению при транспортировке в лабораторию и требует совершенствования методики определения радона в водных источниках.

С учетом того, что облучение радоном и его ДПР формирует основную часть годовой дозы облучения населения [Барковский А., 2018], радоновое исследование объектов окружающей среды (вода, воздух) и совершенствование методов мониторинга природных радионуклидов являются приоритетной задачей для оценки радоновой безопасности, особенно под влиянием радиационно-опасных объектов. Данный факт явился основанием для выполнения диссертационного исследования.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

Исследования, результаты которых использовались в диссертации, проводились в рамках задания 3.3.07 «Проведение комплексных исследований природных источников ионизирующих излучений, обусловленных радоном-222. Оценка доз радиоактивного облучения населения Беларуси в различных регионах в обеспечение Закона Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» подпрограммы 1.3 «Атомная энергетика и ядерно-физические технологии» государственной программы научных исследований «Энергетические системы, процессы и технологии» на 2016–2020 годы.; задания 3.1.05.3 «Проведение репрезентативного радонового обследования зданий на территории Республики Беларусь в соответствии с требованиями МАГАТЭ и оценка ситуации существующего облучения, обусловленного присутствием радона в воздухе помещений» подпрограммы 1.3 «Ядерные исследования и технологии (теория, эксперимент, приложения)» государственной программы научных исследований «Энергетические и ядерные процессы и технологии» на 2021–2025 гг., в рамках работ по хозяйственному договору от 29.07.2021 №13/21-4 «Провести исследования для определения содержания радона в питьевой воде и внутри помещений в районе расположения Белорусской АЭС».

Цели и задачи исследования Цель – исследование радона в объектах окружающей среды в зоне воздействия Белорусской АЭС и районах урановых

хвостохранилищ Узбекистана с разработкой экспресс-метода определения ^{222}Rn в водных объектах.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Исследование радона в воздухе помещений и водных объектов (колодцы, скважины) населенных пунктов Витебской и Гродненской областей, включая зону воздействия Белорусской АЭС, и оценка дозовых нагрузок на население.

2. Исследование концентрации ^{222}Rn в пробах минеральной воды в районах урановых хвостохранилищ Республики Узбекистан (Нурабадский район) с применением гамма-спектрометров: МКС-АТ6101С, полупроводниковый Ge(Li) детектор ДГДК-80Б и радиометр МКГБ-01. Оценка радонобезопасности в Узбекистане (Самаркандская и Джизакская области).

3. Определение чувствительности сцинтилляционного гамма-спектрометра МКС-АТ6101С к радионуклиду ^{222}Rn , выбор оптимальной геометрии и способа измерения, определение нижнего порога минимальной измеряемой активности (МИА) для разработки экспресс-метода измерения ^{222}Rn в воде.

Объект исследования: эманация радона в почве, питьевой воде и в воздухе жилых помещений.

Предмет исследования: Оценка радонобезопасности воздуха жилых помещений и водных объектов (колодцы, скважины) сельских населенных пунктов Гродненской и Витебской областей Республики Беларусь, включая зону воздействия Белорусской АЭС и радоноопасные территории Узбекистана.

Зона воздействия АЭС – территория в пределах зоны наблюдения Белорусской АЭС.

Научная новизна

Впервые получены экспериментальные данные по содержанию ^{222}Rn в природной воде (колодцы) и воздухе жилых помещений населенных пунктов в зоне воздействия Белорусской АЭС. Установленные уровни содержания ^{222}Rn в объектах окружающей среды могут быть использованы в качестве количественного показателя содержания радиоактивного газа ^{226}Ra , входящего в программу наблюдений Белорусской АЭС.

Впервые получены экспериментальные результаты объемной активности ^{222}Rn в воздухе сельских населенных пунктов и плотности потока ^{222}Rn с поверхности почвы в совокупности, являющиеся частью радиационно-гигиенического мониторинга содержания природных естественных радионуклидов в Самаркандской и Джизакской областях Узбекистана.

Впервые разработан экспресс-метод экспериментального определения удельной активности ^{222}Rn в воде с помощью сцинтилляционного гамма-спектрометра на основе кристалла NaJ(Tl), отличающийся тем, что спектрометрические измерения и чувствительность к дочерним продуктам распада ^{222}Rn интерпретируются по гамма-линии ^{214}Bi с энергией 609,3 кэВ. В

рамках предложенного метода разработана методика, позволяющая на месте отбора проб быстро получать экспериментальные результаты содержания ^{222}Rn в воде в полевых условиях без потери точности измерений.

Положения, выносимые на защиту

1. Совокупность результатов экспериментальных исследований содержания радона в воздухе помещений в населенных пунктах Витебской и Гродненской областях, включая зону воздействия Белорусской АЭС.

2. Оценка радоновой безопасности для населения обследованных населенных пунктов Гродненской и Витебской областей в соответствии с гигиеническими нормами.

3. Совокупность результатов экспериментальных исследований содержания Rn-222 в пробах минеральной воды вблизи урановых хвостохранилищ в Республике Узбекистан (Нурабадский район). Результаты измерения плотности потока радона с поверхности почвы и объемной активности радона в воздухе помещений на территории поселков Самаркандской и Джизакской областей Узбекистана.

4. Методика экспресс определения содержания Rn-222 в водных объектах с помощью мобильного гамма-спектрометра МКС-АТ6101С, с определением коэффициента чувствительности прибора к ^{222}Rn и экспериментальным определением минимальной измеряемой активности.

Личный вклад соискателя

Автором было выполнено: отбор проб радоновой воды в различные измерительные емкости; выбор способа герметизации измерительного сосуда; измерение проб воды на мобильных сцинтилляционных и стационарных полупроводниковых гамма-спектрометрах; обработка результатов измерения концентрации радона; определение коэффициента чувствительности мобильного сцинтилляционного гамма-спектрометра МКС-АТ6101С к ^{222}Rn в пробах минеральной воды для выбранной геометрии измерений; измерения OARn в воздухе помещений (подготовка ИРРТ к экспонированию, химическая обработка (травление) ТТД, подсчет числа импульсов и определение плотности треков на ТТД, расчет OARn); измерения плотности потока радона (ППР) с поверхности почвы (дегазация адсорберов радона, установка адсорбера радона для определения ППР, сборка и упаковка экспонированного адсорбера радона в герметичную кассету, измерение адсорберов радона на гамма-спектрометре).

Степень достоверности и апробация результатов Все результаты диссертации снабжены подробными доказательствами и опубликованы в ведущих научных изданиях. Основные научные и практические результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на:

XXVII Международном семинаре «Нелинейные явления в сложных системах», 19–22 мая 2020 г., г. Минск, Беларусь.

21-й Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века», 20–21 мая 2021 г., г. Минск, Беларусь.

XXVII Международной конференции по ускорителям заряженных частиц, 21–24 сентября 2021 г., г. Харьков, Украина.

IX Международной конференции «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии XXI века», 8–11 ноября 2022 г., г. Минск, Беларусь.

Имеются следующие документы о практическом использовании результатов исследования:

Акт о практическом использовании результатов исследования в НПУП АТОМТЕХ, октябрь 2022 г.;

Акт о практическом использовании результатов исследования в секторе «Экспертной идентификации источников ионизирующего излучения» лаборатории 04 ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны», ноябрь 2022 г.;

Акт о практическом использовании результатов исследования на кафедре ядерной физики и астрономии, Самаркандский государственный университет имени Ш. Рашидова, ноябрь 2022 г.;

Акт о практическом использовании результатов исследования управления санитарно-эпидемиологического благополучия и общественного здоровья Самаркандской области Министерства здравоохранения Республики Узбекистан, ноябрь 2022 г.

Опубликование результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 13 научных работах, из них 5 – в рецензируемых журналах в соответствии с требованиями пункта 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (4,35 авторского листа), 1 статьи в научных изданиях, включенных в перечень ВАК Украины и Скопус (Scopus), 1 статьи в научных изданиях, включенных в перечень ВАК Республики Узбекистан, и 1 статьи в зарубежных научных изданиях; 5 тезисов докладов материалов международных конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, перечня сокращений, общей характеристики работы, основной части из шести глав, заключения, библиографического списка, состоящего из списка использованных источников, списка публикаций соискателя из 13 наименований, и двух приложений. Общий объем диссертации составляет 127 страниц, в том числе 11 формул, 18 рисунков и 28 таблиц на 30 страницах, библиографический список на 13 страницах, включая собственные публикации автора, приложения к работе на 21 странице.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 Аналитический обзор литературы. В первой главе рассмотрены основные ядерно-физические и физико-химические характеристики изотопов радона и ДПР, перечислены источники поступления их в организм человека, дан обзор современного состояния нормирования предельно допустимых уровней ОА изотопов радона и ДПР в различных средах, выработаны требования к приборному оснащению систем мониторинга. Представлена общая характеристика радона и его влияния на организм человека.

Для достижения этой цели чрезвычайно важно, чтобы национальные регуляторы информировали население о рисках, связанных с радоном, а также разработали законодательную и нормативную базу, регламентирующую предельные показатели по уровню радона и требования по мониторингу в местах потенциального риска. МКРЗ, ВОЗ и МАГАТЭ призывают страны к созданию национальных программ по радоновой проблематике, где, в частности, должны быть определены предельные уровни радона в жилых домах и на рабочем месте, оценки рисков перед началом строительства и предельное содержание естественных радионуклидов в строительных материалах.

Требования к содержанию радона в жилых помещениях и на рабочих местах регламентируются в Республике Беларусь Санитарными нормами и правилами «Требования радиационной безопасности» от 28.12.2012 г. № 213, в Узбекистане Санитарными правилами и нормами СанПиН 0193-06 (НРБ-2006). Данными нормами при проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения установлена среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность короткоживущих дочерних изотопов радона и торона ($\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$) в воздухе помещений – 100 Бк/м³ в Республики Беларусь, в Республике Узбекистан – 200 Бк/м³ соответственно. В эксплуатируемых зданиях в воздухе жилых помещений ($\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$) не должна превышать 200 Бк/м³ для Республики Беларусь и 400 Бк/м³ для Республики Узбекистан.

В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ разработка и создание системы радиационного мониторинга вокруг Белорусской АЭС были осуществлены на стадии проектирования и строительства объекта. Первые оценки радиационного состояния окружающей среды были сделаны на стадии выбора площадки строительства Белорусской АЭС и в рамках подготовки Отчета по Оценке воздействия на окружающую среду Белорусской АЭС в 2008–2009 годах, что позволило уточнить современное экологическое состояние в данном районе. Объектами радиационного мониторинга в зоны наблюдения Белорусской АЭС являются атмосферный воздух, поверхностные воды и объекты гидросети, подземные воды, в том числе питьевые, почва, наземная

растительность; компоненты агроэкосистем и продукция сельскохозяйственного производства.

Существует несколько основных направлений развития методов измерения, основанных на физических и химических свойствах радона как газа и его дочерних продуктов распада как аэрозолей. Для определения характеристик содержания изотопов радона и их ДПР в окружающей среде используется весь спектр разработанных средств регистрации α -, β -, γ -излучений радионуклидов. Применение ионизационных камер, сцинтилляционных, полупроводниковых, твердотельных трековых (ТТД) и термолюминесцентных детекторов, емкостей с активированным углем происходит в соответствии с разработанными методами и методиками.

По данным Всемирной ядерной организации за 2022 год Узбекистан занимает 5-ю позицию среди стран-лидеров по производству топливного урана. Поэтому для Узбекистана достаточно актуальны комплексные исследования по качественному и количественному определению радона и его дочерних продуктов распада, образующихся в местах залежей и/или добычи урансодержащих горных пород (рудники, карьеры, граниты), а также в зоне воздействия радиационно-опасных объектов, включая будущую АЭС. Путем диффузии через урансодержащую породу радиоактивные изотопы – ^{226}Ra , ^{222}Rn и их продукты распада могут распространяться на большие расстояния и поступать в грунтовые воды, последние в некоторых случаях могут подпитывать источники питьевой воды в колодцах.

Предлагаемый научно-методический подход дает основу для проведения небольших по затратам эффективных противорадоновых мероприятий на территориях с неблагоприятной радоновой обстановкой (например, урановые хвостохранилища), а также может быть использован при проведении инженерно-геофизических изысканий или при проектировании и строительстве жилых и общественных зданий, включая объекты атомной энергетики.

Глава 2 Аппаратура и методы исследования. Для анализа оптимально подходящей геометрии измерения, материала изготовления измерительных емкостей и способов герметизации лабораторные измерения проводились в лаборатории экспериментальных ядерно-физических исследований и экспертных анализов радиоактивных материалов научного учреждения «ОИЭЯИ – Сосны» на стационарном гамма-спектрометре на основе полупроводникового Ge(Li) детектора ДГДК-80Б. Для нахождения значения активности ^{222}Rn использовалась аккредитованная методика выполнения измерений объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов на гамма-спектрометрах с полупроводниковыми детекторами МВИ.МН 3421-2010. Линия, по которой определялась активность ^{222}Rn , принадлежит ^{214}Bi , дочернему продукту ^{222}Rn , с энергией гамма-квантов 609,3 кэВ (квантовый выход 46,1 %).

Зависимость логарифма измеренной активности от времени, прошедшего с момента пробоотбора, а также линейная аппроксимация этой зависимости представлены на рисунке 1.

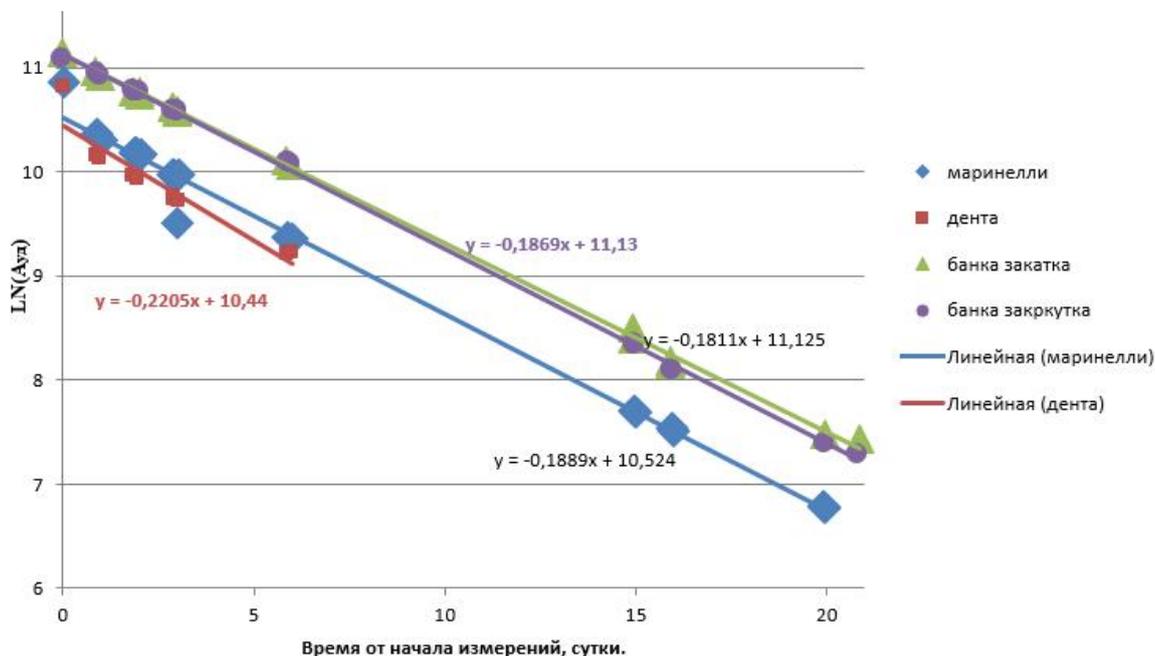


Рисунок 1 – Зависимость логарифма измеренной активности от времени, прошедшего с момента пробоотбора, а также их линейная аппроксимация

Из рисунка 1 видно, что линия у пластиковых сосудов («Дента» и «Маринелли») лежит ниже стеклянных. Благодаря герметизации активность радоновой воды в пластиковых сосудах снижается из-за воздействия температуры и давления воздуха. Первые измерения в геометриях «Дента» и «Маринелли» не лежат на прямых. Это показывает, что в первые сутки после помещения проб воды в пластиковые емкости активность радона резко падает (в 2 раза) за счет негерметичности.

Для измерений $U_{A_{Rn}}$ также использовался сцинтилляционный блок детектирования с кристаллом NaI(Tl) размерами 63×63 мм, входящий в состав гамма-спектрометра МКС-АТ6101С «АТОМТЕХ». Спектрометры МКС-АТ6101 предназначены для измерения энергетического распределения гамма-излучения, мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, плотности потока α -, β -частиц с загрязненной поверхности, поиска источников гамма-излучения и идентификации гамма-излучающих радионуклидов, а также для поиска источников нейтронного излучения.

В соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиационной защите измерения $O_{A_{Rn}}$ в воздухе помещений Республики Беларусь проводились интегральным методом пассивной трековой радиометрии с использованием твердотельных трековых ядерных детекторов альфа-частиц. В качестве детекторов использовалась нитроцеллюлозная пленка LR-115, в

радонометре ИРРТ дает возможность автоматизировать процедуру подсчета треков альфа-частиц, используя принцип искрового счета.

Измерения (OA_{Rn}) на территории Республики Узбекистан с применением сорбционных колонок на спектрометре проводились не ранее 3,5 ч после окончания экспонирования для установления радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР. Измерение мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения было проведено с помощью поискового радиометра СРП-68-01.

Глава 3 Оборудование, калибровка, измерение и обработка данных. Пробы радоновой воды, помещенные в каждую из исследуемых емкостей, многократно измерялись через некоторые промежутки времени на протяжении 20 дней и определялась UA_{Rn} на момент измерения. Для расчета UA_{Rn} в пробе производился по формуле

$$UA = (Rn^{222}) = \frac{n_{\text{пробы}} \frac{A}{n_{st}}}{m_{\text{пробы}}} e^{\lambda t} \text{ Бк/кг}, \quad (1)$$

где $n_{\text{пробы}}$ – скорость счета в пике полного поглощения для линии с энергией 609,3 кэВ для искомой пробы, имп. / с;

$m_{\text{пробы}}$ – вес искомой пробы, кг;

$\frac{A}{n_{st}}$ – коэффициент, полученный при помощи образцового радиоактивного

раствора, содержавшего радионуклид ^{137}Cs ;

λ – постоянная распада ^{222}Rn , равная $0,181 \text{ сут}^{-1}$;

t – время, прошедшее от отбора пробы до измерения, сут;

$e^{\lambda t}$ – поправка на распад радона.

При выборе населенных пунктов учитывались следующие критерии: разнообразие строительных материалов зданий (дерево, кирпич, бетон и др.), их тип (жилые, административные, детские и др.), этажность (преимущественно одноэтажные жилые дома старой постройки, первый этаж многоэтажных зданий), а также выбирались те населенные пункты, в которых мониторинг радона ранее не проводился.

Общее количество обследованных помещений на территории Республики Беларусь составило 296. Среди них:



С использованием измеренных значений OA_{Rn} и соответствующими методическими указаниями определены среднегодовые значения для каждого помещения.

Оценка среднегодовой эффективной дозы облучения населения радоном (E_{Rn} , мЗв) выполнялась на основании полученных значений $\overline{ЭРОA_{Rn}}$ с использованием коэффициента дозового перехода, равного $9,0 \cdot 10^{-6}$ мЗв·м³·ч⁻¹·Бк⁻¹ или $0,063$ мЗв·м³·год⁻¹·Бк⁻¹ при значении коэффициента равновесия $F = 0,5$ и условии пребывания людей в помещениях в течение 80 % времени.

Глава 4 Оценка радонобезопасности типовых сельских поселков по результатам радонового обследования воздуха помещений и водных объектов (колодцы, скважины) в Витебской и Гродненской областях, включая зону влияния АЭС. На основании определений OA_{Rn} в четвертичных отложениях, породах платформенного чехла и фундамента автором [Матвеев А.В., 2016] построена схема районирования территории Беларуси по степени радоновой опасности покровных отложений (грунтов), содержание газа в которых в значительной степени влияет на его поступление в жилые и производственные помещения. Выделено пять типов территорий: потенциально радоноопасные, потенциально радоноопасные на отдельных площадях, потенциально радоноопасные на локальных участках, относительно радонобезопасные и радонобезопасные. Потенциально радоноопасные покровные отложения, составляющие около 2 %, встречаются в Гродненской, Витебской и Могилевской областях (OA_{Rn} составляющих пород чехла и фундамента изменяется от 40 000 до 70 000 Бк/м³ и более). Другие типы радоноопасных

грунтов распространены значительно шире и составляют: потенциально радоноопасные на отдельных площадях – 15 % (значительная часть находится на территории Витебской области), потенциально радоноопасные на локальных участках – 40 %, относительно радонобезопасные – 35 % и радонобезопасные – 8 % территории Беларуси.

Гистограмма распределения значений $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ для зданий, расположенных в обследованных районах Витебской области, представлена на рисунке 2.

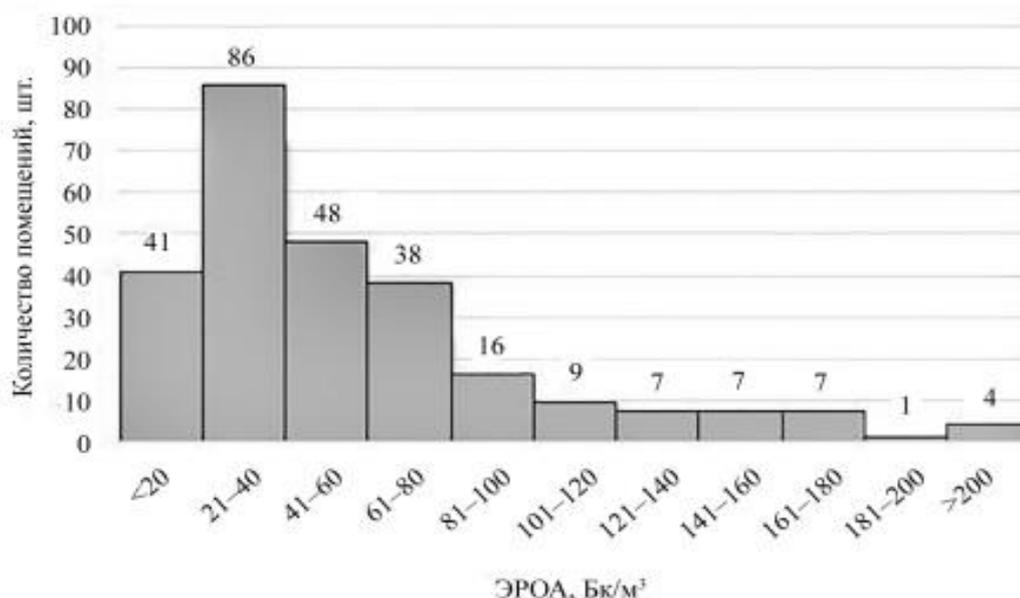


Рисунок 2 – Гистограмма распределения значений $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ для зданий, расположенных в обследованных районах Витебской области

Полученные результаты исследований показывают, что средние значения в обследованных административных районах Витебской области варьируют от 31 до 97 Бк/м³. Значения более 100 Бк/м³ зафиксированы в 35 помещениях, составляющих 13 % от общего количества обследованных помещений. Превышение нормируемого законодательством Республики Беларусь значения более 200 Бк/м³ наблюдается в 4 помещениях или в 2 % случаев. Такое превышение зафиксировано в жилых домах Россонского (201 Бк/м³), Браславского (793 и 310 Бк/м³) и Оршанского (318 Бк/м³) районов. В указанных помещениях необходимо проведение противорадоновых мероприятий, направленных на снижение уровня ОА_{Rn} . По итогу исследования основную долю результатов (86,7 %) составляют помещения, для которых ($\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$) в воздухе не превышает 100 Бк/м³.

В рамках радоновых обследований (2021–2022 гг.) в населенных пунктах, расположенных в зоне воздействия Белорусской АЭС в Гродненской области, было исследовано 22 пробы воды в колодцах и артскважинах, с использованием радоновых экспозиметров на основе ТГД из нитроцеллюлозы выполнено 70 измерений в течение двухмесячной экспозиции в воздухе зданий.

Установлено, что предложенная методика расчета и оценки содержания ^{222}Rn в водных источниках имеет удовлетворительную сходимость с результатами аттестованной методики МВИ.МН 3421-2010, что позволяет использовать ее на месте отбора проб, получать экспериментальные результаты содержания ^{222}Rn в воде в полевых условиях без потери точности измерений.

Референтный уровень содержания ^{222}Rn в питьевой воде составляет 60 Бк/кг и установлен новым Гигиеническим нормативом «Критерии оценки радиационного воздействия» (утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29.11.2022 № 829).

Для питьевой воды, отобранной в колодцах и артезианских скважинах в населенных пунктах Островецкого района Гродненской области, расположенных в зоне воздействия Белорусской АЭС, диапазон значений $УА_{\text{Rn}}$ в измеряемых пробах составил 13–27 Бк/кг, что не превышает установленного референтного уровня. В таблицах 1 и 2 приведены данные по средним значениям $ОА_{\text{Rn}}$ и $\overline{ЭРОА_{\text{Rn}}}$, а также распределение уровней $ОА_{\text{Rn}}$ и $\overline{ЭРОА_{\text{Rn}}}$ в воздухе помещений Островецкого района Гродненской области.

Таблица 1 – Распределение значений $ОА_{\text{Rn}}$ в воздухе помещений в населенных пунктах Островецкого района Гродненской области

| Кол-во обследованных населенных пунктов, шт. | Объем выборки исследованных помещений, шт. | Значение $ОА_{\text{Rn}}$, Бк/м ³ | | | Распределение значений $ОА_{\text{Rn}}$, % | |
|--|--|---|-------------|--------------|---|------------------------|
| | | Среднее | Минимальное | Максимальное | >100 Бк/м ³ | >200 Бк/м ³ |
| 12 | 32 | 62 | 30 | 238 | 6,3 | 3,1 |

Таблица 2 – Распределение значений $\overline{ЭРОА_{\text{Rn}}}$ в воздухе помещений в населенных пунктах Островецкого района Гродненской области

| Объем выборки исследованных помещений, шт. | Значение $\overline{ЭРОА_{\text{Rn}}}$ Бк/м ³ | | | Распределение значений $\overline{ЭРОА_{\text{Rn}}}$, % | | |
|--|--|-------------|--------------|--|------------------------|------------------------|
| | Среднее | Минимальное | Максимальное | >50 Бк/м ³ | >100 Бк/м ³ | >200 Бк/м ³ |
| 32 | 45 | 25 | 180 | 28,1 | 6,3 | 0 |

Как видно из таблицы 1, уровни $ОА_{\text{Rn}}$ свыше 100 Бк/м³ обнаружены в 2 помещениях Островецкого района Гродненской области (или в ~6,3 % от обследованных), а более 200 Бк/м³ – в воздухе 1 помещения (или в ~3,1 % случаев). Среднее значение $ОА_{\text{Rn}}$ по Островецкому району Гродненской области составляет ~62 Бк/м³. В соответствии с таблицей 2 среднее значение $\overline{ЭРОА_{\text{Rn}}}$ по Островецкому району составляет ~45 Бк/м³. При этом в двух помещениях (~6,3 %) показатель оказался выше 100 Бк/м³. Превышений нормируемого значения $\overline{ЭРОА_{\text{Rn}}}$ в обследованных в 2022 году населенных пунктах Гродненской области не выявлено.

Средневзвешенная годовая эффективная доза облучения населения, обусловленная радоном и его ДПР по Островецкому району Гродненской области, составляет 2,7 мЗв/год, при вариации в отдельных населенных пунктах

в диапазоне от 1,6 до 11,3 мЗв/год. Полученные экспериментальные данные о содержании радона в воздухе помещений и водных источниках Гродненской области дополняют накопленную статистику исследований по мониторингу радона в зоне воздействия Белорусской АЭС, что, согласно требованиям МАГАТЭ, позволяет проводить оценку существующего облучения населения, обусловленного присутствием радона в зоне воздействия Белорусской АЭС при ее эксплуатации.

Глава 5 Оценка радонобезопасности типовых сельских поселков в Самаркандской и Джизакской областях Узбекистана и районах урановых хвостохранилищ.

Исследованию радона в Узбекистане посвящено ограниченное количество научных работ, имеющих свою специфику. Наиболее полно информация о проводившихся в Узбекистане исследованиях в этой области представляется в монографии [Васидова А., 2015]. Сегодня для Узбекистана как никогда актуален вопрос развития атомной энергетики, которая вместе с другими видами «зеленой» энергетики позволит решить проблемы энергоснабжения в республике. Изучение концентрации ^{222}Rn , который образуется при распаде ^{238}U , является существенно важной и актуальной задачей, так как Узбекистан занимает одно из лидирующих мест по мировым запасам урана и мониторинг облучения населения за счет природных источников ионизирующих излучений, обусловленных ^{222}Rn , необходим. Поскольку одно из крупных водохранилищ на территории Узбекистана находится в Джизакской области, АЭС планируется построить именно в этом регионе.

Впервые были проведены измерения уровней ППР с поверхности грунта и OARn в воздухе помещений на территории 3 поселков Самаркандской и 2 поселков Джизакской областей Узбекистана. Значения ЭРОА ДПР в воздухе внутри помещений в диапазоне $<18 \div 280 \pm 38$ Бк/м³. Для выявления и оценки опасности источников внешнего гамма-излучения проводилось определение радионуклидного состава грунтов, данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Граничные значения УА естественных и техногенных радионуклидов (ТРН) в почве

| Удельная активность естественных радионуклидов, Бк/кг | | | | | | Удельная эффективная активность, Бк/кг | | Удельная активность ТРН, Бк/кг | |
|---|----------|-------------------|----------|-----------------|----------|--|----------|--------------------------------|----------|
| ^{226}Ra | | ^{232}Th | | ^{40}K | | $A_{\text{эфф}}$ | | ^{137}Cs | |
| мин. | макс. | мин. | макс. | мин. | макс. | мин. | макс. | ми н. | макс. |
| 20,9±2,3 | 35,9±3,5 | 31,2±3,3 | 44,1±4,2 | 457,8±46 | 982,4±98 | 109±7,3 | 161±10,8 | <2,3 | 10,4±1,4 |

Мощность дозы гамма-излучения на территории поселков и внутри домов ниже предела 0,3 мкЗв/ч, установленного национальными СанПиН № 0193-06.

В Нурабадском районе Самаркандской области Узбекистана действует Южное рудоуправление Навоинского горно-металлургического комбината, являющегося одним из крупнейших мировых производителей урана. Нами проведены измерения проб воды (6 проб) из геологических скважин, расположенных в Нурабадском районе, где используется технология добычи урана подземным выщелачиванием. Этот район был выбран из-за возможного воздействия выщелачивающих растворов на грунтовые воды. $U_{A_{Rn}}$ в данных пробах воды находится в диапазоне 30–180 Бк/кг. Экспериментальные результаты, полученные в ходе данных исследований, также в целом хорошо согласуются с более ранними результатами по $U_{A_{Rn}}$ в пробах воды из скважин Нурабадского района.

Таким образом, анализ результатов проведенных исследований показал, что данные радиационной обстановки на выбранных территориях обследованных сельских поселков Узбекистана в целом не превышают установленных международных и национальных нормативов. Следует учесть, что по данным Всемирной ядерной ассоциации за 2022 год Узбекистан занимает 5-ю позицию среди стран-лидеров по производству топливного урана. Поэтому для территорий Узбекистана достаточно актуальными остаются измерения радона и его дочерних продуктов распада, образующихся в местах залежей и/или добычи урансодержащих горных пород (рудники, карьеры, граниты, хвостохранилища).

Глава 6 Результаты экспериментального определения коэффициента чувствительности мобильного сцинтилляционного гамма-спектрометра МКС-АТ6101С к ^{222}Rn в пробах минеральной воды с выбранной геометрией и способом измерения и экспериментального определения МИА. Для определения коэффициента чувствительности гамма-спектрометра в выбранной геометрии измерения были проведены следующие эксперименты:

- пробы радоновой воды, помещенные в каждую из исследуемых емкостей, многократно измерялись через некоторые промежутки времени на протяжении 19 дней и определялась $U_{A_{Rn}}$ на момент измерения;
- в качестве емкости для измерений проб воды использовалась стеклянная емкость объемом 0,5 л с металлической крышкой, которая закрывается при помощи закаточной машинки. В данные измерительные емкости помещались отобранные пробы воды с различным содержанием ^{222}Rn ;
- в качестве детектора гамма-излучения использовался сцинтилляционный блок детектирования с кристаллом NaI(Tl) размерами 63×63мм, входящий в состав гамма-спектрометра МКС-АТ6101С. Обработка гамма-спектров осуществлялась с помощью прикладного ПО «АТАС».
- для уменьшения внешнего фона дополнительно была изготовлена свинцовая защита, а для фиксации детектора в вертикальном положении –

специальный штатив. При измерениях использовалась свинцовая защита с 2 толщинами: 50 и 15 мм. Пробы с водой измерялись вертикально, металлической крышкой вниз, непосредственно на торцевой поверхности детектора.

Чувствительность S , имп·кг/(с·Бк) гамма-спектрометра МКС-АТ6101С к жидким пробам, содержащим ^{222}Rn , рассчитывалась по формуле

$$S = \frac{N - N_{\phi}}{VA} \quad , \quad (2)$$

где N – интегральная скорость счета в энергетическом диапазоне 510–720 кэВ при измерении пробы воды, содержащей ^{222}Rn , имп/с;

N_{ϕ} – интегральная скорость счета в энергетическом диапазоне 510–720 кэВ при измерении «фоновой» пробы воды, имп/с;

VA – удельная активность ^{222}Rn в пробе воды на момент измерения, Бк/кг.

Значение МИА на пробу для данного радионуклида в условиях постоянного фона при расширенной неопределенности измерения ($k=2$) рассчитывалось по формуле

$$A_{\min}(t_0) = \frac{200\sqrt{N_{\Sigma}}}{\xi(E_{\gamma i}) t_0 I_{\gamma i}} \quad , \quad (3)$$

где N_{Σ} – сумма отсчетов, зарегистрированных в ППП РН, имп/с;

$\xi(E_{\gamma i})$ – значение эффективности регистрации гамма-квантов, соответствующих ППП для данного нуклида и выбранных геометрических условий, $\text{с}^{-1}/\text{Бк}$;

$I_{\gamma i}$ – выход гамма-квантов с энергией ($E_{\gamma i}$) данного нуклида, %;

t_0 – выбранное время экспозиции, с.

Для определения значения МИА пробы дистиллированной воды в стеклянной банке объемом 0,5 л измерялись на гамма-спектрометре МКС-АТ6101С в течение 600–7200 с в 3 вариантах. Схема измерения проб для определения значения МИА для данного гамма-спектрометра приведена на рисунке 3, а также определены значения МИА ^{222}Rn в таких пробах в зависимости от времени измерения (таблица 4).

Таблица 4 – Значения МИА ^{222}Rn для гамма-спектрометра МКС-АТ6101С в пробах воды в выбранной геометрии

| Геометрия измерения | МИА, Бк | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-----|------|------|------|------|------|
| | Время измерения, с | | | | | | |
| | 600 | 900 | 1200 | 1800 | 2700 | 3600 | 7200 |
| Со свинцовой защитой (50 мм) | 290 | 190 | 140 | 90 | 60 | 50 | 25 |
| Со свинцовой защитой (15 мм) | 370 | 250 | 190 | 120 | 80 | 60 | 30 |
| Без свинцовой защиты | 530 | 350 | 260 | 180 | 120 | 90 | 50 |

С целью подтверждения корректности получаемых результатов по определению $УA_{Rn}$ в пробах минеральной радоновой воды на гамма-спектрометре МКС-АТ6101С были проведены сличающие межлабораторные сравнения. В 5 лабораториях 4 организаций Беларуси были проведены измерения 2 проб минеральной радоновой воды в выбранной геометрии (стеклянная емкость объемом 0,5 л).

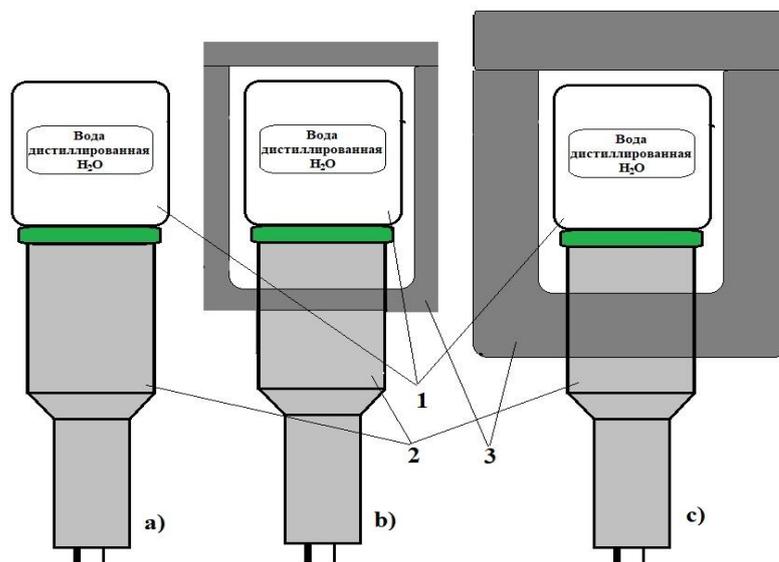


Рисунок 3 – Схема измерения проб воды для определения значения МИА, а) без свинцовой защиты, б) со свинцовой защитой толщина 15мм и в) со свинцовой защитой толщина и 50 мм: 1 – дистиллированная вода в стеклянной банке объемом 0.5 л; 2 – спектрометр МКС-АТ6101С; 3 – свинцовая защита

В таблице 5 приведены результаты сравнительного измерений проб воды, содержащей ^{222}Rn , в лабораториях следующих организаций Беларуси:

1. Учреждение образования «МГЭИ имени А.Д. Сахарова» БГУ (№1);
2. Научное учреждение «ОИЭЯИ – Сосны» (№ 2а);
3. Научное учреждение «ОИЭЯИ – Сосны» (№ 2б), наши измерения;
4. Научное учреждение «ОИЭЯИ – Сосны» (№ 3);
5. Совместное белорусско-российское ЗАО «Изотопные технологии» (№ 4);
6. Государственное учреждение «Белгидромет» (№ 5).

Таблица 5 – Результаты измерений проб воды, содержащей ^{222}Rn , в различных лабораториях организаций Беларуси

| Номер пробы | Удельная активность ^{222}Rn , Бк/кг | | | | | | Среднее значение |
|-------------|--|---------|----------------|---------|---------|---------|------------------|
| | № 1 | № 2а | № 2б | № 3 | № 4 | № 5 | |
| 7 | 770±230 | 705±140 | 715±140 | 790±160 | 730±150 | 720±140 | 738±160 |
| 24 | 1040±305 | 870±170 | 840±170 | 890±180 | 870±170 | 850±170 | 893±190 |

Математический анализ данных (таблица 3), показывает, что отклонение контрольного измерения от среднего для всех участвующих лабораторий

составляет 21 %, таким образом полученные нашим методом результаты измерений также попадают в данное отклонение.

Предлагаемый метод показал хорошее согласие с результатами измерений, полученными другими методами. В ходе межлабораторного сравнения подтверждена корректность получаемых результатов по определению UA_{Rn} в пробах минеральной радоновой воды с помощью данного гамма-спектрометра. Показано, что UA_{Rn} возможно измерять в широком диапазоне $50 - 10^4$ Бк/кг. В рамках предложенного метода разработана методика, позволяющая на месте отбора проб быстро получать экспериментальные результаты содержания ^{222}Rn в воде в полевых условиях без потери точности измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

В заключении приведены основные выводы и рекомендации, полученные в проведенных исследованиях.

1. В результате измерения $УA_{Rn}$ в населенных пунктах Гродненской области в отобранных пробах воды превышений референтного уровня ^{222}Rn не установлено. Диапазон значений $УA_{Rn}$ в измеряемых пробах воды составил 13–27 Бк/кг. Диапазон значений $\overline{ЭРОA_{Rn}}$ составил 25–187 Бк/м³. Превышений нормируемого значения $\overline{ЭРОA_{Rn}}$ не установлено. Полученные экспериментальные результаты OA_{Rn} в воздухе населенных пунктов в совокупности являются частью радиационно-гигиенического мониторинга содержания природных естественных радионуклидов в зоне воздействия Белорусской АЭС и могут быть использованы в качестве количественного показателя содержания радиационного газа ^{226}Ra , входящего в программу наблюдений Белорусской АЭС. Плановые обследования содержания радона в питьевой воде и воздухе зданий позволят сформировать массив данных для оценки вклада облучения радоном в суммарную дозу облучения населения, проживающего вокруг Белорусской АЭС. Это позволит определить степень влияния ядерного объекта на окружающую среду и в дальнейшем рекомендовать (при необходимости) мероприятия для минимизации данного воздействия [1].

2. Результаты измерения OA_{Rn} в воздухе населенных пунктов Республики Беларусь получены интегральным методом пассивной трековой радиометрии (согласно рекомендациям МКРЗ) с использованием твердотельных трековых ядерных детекторов альфа-частиц. На основании измерений значений OA_{Rn} , проведенных с учетом разнообразия строительных материалов зданий, их типом и этажности (преимущественно первый этаж), определены среднегодовые значения активности радона в воздухе для каждого помещения. Превышение нормируемого законодательством Республики Беларусь значения более 200 Бк/м³ наблюдается в 2 % случаев (4 помещения) в жилых домах Россонского (201 Бк/м³), Браславского (793 и 310 Бк/м³) и Оршанского (318 Бк/м³) районов. Основную долю результатов (71,2 %) составляют помещения, для которых ($\overline{ЭРОA_{Rn}}$) в воздухе обследованных административных районах Витебской области варьируют от 31 до 97 Бк/м³. Значения $\overline{ЭРОA_{Rn}}$ более 100 Бк/м³ зафиксированы в 35 помещениях, составляющих 13 % от общего количества обследованных помещений. В указанных помещениях необходимо проведение противорадоновых мероприятий, направленных на снижение уровня OA_{Rn} [2–4, 9].

3. Анализ результатов проведенных исследований в типовых сельских населенных пунктах Республики Узбекистана (Самаркандская и Джизакская

области) показал, что мощность дозы гамма-излучения на территории поселков и внутри домов ниже предела 0,3 мкЗв/ч. Диапазон значений $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ составил $<18-282,2 \pm 38,0$ Бк/м³, что не превышает установленных санитарно-гигиенических нормативов в Республике Узбекистан. Результаты измерений УА_{Rn} в пробах воды, отобранных из геологических скважин, расположенных в районах урановых хвостохранилищ (Нурабадском районе), находятся в диапазоне 30–180 Бк/кг [7, 8, 10].

4. В результате проведенных исследований экспериментально определено значение чувствительности (0.0047 ± 10 %) имп. · кг / (с · Бк) мобильного сцинтилляционного гамма-спектрометра МКС-АТ6101С к ^{222}Rn в пробах минеральной воды для выбранной геометрии измерений. В ходе исследования различных измерительных емкостей было показано, что стеклянная емкость с металлической крышкой под закатку обладает наилучшими показателями для измерений проб минеральной радоновой воды, утечка радона из данной измерительной емкости практически отсутствует. Определены значения МИА ^{222}Rn в таких пробах в зависимости от времени измерения. Разработан и апробирован экспресс-метод экспериментального определения УА_{Rn} в воде с помощью сцинтилляционного гамма-спектрометра на основе кристалла NaJ(Tl), отличающийся тем, что спектрометрические измерения и чувствительность к дочерним продуктам распада ^{222}Rn интерпретируются по гамма-линии ^{214}Bi с энергией 609,3 кэВ. В рамках предложенного метода разработана методика, позволяющая на месте отбора проб получать экспериментальные результаты содержания ^{222}Rn в воде в полевых условиях без потери точности измерений [5, 6, 11–14].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Практическая реализация методики определения содержания радона в питьевой воде из колодцев осуществляется на месте, где они размещены, без транспортировки, что сокращает затраты на проведение лабораторных исследований. Методика обладает хорошей достоверностью результатов, достаточно эффективно может использоваться как экспресс-метод для оценки радоновой безопасности вблизи объектов атомной энергетики.

Использование методики также может быть реализовано непосредственно в лечебных учреждениях (санатории, поликлиники), что позволит усовершенствовать процесс приготовления радоновых ванн и более точно определять полученные пациентами дозы радона, улучшая качество их лечения.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных изданиях в соответствии с п. 19

Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республики Беларусь

1. Применение радонового обследования в зоне влияния Белорусской АЭС для оценки дозовых нагрузок на население при ее эксплуатации / Д.А. Хахимов [и др.] // Научно-практический журнал. – Энергетическая стратегия. – 2023. – Т. 67, № 4. – С. 32–34.

2. Исследование уровней содержания радона в воздухе зданий на территории некоторых административных районов Витебской области / Д.А. Хахимов [и др.] // БГУ. Экология. – 2021. – № 2. – С. 61 – 66.

3. Дозы облучения населения Лунинца и Микашевичей за счет радона в воздухе жилых помещений / Д.А. Хахимов [и др.] // БГУ. Экология. – 2022. – № 3. – С. 54–61.

4. Радон у паветры жылых памяшканняў: дозы апраменьвання насельніцтва горада Слуцка і аграгарадка Лучнікі / Х. Д. Абдухалімавіч [і інш.] // Здоровье и окружающая среда: сборник научных трудов – 2021. – Вып. 31. – С. 82–88.

5. Жук, И. В. Использование метода гамма-спектрометрии для определения концентрации радона в пробах минеральной радоновой воды / И. В. Жук, К. В. Гусак, Д. А. Хахимов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2023. – Т. 68, № 1. – С. 82–88.

Статьи в научных изданиях, включенных в перечень ВАК Украины и Скопус (Scopus)

6. Hakimov, D.A. Application of a scintillation gamma-spectrometer for determination of radon content in water / D.A. Hakimov, I.V. Zhuk, M.K. Kievets // Problems of atomic science and technology – 2021. – № 6. – P. 187–190.

Статьи в научных изданиях, включенных в перечень ВАК Республики Узбекистан

7. Оценка радонобезопасности типовых сельских поселков в Самаркандской и Джизакской областях Узбекистана / Д. Хахимов [и др.] // Научный вестник СамГУ. – 2016. – № 5. – С. 39–44.

Статьи в зарубежных научных изданиях

8. Variations of Radon Flux Density from the Soil Surface in Samarkand and Jizzakh Regions of Uzbekistan / O. Mamatkulov [et. al] // International Journal of Academic and Applied Research. – 2019. – Vol. 3 Issue. – P. 7–10.

Тезисы докладов и материалов международных конференций

9. Радон в воздухе зданий населенных пунктов Витебской области / Д.А. Хахимов [и др.] // 21-я Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века»: тез. докл., Беларусь, Минск, 20–21 июня 2021 г. / редкол.: А. Н. Батян (отв. ред.) [и др.]. – Минск: МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. – 2021. – С. 259–263.

10. Определение концентрации радона в пробах минеральных радоновых вод методом гамма-спектрометрии / Д.А. Хахимов [и др.] // IX Международная конференция «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии XXI века» (8–11 ноября 2022 г., г. Минск, Беларусь) / ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны». – С. 26.

11. Хахимов, Д.А. Измерения концентрации радона в пробах минеральной радоновой воды / Д.А. Хахимов, И.В. Жук // XXVII Международный семинар «Нелинейные явления в сложных системах» (19–22 мая 2020 г., г. Минск, Беларусь). [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://sosny.bas-net.by/npcs/reps/IV/IV-6-Dilshod.pdf>. Дата доступа: 30.05.2021.

12. Измерения концентрации радона в пробах минеральной радоновой воды в скважинах санатория «РАДОН» / Д.А. Хахимов [и др.] // Nonlinear Dynamics and Applications. – 2020. – Vol.26. – С. 47–55.

13. Nakimov, D.A. Application of a scintillation gamma-spectrometer for determination of radon content in water / D.A. Nakimov, I.V. Zhuk, M.K. Kievets. // XXVII International conference on charged particle accelerators book of abstracts: (September 21–24, 2021 Kharkiv, Ukraine), редкол.: В.Г. Папкович [и др.]. National Science Center “Kharkov Institute of Physics and Technology”. – 2021. – P. 51.

Методика

14. Методика выполнения измерений удельной активности Rn-222 в воде с помощью спектрометр МКС-АТ6101С. (разработчики: И.В.Жук, К.В. Гусак, Д.А. Хахимов): утв. генеральным директором НУ «ОИЭЯИ – Сосны» 21.10.2022. – Минск, 2022. – 15 с.

РЕЗЮМЕ

Хакимов Дилшод Абдухолимович
ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ОБЪЕКТАХ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ БЕЛОРУССКОЙ АЭС И
РАЙОНОВ УРАНОВЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ УЗБЕКИСТАНА И
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСПРЕСС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ^{222}Rn В ВОДНЫХ
ОБЪЕКТАХ

Ключевые слова: радон, объемная активность, гамма-спектрометр МКС-АТ6101С, минимальная измеряемая активность.

Цель исследования – исследование радона в объектах окружающей среды в зоне воздействия Белорусской АЭС и районах урановых хвостохранилищ Узбекистана с разработкой экспресс-метода определения ^{222}Rn в водных системах.

Методы исследования и использованная аппаратура: Методика выполнения измерений объемной и удельной активности гамма-излучающих радионуклидов на гамма-спектрометрах с полупроводниковыми детекторами МВИ.МН 3421-2010; методика измерения концентрации ^{222}Rn в воде с помощью мобильного гамма-спектрометра МКС-АТ6101С; метод определения OARn в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц МВИ.МН 1808-2002.

Полученные результаты и их новизна: Совершенствование методов измерения концентрации радона в объектах окружающей среды с помощью мобильного сцинтилляционного гамма-спектрометра МКС-АТ6101С и представленный методический подход к оценке радоновой опасности способствует формированию качественного процесса исследования. Результаты экспериментального исследования содержания радона в воздухе помещений и содержания ^{222}Rn в природной воде (колодцы) населенных пунктах Витебской и Гродненской областях, включая зону воздействия Белорусской АЭС.

Рекомендации по использованию: применение мобильного сцинтилляционного гамма-спектрометра МКС-АТ6101С позволяет проводить определение содержания радона в питьевой воде из колодцев непосредственно в населенных пунктах, где они размещены.

Область применения: изучение и мониторинг содержания радона в пробах минеральной воды из родников, колодцев, артезианских колодцев и др., оценка доз облучения населения от естественных источников радиации.

РЭЗІЮМЭ

Хакімав Дзілшод Абдухалімавіч
ДАСЛЕДАВАННЕ ЎТРЫМАННЯ РАДОНУ Ў АБ'ЕКТАХ НАВАКОЛЬНАГА
АСЯРОДДЗЯ ЗОНЫ ЎЗДЗЕЯННЯ БЕЛАРУСКАЙ АЭС І РАЁНАЎ
УРАНАВЫХ ХВАСТАСХОВІШЧАЎ УЗБЕКІСТАНА І РАСПРАЦОЎКА
МЕТОДЫКІ ЭКСПРЭС ВЫЗНАЧЭННЯ ^{222}Rn Ў ВОДНЫХ АБ'ЕКТАХ

Ключавыя словы: радон, аб'ёмная актыўнасць, гама-спектрометр МКС-АТ6101С, мінімальная вымяраная актыўнасць.

Мэтай даследавання – даследаванне радону ў аб'ектах навакольнага асяроддзя ў зоне ўздзеяння Беларускай АЭС і раёнах уранавых хвастасховішчаў Узбекістана з распрацоўкай экспрэс-метаду вызначэння ^{222}Rn у водных сістэмах.

Метады даследавання і выкарыстаная апаратура: Методыка выканання вымярэнняў аб'ёмнай і ўдзельнай актыўнасці гама-выпраменьвальных радыенуклідаў на гама-спектрометрах з паўправадніковымі дэтэктарамі МВІ.МН 3421-2010; методыка вымярэння канцэнтрацыі ^{222}Rn у вадзе з дапамогай мабільнага гама-спектрометра МКС-АТ6101С; метады вызначэння OARn у паветры жылых і вытворчых памяшканняў з выкарыстаннем інтэгральных раданаметраў на аснове цвёрдацельных трэкавых дэтэктараў альфа-часціц МВІ.МН 1808-2002.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: Удасканаленне метадаў вымярэння канцэнтрацыі радону ў аб'ектах навакольнага асяроддзя з дапамогай мабільнага сцынтыляцыйнага гама-спектрометра МКС-АТ6101С і прадстаўлены метадычны падыход да ацэнкі радоновай небяспекі спрыяе фармаванню якаснага працэсу даследавання. Вынікі эксперыментальнага даследавання ўтрымання радону ў паветры памяшканняў і ўтрымання ^{222}Rn у прыроднай вадзе (студні) населеных пунктах Віцебскай і Гродзенскай абласцях, уключаючы зону ўздзеяння Беларускай АЭС.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: прымяненне мабільнага сцынтыляцыйнага гама-спектрометра МКС-АТ6101С дазваляе праводзіць вызначэнне ўтрыманне радону ў пітной вадзе са студняў непасрэдна ў населеных пунктах, дзе яны размешчаны.

Галіна прымянення: вывучэнне і маніторынг зместу радону ў пробах мінеральнай вады з крыніц, калодзежаў, артэзіянскіх калодзежаў і інш., ацэнка доз апраменьвання насельніцтва ад натуральных крыніц радыяцыі.

SUMMARY

Hakimov Dilshod Abdukholimovich

STUDY OF THE CONTENT OF RADON IN THE ENVIRONMENTAL OBJECTS OF THE IMPACT ZONE OF THE BELARUSIAN NPP AND THE AREAS OF UZBEKISTAN TAILING POINTS AND THE DEVELOPMENT OF A METHOD FOR THE EXPRESS DETERMINATION OF ^{222}Rn IN WATER BODIES

Keywords: radon, volumetric activity, MKS-AT6101S gamma spectrometer, minimum measurable activity.

The aim of the study of radon in environmental objects in the impact zone of the Belarusian NPP and areas of uranium tailings in Uzbekistan with the development of an express method for determining ^{222}Rn in water systems.

Investigation methods and apparatus: Methodology for measuring the volumetric and specific activity of gamma-emitting radionuclides on gamma spectrometers with semiconductor detectors MVI.MN 3421-2010; method for measuring the concentration of ^{222}Rn in water using a mobile gamma spectrometer MKS-AT6101C; method for determining OA_{Rn} in the air of residential and industrial premises using integral radonometers based on solid-state track detectors of MVI alpha particles. MN 1808-2002.

Received results and their novelty: Improvement of methods for measuring the concentration of radon in environmental objects using the MKS-AT6101S mobile scintillation gamma spectrometer and the presented methodological approach to assessing radon hazard contributes to the formation of a qualitative research process. Results of an experimental study of radon content in indoor air and ^{222}Rn content in natural water (wells) in settlements of the Vitebsk and Grodno regions, including the impact zone of the Belarusian NPP.

Recommendations for use: the use of a mobile scintillation gamma spectrometer MKS-AT6101C makes it possible to determine the content of radon in drinking water from wells directly in the settlements where they are located.

Applicability: study and monitoring of radon content in mineral water samples from springs, wells, artesian wells, etc., assessment of population exposure doses from natural radiation sources.

ЛИСТ ИСПРАВЛЕНИЙ

в тексте автореферата диссертации Хакимова Д.А.

«Исследование содержания радона в объектах окружающей среды зоны воздействия Белорусской АЭС и районов урановых хвостохранилищ Узбекистана и разработка методики экспресс определения ^{222}Rn в водных объектах» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности – 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»

Страницу 22–23 автореферата «Список опубликованных работ по теме диссертации», в частности ссылки на опубликованные в соавторстве с Хакимовым Д.А. литературные источники № 1–4, 7–10 и 12, следует читать в следующей редакции:

1. Применение радонового обследования в зоне влияния Белорусской АЭС для оценки дозовых нагрузок на население при ее эксплуатации / Хакимов Д.А., Гусак К.В., Маковская Н.А., Василевский Л.Л., Лукашевич Ж.А., Николаенко Е.В. // Научно-практический журнал. – Энергетическая стратегия. – 2023. – Т. 67, № 1. – С. 32–34.

2. Исследование уровней содержания радона в воздухе зданий на территории некоторых административных районов Витебской области / Жук И.В., Лукашевич Ж.А., Лисянович Т.В., Василевский Л.Л., Хакимов Д.А., Сосновский А.В. // БГУ. Экология. – 2021. – № 2. – С. 61 – 66.

3. Дозы облучения населения Лунинца и Микашевичей за счет радона в воздухе жилых помещений / Сосновский А.В., Аветисов А.Р., Лукашевич Ж.А., Василевский Л.Л., Хакимов Д.А., Кириевич И.К. // БГУ. Экология. – 2022. – № 3. – С. 54–61.

4. Радон у паветры жылых памяшканняў: дозы апраменьвання насельніцтва горада Слуцка і аграгарадка Лучнікі / Сасноўскі А.В., Авецісаў А.Р., Абдухалімавіч Х. Д., Кучко П.У., Ігнатовіч С.А.// Здоровье и окружающая среда: сборник научных трудов – 2021. – Вып. 31. – С. 82–88.

5. Жук, И. В. Использование метода гамма-спектрометрии для определения концентрации радона в пробах минеральной радоновой воды / И. В. Жук, К. В. Гусак, Д. А. Хакимов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2023. – Т. 68, № 1. – С. 82–88.

Статьи в научных изданиях, включенных в перечень ВАК Украины и Скопус (Scopus)

6. Nakimov, D.A. Application of a scintillation gamma-spectrometer for determination of radon content in water / D.A. Nakimov, I.V. Zhuk, M.K. Kievets // Problems of atomic science and technology – 2021. – № 6. – P. 187–190.

Статьи в научных изданиях, включенных в перечень ВАК Республики Узбекистан

7. Оценка радонобезопасности типовых сельских поселков в Самаркандской и Джизакской областях Узбекистана / А.А. Сафаров, И.А. Шаронов, Т. Солиев, Д.

Рахимов, С. Каршиев, Б. Ниёзов, А.Н. Сафаров, А.К. Мухамедов, Ш.Х. Хушмуродов, С. Йулдошев, Д. Хакимов // Научный вестник СамГУ. – 2016. – № 5. – С. 39–44.

Статьи в зарубежных научных изданиях

8. Variations of Radon Flux Density from the Soil Surface in Samarkand and Jizzakh Regions of Uzbekistan / O. Mamatkulov, D. Hakimov, Sh. Khasanov, S. Giyosiddinov // International Journal of Academic and Applied Research. – 2019. – Vol. 3 Issue. – P. 7–10.

Тезисы докладов и материалов международных конференций

9. Радон в воздухе зданий населенных пунктов Витебской области / И.В. Жук, Ж.А. Лукашевич, Т.В. Лисянович, Л.Л. Василевский, Д.А. Хакимов, А.В. Сосновский // 21-я Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века»: тез. докл., Беларусь, Минск, 20–21 июня 2021 г. / редкол.: А. Н. Батян (отв. ред.) [и др.]. – Минск: МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ. – 2021. – С. 259–263.

10. Определение концентрации радона в пробах минеральных радоновых вод методом гамма-спектрометрии / Д.А. Хакимов, И.В. Жук, М.К. Киевец, Э.А. Умирзаков // IX Международная конференция «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии XXI века» (8–11 ноября 2022 г., г. Минск, Беларусь) / ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны». – С. 26.

11. Хакимов, Д.А. Измерения концентрации радона в пробах минеральной радоновой воды / Д.А. Хакимов, И.В. Жук // XXVII Международный семинар «Нелинейные явления в сложных системах» (19–22 мая 2020 г., г. Минск, Беларусь). [Электронный ресурс] Режим доступа: [HTTP://SOSNY.BASNET.BY/NPCS/REPS/IV/IV-6-DILSHOD.PDF](http://SOSNY.BASNET.BY/NPCS/REPS/IV/IV-6-DILSHOD.PDF). Дата доступа: 30.05.2021.

12. Измерения концентрации радона в пробах минеральной радоновой воды в скважинах санатория «РАДОН» / И.В. Жук, М.В. Конопелько, К.В. Гусак, М.К. Киевец, Д.А. Хакимов, Л.Г. Карпишевич, Н.П. Минько, В.И. Малько, В.М. Йода // Nonlinear Dynamics and Applications. – 2020. – Vol.26. – С. 47–55.

13. Hakimov, D.A. Application of a scintillation gamma-spectrometer for determination of radon content in water / D.A. Hakimov, I.V. Zhuk, M.K. Kievets. // XXVII International conference on charged particle accelerators book of abstracts: (September 21–24, 2021 Kharkiv, Ukraine), редкол.: В.Г. Папкович [и др.]. National Science Center “Kharkov Institute of Physics and Technology”. – 2021. – P. 51.

Диссертант

Д.А. Хакимов

Ученый секретарь
совета Д 01.10.01, к.б.н., доцент

Н.А. Маковская