

Федеральное бюджетное учреждение науки
«Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт
радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и
благополучия человека

На правах рукописи

Васильев Алексей Серафимович

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ
РАДОНА В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ
ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

3.2.1. Гигиена

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
д.м.н., профессор, академик РАН
Романович Иван Константинович

Санкт-Петербург – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	13
1.1. Уровни содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий в России и зарубежных странах.....	13
1.2. Биологическое действие радона и его дочерних продуктов распада.....	22
1.3. Международное и отечественное регулирование содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий	28
1.4. Радиационный контроль содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий в России и зарубежных странах ..	33
Выводы к главе 1.....	43
ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ, ОБЪЕМ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	44
2.1. Организация и объем исследования.....	44
2.2. Методы и средства измерений содержания радона в воздухе помещений...50	50
2.3. Расчет доз облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона59	59
2.4. Расчет показателей радиационного риска для здоровья обучающихся при ингаляционном воздействии радона.....	61
2.5. Статистический анализ данных.....	67
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ.....	69
3.1. Сравнительная оценка уровней содержания радона в воздухе помещений детских учреждений в зависимости от метода контроля	69
3.2. Уровни содержания радона в воздухе помещений жилых домов и на открытой местности.....	85
3.3. Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения в помещениях детских учреждений и на открытой местности.....	86
3.4. Радиологическое исследование грунта и питьевой воды детских учреждений.....	86
Выводы к главе 3.....	88
ГЛАВА 4. ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ И РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТОДА КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ.....	90
4.1. Гигиеническая оценка доз облучения обучающихся в зависимости от метода контроля содержания радона в воздухе помещений.....	90
4.2. Гигиеническая оценка радиационного риска для здоровья обучающихся в зависимости от метода контроля содержания радона в воздухе помещений.....	97
Выводы к главе 4.....	102
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ (МЕТОДИКА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ С НЕКРУГЛОСУТОЧНЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ).....	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	111

ВЫВОДЫ.....	115
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	117
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	118
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	120
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	122
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА.....	151
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	155
Приложение А. Строительно-конструкционные характеристики обследованных зданий	155
Приложение Б. Первичные измерительные данные содержания радона в воздухе помещений.....	156
Приложение В. Результаты расчета избыточного относительного риска по многофакторной модели.....	166

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

На протяжении многих лет наибольший вклад в индивидуальную годовую эффективную дозу внутреннего облучения населения, которую люди получают от всех источников ионизирующего излучения (ИИИ), включая медицинские и техногенные (при отсутствии радиационных аварий и инцидентов), вносят изотопы радона [5, 55, 89, 116, 274]. Наличие у радона канцерогенных свойств обуславливает высокую социальную значимость обеспечения радонобезопасности населения. В Указе Президента РФ от 13.10.2018 № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» ставится задача по *«совершенствованию государственного контроля (надзора) за воздействием на здоровье человека природных источников ионизирующего излучения, в том числе радона и продуктов его распада, в жилых домах, детских учреждениях, общественных и производственных зданиях»* [91].

С 2011 года после отмены методических указаний МУ 2.6.1.715-98 «Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий» в РФ отсутствовали методические документы по проведению радиационного контроля и санитарно-эпидемиологической оценки параметров радиационной обстановки в эксплуатируемых общественных зданиях (включая дошкольные образовательные и общеобразовательные учреждения), в связи с чем не был регламентирован выбор и приоритетность использования того или иного метода или средства измерений (СИ) для контроля содержания радона в воздухе помещений таких зданий.

Тем не менее, для крупномасштабных радоновых обследований широкое распространение как в России [49, 51, 58, 65, 77–79, 218], так и за рубежом [100, 139, 154, 169, 172, 206, 214–215, 249, 256] получили интегральные методы, которые позволяют получать среднее значение объемной активности (ОА) радона за все время экспонирования интегральных трековых радиометров радона (ИТРР).

Но, к сожалению, данные методы не позволяют оценить уровень ОА радона в отдельно взятые периоды обследования, как, например, при использовании мониторов радона. Регистрация альфа-частиц происходит как в ночное время, так и в выходные и праздничные дни, в период каникул, то есть в периоды фактического отсутствия обучающихся (воспитанников детских садов и учащихся школ) в детских учреждениях (ДУ), когда предусмотренное санитарными правилами [24, 119–120] регулярное проветривание не проводится, механическая система вентиляции может быть выключена (при ее наличии), что в совокупности приводит к накоплению радона в воздухе закрытых помещений [158, 179, 218].

Вынужденное использование при радиационном контроле содержания радона в воздухе помещений ДУ методических указаний МУ 2.6.1.2838-11 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности» [107], предназначенных для радиационного контроля зданий и сооружений только после окончания их строительства, капитального ремонта или реконструкции, из-за отсутствия других утвержденных документов приводило к получению более высоких результатов измерений, так как согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 в помещениях перед измерением необходимо закрыть все окна и двери не менее чем на 12 ч, что, несомненно, не соответствует реальной ситуации облучения в таких зданиях.

Сложившаяся ситуация серьезно затрудняла организацию и проведение обследований эксплуатируемых ДУ, снижала качество и достоверность получаемой информации как о реальных уровнях содержания радона в воздухе помещений, так и о дозах облучения и радиационном риске для здоровья обучающихся.

Отсутствие утвержденного подхода к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий зачастую приводило к закрытию посреди учебного года всего здания или части помещений ДУ, что, в свою очередь, сопровождалось ростом уровня радиотревожности среди

населения. В одной лишь Кемеровской области за 2015-2021 гг. районные суды на основании исков должностных лиц Территориальных отделов Управления Роспотребнадзора по Кемеровской области приостановили деятельность не менее 16 учреждений (преимущественно ДУ) на срок от 11 до 90 суток из-за повышенного содержания радона в воздухе помещений [9–14, 22, 32, 34, 59, 71, 103–105, 125–126]. Аналогичные случаи были зарегистрированы и в других субъектах Российской Федерации: в Иркутской области [129, 131], Республике Алтай [8], Челябинской области [69], Приморском крае [15], Тульской области [72], Алтайском крае [121], Республике Саха (Якутия) [7], Еврейской автономной области [44, 108], Республике Хакасия и др. Однако последующие детальные обследования этих зданий с использованием различных методов и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений не выявляли превышения гигиенического норматива в часы работы ДУ.

Таким образом, из-за отсутствия методического документа по проведению измерений содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий конечный результат оценки данного главного дозообразующего параметра сильно варьировал и искажал объективную картину действительности. А появление сообщений в средствах массовой информации (СМИ) о закрытии ранее функционировавших ДУ и возможности облучения некоторой когорты населения выше допустимых уровней, как правило, способствовало развитию психоэмоционального стресса, который может снизить качество жизни существенно, чем само воздействие малых доз ионизирующего излучения [43].

Тема диссертации относится к перечню приоритетных направлений фундаментальных и поисковых научных исследований на 2021-2030 гг. (п. 3.4.1.4. Разработка научных основ совершенствования государственной политики, законодательной и нормативно-правовой базы по проблемам экологии человека, гигиены...) Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 гг.), утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31.12.2020 № 3684-р [93].

Степень разработанности темы исследования

Методика обследования эксплуатируемых зданий по показателям радиационной безопасности была закреплена в методических указаниях МУ 2.6.1.715-98, но не учитывала в полной мере специфику и факторы, требующие иного подхода к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей. В МУ 2.6.1.2838-11, введенных в 2011 г. взамен МУ 2.6.1.715-98, порядок радиационного контроля и санитарно-эпидемиологической оценки были описаны только для зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта или реконструкции. Таким образом, сам алгоритм и процедура выбора метода и средства измерения содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых зданий с некруглосуточным пребыванием людей с февраля 2011 г. не были методически обеспечены. Неоднократные факты закрытия эксплуатируемых помещений или зданий ДУ целиком во многих субъектах РФ подтвердили необходимость оптимизации методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений таких зданий, что и явилось основанием для выполнения данного исследования.

Цель исследования: оптимизировать методику радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей для объективной оценки доз облучения, радиационного риска для здоровья обучающихся и принятия рациональных решений по обеспечению их радиационной безопасности.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи:**

1. Определить уровни эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий различными методами и провести их сравнительный анализ.
2. Дать гигиеническую оценку доз облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада (ДПР) по результатам радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений различными методами.

3. Оценить радиационный риск для здоровья обучающихся при ингаляционном воздействии радона и его ДПР на основании результатов радиационного контроля различными методами.

4. Оптимизировать методику радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей.

Научная новизна

Предложена и внедрена на федеральном уровне научно обоснованная методика радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых зданий с некруглосуточным пребыванием людей, позволяющая оптимизировать проведение санитарно-эпидемиологического надзора органами и учреждениями Роспотребнадзора.

Установлено, что результаты интегральных измерений ОА радона дают консервативную оценку уровней содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей и не могут служить основой для принятия управленческих решений о необходимости проведения радонозащитных мероприятий. Рассчитанная на их основе доза облучения или радиационный риск для здоровья обучающихся является завышенной.

Доказано, что измерения уровня содержания радона в воздухе таких зданий необходимо проводить в рабочее время в режиме нормальной (повседневной) эксплуатации зданий детских образовательных учреждений при штатном режиме работы механической системы вентиляции и/или кондиционирования (при ее наличии), соблюдении кратности и времени проветривания, предписанных санитарными правилами и иными нормативными правовыми актами, то есть при нахождении обучающихся в здании школы или детского сада. Определено, что использование экспрессного и непрерывного метода измерения радона с помощью монитора позволяет наиболее объективно устанавливать содержание радона в эксплуатируемых общественных зданиях с некруглосуточным пребыванием людей.

Теоретическая и практическая значимость работы

На основании результатов проведенных исследований уточнены источники поступления радона в воздухе ДУ, его пространственное и временное распределение, дана оценка влияния различных условий измерения содержания радона в воздухе на уровень риска для здоровья обучающихся и объем профилактических мероприятий.

В результате выполнения исследования разработаны и утверждены на федеральном уровне методические рекомендации МР 2.6.1.0333-23 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений по показателям радиационной безопасности» (утверждены руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой 01.12.2023).

Материалы диссертационного исследования внедрены в учебный процесс ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России, а также в практику Управления Роспотребнадзора по Ленинградской области.

Методология и методы исследования

Методология диссертационной работы организована в соответствии с поставленными целью и задачами. В дизайне исследования использованы радиометрические, гигиенические, аналитические, расчетные и статистические методы исследования.

Положения, выносимые на защиту

1. Наиболее объективные уровни содержания радона в воздухе эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей позволяют получить экспрессные измерения, проведенные на протяжении нескольких рабочих дней в рабочее время в присутствии обучающихся и

сотрудников при соблюдении требований санитарных правил и иных нормативных правовых актов по кратности и времени проветривания.

2. Использование в расчетах результатов экспрессных измерений, проведенных согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами, а также результатов интегральных (круглосуточных) и квазиинтегральных (круглосуточных) измерений вместо результатов многократных экспрессных измерений, выполненных на протяжении нескольких рабочих дней в рабочее время в присутствии обучающихся и сотрудников, приводит к завышению доз облучения и показателей радиационного риска для здоровья обучающихся при ингаляционном воздействии радона и его ДПР.

3. Научно обоснованная методика радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей, которая позволяет получить значение среднегодовой ЭРОА радона в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий, соответствующее реальному сценарию облучения обучающихся и сотрудников.

Достоверность полученных результатов

Результаты исследования основаны на данных, собранных непосредственно автором работы при обследовании 13 ДУ (выполнено более 750 экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона, 100 интегральных измерений ОА радона, 25 квазиинтегральных измерений ОА радона и 9 серий непрерывных измерений ОА радона с помощью мониторов радона – 3660 циклов регистрации). Достоверность результатов обеспечивалась использованием СИ, внесенных в Госреестр СИ, прошедших в установленном порядке поверку, проведением измерений по метрологически аттестованным методикам, а также использованием общепринятых методов математической статистики. Статистический анализ полученных результатов был проведен с использованием программного обеспечения (ПО) Microsoft Excel 2016 и Statistica 10.

Апробация результатов исследования

Апробация диссертации проведена на заседании ученого совета ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева (протокол заседания № 6 от 25.09.2024).

Результаты исследования, а также основные положения работы доложены и обсуждены на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Радиационная гигиена: итоги и перспективы», посвященной 60-летию курса «Радиационная гигиена» кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, 2022); XIV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора «Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены» (Москва, 2022); XV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора «Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены» (Нижний Новгород, 2023).

Кроме того, материалы диссертационной работы были представлены в конкурсе «Лучшая работа молодого ученого», который проводился в рамках XV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора «Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены», и удостоены диплома I степени в номинации «Гигиена».

Личный вклад автора

Автором лично осуществлен поиск, анализ и обзор отечественной и зарубежной литературы, а также нормативно-правовой базы по теме диссертации, разработана программа обследований, выполнены измерения содержания радона в воздухе различными методами (экспрессным, интегральным, квазиинтегральным и непрерывным) и при различных подходах, проведена оценка, анализ и интерпретация полученных данных, рассчитаны дозы облучения и показатели радиационного риска для здоровья обучающихся, и на их основании

сделаны объективные, научно обоснованные и лично сформулированные выводы и практические рекомендации.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 5 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и индексируемых в международной библиографической и реферативной базе Scopus, а также 1 методические рекомендации, утвержденные Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Работа выполнена в лаборатории дозиметрии природных источников ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в рамках НИР «Разработка и научное обоснование рекомендаций по планированию, организации и внедрению программ по снижению уровней облучения населения от природных источников ионизирующего излучения на уровне субъектов Российской Федерации с целью уменьшения рисков заболеваемости населения злокачественными новообразованиями» (регистрационный № 121082400152-8) по отраслевой научно-исследовательской программе Роспотребнадзора на 2021-2025 гг. «Научное обоснование национальной системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, управления рисками здоровью и повышения качества жизни населения России», направление 7 «Научное обеспечение радиационной безопасности населения России в целях минимизации рисков здоровью».

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений, словаря терминов, списка литературы из 278 источников (из которых 145 отечественных и 133 зарубежных), 3 приложений. Работа изложена на 170 страницах, содержит 25 таблиц и проиллюстрирована 22 рисунками.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В этой главе были использованы материалы из ранее опубликованных работ соискателя [17, 19, 65].

1.1. Уровни содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий в России и зарубежных странах

Воздействию радона в той или иной степени подвергается все население планеты независимо от пола, возраста и профессиональной деятельности [28, 55, 70, 116, 274]. Уровень содержания радона исследуется в питьевой воде [47–48, 208], природном газе [213], почвенном воздухе [194], атмосферном воздухе [82, 162–163, 185, 195, 255], однако наибольшее количество работ во многих странах посвящено исследованиям содержания радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий [27, 50–51, 58, 65, 77–78, 100, 117, 123–124, 127, 133–134, 137–138, 148–149, 228, 237, 250, 254, 261, 263]. Впервые информация о высоких уровнях содержания радона в воздухе помещений жилых домов, то есть в зданиях, не связанных с производственной деятельностью урановых шахт, появилась в Швеции в середине XX в. [252], что послужило толчком для массовых обследований во всем мире, результаты которых позднее были обобщены и представлены в докладах Научного комитета по действию атомной радиации при Организации Объединенных Наций (далее – НКДАР ООН) [188, 242]. Интерес к общественным зданиям появился у исследователей недавно и обследовались преимущественно помещения ДУ [45–46, 49, 62, 65, 83, 100, 123, 147, 152–154, 156, 158–159, 169, 171, 179, 193, 197, 201–202, 206, 214–215, 218, 236–237, 245, 248, 260, 268, 272, 278], ведь обучающиеся (воспитанники детских садов и учащиеся школ) и сотрудники проводят в образовательных учреждениях больше времени, чем в любом другом месте, кроме дома. В обзорной статье [278] авторы отмечают более высокие уровни содержания радона в воздухе помещений ДУ по сравнению с жилыми зданиями из-за особенностей систем вентиляции и отопления, режима функционирования организаций и особенностей строительного-

конструкционных характеристик зданий ДУ. Кроме того, в построенных в середине XX в. и ранее ДУ радиационный контроль содержания радона в воздухе помещений не проводился, а в проекте здания нередко отсутствовали подвальные помещения, которые могли бы послужить неким «буфером» при эксхалации радона с поверхности подстилающего грунта. Международные организации настоятельно призывают страны сформировать благоприятную для здоровья среду в каждой образовательной организации. *«Образование и здоровье являются взаимосвязанными основными правами всех людей, лежат в основе каждого из прав человека и имеют решающее значение для социального и экономического развития, – уверена Генеральный директор Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) Одри Азуле. – Ситуация, при которой школа не способствует укреплению здоровья, больше не оправдана и не приемлема»* [140].

В большинстве зарубежных стран уровни содержания радона в воздухе помещений выражаются величиной ОА радона, однако в ряде постсоветских стран (Азербайджан, Беларусь, Киргизия, Молдавия, Таджикистан, Украина), как и в России, нормируемым показателем является среднегодовая ЭРОА изотопов радона (^{222}Rn , ^{220}Rn) [247]. Использование в России для нормирования показателя ЭРОА изотопов радона иногда вызывало трудности и ошибки при работе международных организаций (НКДАР ООН и Всемирной организации здравоохранения (далее – ВОЗ)) [144], однако учитывая преобладание радиометров аэрозолей в структуре аппаратного парка средств измерений (далее – СИ) ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» в субъектах РФ переход в нормировании от ЭРОА изотопов радона к ОА радона пока не предвидится и потребует больших финансовых затрат и времени [115].

По оценке специалистов среднемировой уровень ОА радона в воздухе помещений составляет примерно 40 Бк/м^3 , а в некоторых странах с высоким природным радиационным фоном (Швейцария, Сербия) он может на несколько порядков превышать среднемировое значение [116, 274]. В статье [197] показано, что среднее значение ОА радона в воздухе помещений школ и детских садов 20

стран сильно варьируется от 17 Бк/м³ (Саудовская Аравия) до 317 Бк/м³ (Словакия). По оценке [257] ОА радона в воздухе помещений начальных классов различных стран в период с 2010 по 2020 гг. варьировалась в диапазоне от 27 до 480 Бк/м³ (медиана составила 119 Бк/м³, среднее арифметическое – 133,43±95,14 Бк/м³, среднее геометрическое – 109,06±1,87 Бк/м³). А по оценке [278] среднее арифметическое значение ОА радона в воздухе помещений детских садов и школ 63 государств (42 из которых европейские) составило 59 Бк/м³, среднее геометрическое – 36 Бк/м³. Значения ОА радона в воздухе помещений 376 школ Южной Кореи находились в диапазоне от 18 до 2810 Бк/м³ [203]. Примерно в 1/3 обследованных помещений ДУ Португалии и Испании уровень ОА радона превысил установленный референтный уровень 300 Бк/м³, а в 75% помещений – рекомендованный ВОЗ уровень 100 Бк/м³ [159]. Только в штате Нью-Йорк США, например, в 1150 учебных помещениях школ уровень ОА радона в воздухе варьировался от 4 пКи/л (148 Бк/м³) до 20 пКи/л (740 Бк/м³), то есть превышал установленный в США уровень действия [196]. А проведенное недавнее широкомасштабное обследование всех довузовских образовательных учреждений Черногории с использованием твердотельных трековых детекторов (ТТД) показало, что в 728 помещениях 213 ДУ средняя ОА радона в воздухе была выше 300 Бк/м³, а в 111 помещениях 47 ДУ – превышала 1000 Бк/м³ [272], что указывает на существование в некоторых странах риска развития радон-индуцированного рака легкого при длительном пребывании обучающихся или сотрудников в плохо вентилируемых закрытых помещениях ДУ. В Финляндии максимальное значение ОА радона в детских садах и школах составило 2426 Бк/м³ и 4205 Бк/м³ соответственно, что потребовало проведения повторных измерений и незамедлительных действий со стороны руководства образовательных учреждений и органов местной власти по снижению уровня содержания радона в воздухе некоторых помещений с длительным пребыванием обучающихся [197]. В таблице 1.1 представлены данные об ОА радона в воздухе помещений ДУ в некоторых зарубежных странах.

Таблица 1.1 – Средние значения ОА радона в воздухе помещений ДУ некоторых зарубежных странах

Страна	Тип ДУ	ОА радона, Бк/м ³	
		Среднее арифметическое	Среднее геометрическое
Болгария [193]	Детские сады (г. София)	132	101
Венгрия [169]	Детские сады	60	50
Китай [250]	Школы	56	–
Латвия [228]	Школы	88	–
	Детские сады	63	–
Португалия [159]	Школы, детские сады	332	185
Республика Македония [248]	Школы	88	76
Румыния [154]	Школы, детские сады	143	–
Саудовская Аравия [148]	Школы	17	17
Сербия [172]	Школы	341 (1 этаж), 165 (2 этаж)	–
Таджикистан [83]	Школы	258 (1 этаж), 148 (2 этаж) при $F_{Rn}=0,4$	–
	Детские сады	233 (1 этаж), 135 (2 этаж) при $F_{Rn}=0,4$	–
Тунис [201]	Начальные школы	27	21
Украина [100]	Детские сады	318 (при $F_{Rn}=0,5$)	370 (при $F_{Rn}=0,5$)
Финляндия [197]	Школы	82	42
	Детские сады	86	39
Черногория [272]	Школы, детские сады	275	174
Чешская Республика [179]	Детские сады	177	124
Швеция [261]	Школы	105	–
	Детские сады	73	–
Южная Корея [202]	Детские сады	52	–

Из-за обширной территории и отсутствия финансирования специальное широкомасштабное обследование ДУ РФ на содержание радона в воздухе помещений с вовлечением всех субъектов РФ не проводилось, обследования ДУ носили выборочный характер [49, 51, 58, 62, 65, 68, 77–79, 94, 117, 123–124, 218]. Как видно из карты потенциальной радоноопасности субъектов РФ (рисунок 1.1), основанной на данных из уникального Федерального банка данных доз облучения граждан Российской Федерации за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона (ФБДОПИ), выборочные обследования могут как занижать, так и завышать реальный средний уровень содержания радона в воздухе помещений ДУ в масштабе всей страны.

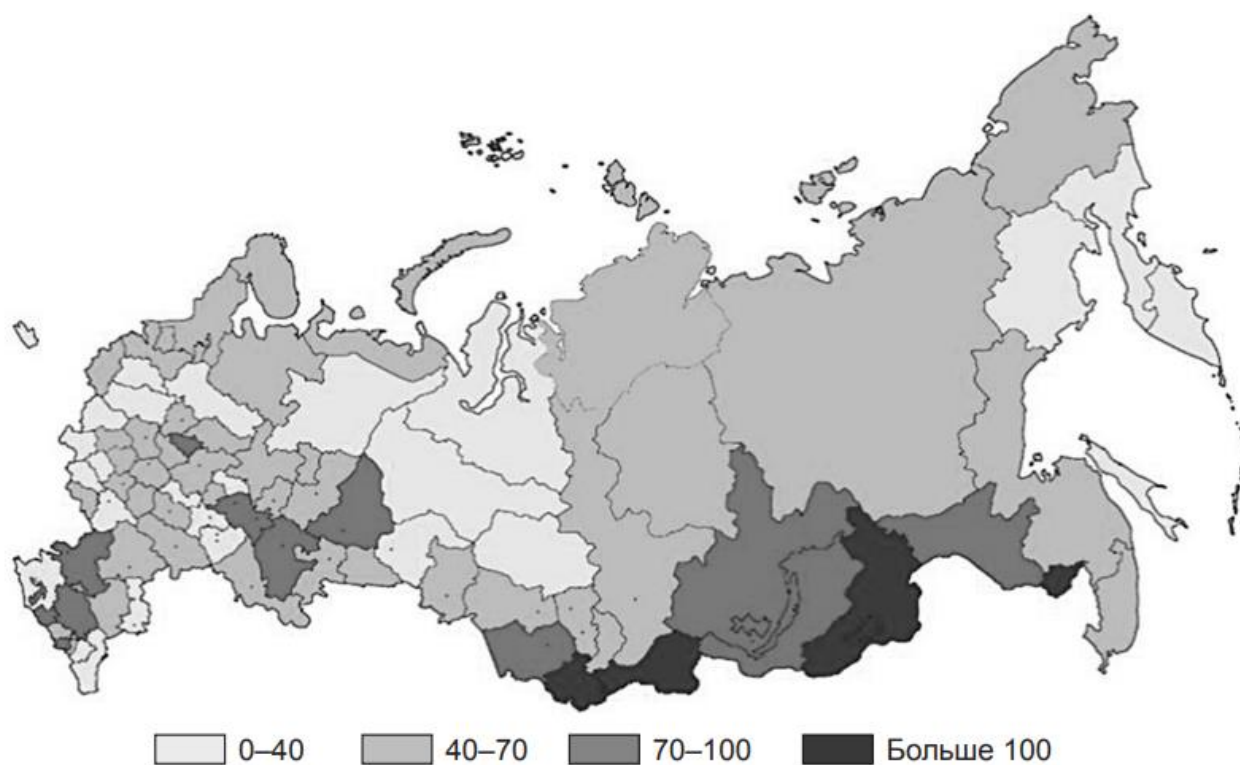


Рисунок 1.1 – Распределение субъектов РФ в зависимости от среднегодовых значений ОА радона, Бк/м³ (кроме г. Севастополь, Республики Крым, Донецкой народной республики, Луганской народной республики, Запорожской области и Херсонской области) [55]

Республика Алтай, Забайкальский край, республика Тыва, Ставропольский край, Еврейская АО, Иркутская область являются субъектами РФ с максимальными средними значениями ЭРОА изотопов радона в воздухе

помещений жилых и общественных зданий [51, 116]. Следует отметить, что накапливаемые в ФБДОПИ данные собираются из всех лабораторий радиационного контроля с помощью, утвержденной в 2013 г. Федеральной службой государственной статистики, единой формы федерального статистического наблюдения № 4-ДОЗ «Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измеренного радиационного фона» [66], в которой жилые и общественные здания исходно не разграничены, поэтому вычленение данных только по ДУ практически невозможно.

По данным, представленным Управлениями Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в субъектах РФ, только в 2 субъектах (Республика Алтай и Амурская область) доля зданий ДУ, в которых был проведен радиационный контроль, составила 100%. К 2017 г., к сожалению, охват обследованиями зданий ДУ в некоторых субъектах РФ был крайне низким (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Данные о радиационных обследованиях зданий ДУ в некоторых субъектах РФ в 2011–2016 гг. [65]

Субъект РФ	Общее число зданий ДУ	Число обследованных зданий ДУ	Доля обследованных зданий ДУ, %
Вологодская область	940	9	0,96
Волгоградская область	679	5	0,74
Астраханская область	614	7	1,14
Республика Северная Осетия – Алания	449	6	1,34
Челябинская область	2307	45	1,95
Тверская область	9892	233	2,36
Забайкальский край	1179	31	2,63
Нижегородская область	2181	81	3,71
Самарская область	2062	125	6,06
Республика Дагестан	2177	144	6,61
Новгородская область	428	32	7,48

Продолжение таблицы 1.2

Субъект РФ	Общее число зданий ДУ	Число обследованных зданий ДУ	Доля обследованных зданий ДУ, %
Калужская область	592	48	8,11
Тульская область	982	83	8,45
Республика Башкортостан	1655	149	9,00
Архангельская область	1325	120	9,06
Ростовская область	2350	245	10,43
Владимирская область	992	104	10,48

Ряд авторов также отмечают слабое развитие в России т.н. рынка «радоновых услуг» (услуг по измерению содержания радона в воздухе помещений аккредитованными в установленном порядке лабораториями радиационного контроля, проведению радонозащитных мероприятий, проект которых должен разрабатываться в соответствии с документами по стандартизации, включая свод правил СП 321.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования противорадоновой защиты» (утвержден приказом Минстроя России от 05.12.2017 № 1616/пр) и т.п.), а также прекращение с 2016 г. финансирования работ по радоновой тематике на федеральном уровне в рамках федеральных целевых программ, координатором которых на данный момент является Роскорпорация «Росатом» [55]. В связи с этим некоторые авторитетные специалисты по радиационной безопасности считают необходимым возродить в том или ином виде федеральную целевую программу «Радон», которая довольно успешно была реализована в нашей стране в период с 1994 по 1996 гг., и благодаря которой были разработаны немало нормативно-методических документов, ставшие основной действующей в стране базы регулирования радиационной безопасности при воздействии ПИИИ [53, 56, 75, 122].

По оценке Ярмошенко И.В. с соавторами среднероссийский уровень ОА радона в воздухе помещений составляет 48 Бк/м³ [276]. По данным радиационно-гигиенической паспортизации территорий (РГПТ) [112] средняя ЭРОА изотопов

радона в воздухе жилых и общественных зданий РФ за 2021 г. варьировалась в диапазоне от 4 до 151 Бк/м³. Учитывая высокую социальную значимость, многие авторы отмечают, что в рамках радиационного мониторинга для РГПТ при проведении измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений общественных зданий приоритет следует отдавать ДУ [4, 76]. Уровень содержания радона в воздухе помещений ДУ сильно варьируется в течение дня и напрямую связан с кратностью и длительностью проведения проветриваний помещений (учебных кабинетов, зон рекреации и т.д.), которые регламентируются СанПиН 1.2.3685-21 (таблица 1.3), СП 2.4.3648-20 [119] и СП 3.1/2.4.3598-20 [120].

Таблица 1.3 – Показатели продолжительности проветривания учебных помещений и рекреаций в зависимости от температуры наружного воздуха, мин [24]

Температура наружного воздуха, °С	Учебные кабинеты в малые перемены	Учебные кабинеты в большие перемены и между сменами / рекреации между учебными занятиями
от + 10 до + 6	4 – 10	25 – 35
от + 5 до 0	3 – 7	20 – 30
от 0 до -5	2 – 5	15 – 25
от -5 до -10	1 – 3	10 – 15
ниже -10	1 – 1,5	5 – 10

Кроме того, необходимость соблюдения режима проветривания помещений ДУ в осенне-зимний период обусловлена проведением ежегодного комплекса мероприятий по профилактике гриппа и острых респираторных вирусных инфекций [85]. Учитывая жесткую регламентацию проведения проветриваний в ДУ, в Канаде, например, средняя ОА радона в воздухе помещений ДУ в 3 раза ниже, чем в жилых домах [166]. Но несмотря на это, в ДУ РФ ежегодно фиксируются превышения гигиенического норматива по содержанию радона в воздухе помещений [67]. Скорее всего, это связано с тем, что до конца XX века

здания строились без учета радиационных характеристик местности (по таким показателям как плотность потока радона (ППР) с поверхности грунта и мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на открытой местности) и применяемых строительных материалов (по показателю $A_{эфф}$). А с 2006 г. после внесения изменений в Градостроительный кодекс РФ, специалисты Роспотребнадзора и вовсе не принимают участие в государственной приемке объектов законченного строительства [87, 122]. Кроме того, в процессе эксплуатации здания некоторые технические обстоятельства, такие как дефекты фундаментной плиты и ограждающих конструкций подвала вследствие естественных (тектонических) процессов либо деятельности человека; уменьшение кратности воздухообмена из-за нештатного функционирования системы вентиляции или закупорки вентиляционных каналов и пр., могут привести к резкому увеличению содержания радона в воздухе помещений.

Также в последнее время в современные проекты зданий многих стран все чаще стали закладывать энерго- и теплосберегающие технологии с целью сокращения выбросов углекислого газа в атмосферу, как важного критерия устойчивого развития общества, однако внедрение этих технологий приводит к увеличению уровня содержания радона в воздухе закрытых помещений за счет уменьшения инфильтрации воздуха через наружные ограждающие конструкции и оконные проемы [16, 52, 143, 145, 150, 212, 229, 253, 267]. При обследовании типовых зданий ДУ РФ уровень содержания радона в помещениях с окнами с пластиковыми рамами и двойным или тройным остеклением оказался почти в два раза выше аналогичного показателя в помещениях с окнами с деревянными рамами [94, 218]. Применение энергосберегающих решений в некоторых детских садах Чехии также показали увеличение среднего уровня содержания радона в воздухе помещений, где обучающиеся проводят большую часть времени (спальни, игровые комнаты), на 63% по сравнению с аналогичными измерениями, выполненными в тех же ДУ в начале 1990-х гг. [179].

За последние годы высокие уровни ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий были зафиксированы в ДУ

г. Санкт-Петербурга (в школе-интернате № 289 г. Красное Село, пос. Можайский; ясли-саду № 23 г. Красное Село; подростково-молодежном клубе «Юность» г. Пушкин; детском саду № 14 г. Пушкин; средней школе № 276 г. Красное Село; начальной школе № 464 г. Павловск; детском саду № 52 г. Красное Село, пос. Можайский [123]), расположенных на потенциально радоноопасных территориях ввиду сосредоточения комплекса горных пород (диктионемовых сланцев) с высоким содержанием ^{238}U (^{226}Ra), которые выходят на поверхность или располагаются в непосредственной близости от земной поверхности [6, 26, 116]. Также повышенные уровни содержания радона в воздухе помещений ДУ были отмечены в Ленинградской области, Иркутской области, Кемеровской области, Новгородской области, Челябинской области, Республике Саха (Якутия), Ставропольском крае и др. [45–46, 49, 65]. В отдельных случаях измеренные значения ЭРОА изотопов радона на порядок превышали установленный гигиенический норматив: так в актовом зале гимназии г. Алдан, например, максимальное значение ЭРОА изотопов радона в воздухе составило более 6000 Бк/м³ [65].

В статье [272] авторы приводят результаты дисперсионного анализа, который выявил достоверную взаимосвязь между уровнем содержания радона в воздухе помещений на первом этаже ДУ с 4 факторами: годом постройки здания, наличием или отсутствием подвала, используемым строительным материалом и типом оконных рам.

1.2. Биологическое действие радона и его дочерних продуктов распада

Наибольший вклад в индивидуальную годовую дозу облучения, которую человек получает от всех ИИИ, включая медицинские и техногенные (при отсутствии радиационных аварий и инцидентов), вносят изотопы радона [3, 5, 110, 274]. На протяжении многих лет дозы облучения от природных источников ионизирующего излучения (ПИИИ) занимают наибольшую долю (77,17%) в структуре коллективных доз облучения населения РФ даже несмотря на резкий

рост числа компьютерных томографий в период пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 (рисунок 1.2) [89].

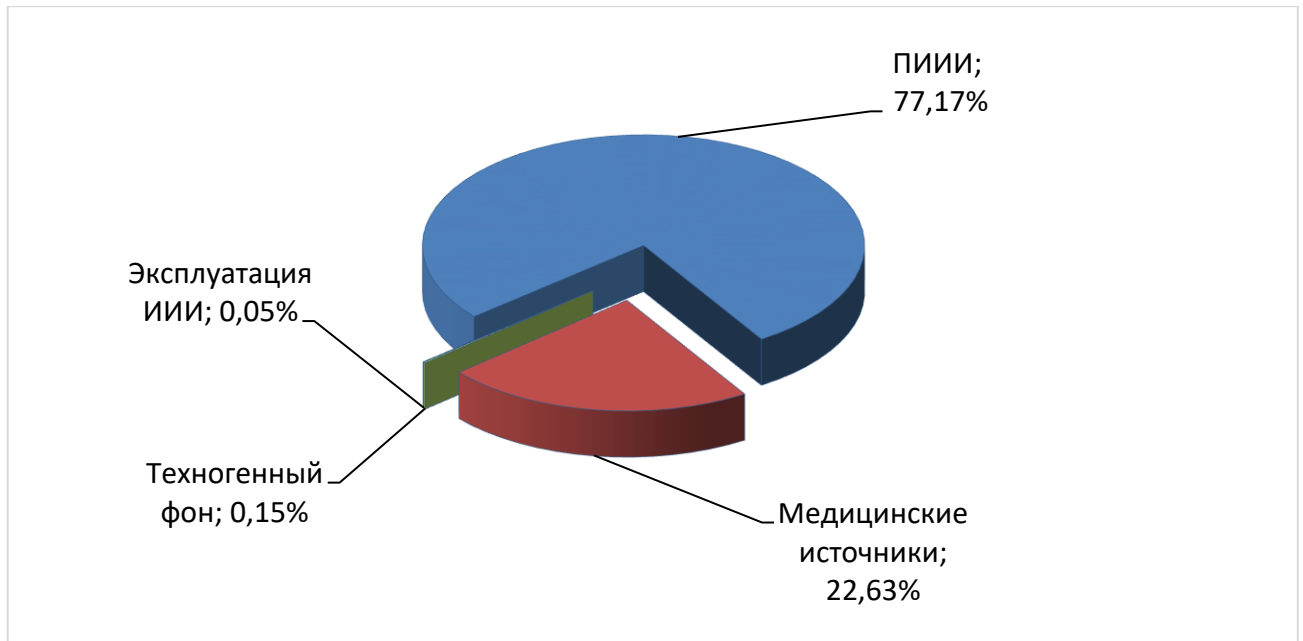


Рисунок 1.2 – Структура годовых коллективных эффективных доз облучения населения РФ в 2021 г., %

При этом, как отмечают некоторые авторы [53, 116], среднегодовые дозы от ПИИИ в РФ выше, чем в среднем по земному шару. Однако доза облучения за счет суммарного воздействия ПИИИ для населения, в отличие от техногенного облучения, не нормируется. В соответствии с п. 5.3.1 НРБ-99/2009 [84], «снижение облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения», включая изотопы радона и продукты их радиоактивного распада в воздухе помещений (п. 5.1.1 ОСПОРБ 99/2010 [96]). В структуре доз облучения населения РФ за счет всех ПИИИ вклад изотопов радона и их короткоживущих ДПР является наибольшим и составляет около 60% (рисунок 1.3) [5].



Рисунок 1.3 – Структура средней индивидуальной годовой эффективной дозы природного облучения населения РФ за 2001–2021 гг.

В конце XX века ВОЗ и Международное агентство по изучению рака (МАИР) признали радон канцерогеном для органов дыхания [114, 187, 209]. На сегодняшний день рак легкого является единственным общепринятым доказанным канцерогенным эффектом воздействия радона и его короткоживущих ДПР на здоровье человека, одним из наиболее распространенных злокачественных новообразований в мире, а также наиболее частой причиной летальных исходов среди онкологических патологий [42, 55, 102, 114, 116, 142, 146, 251, 274]. Данное заболевание не имеет специфических маркеров в клиническом или биохимическом анализе крови, а латентный период риска развития радон-индуцированного рака легкого по оценкам специалистов составляет 5 лет [98]. Результаты исследований [160, 165, 168, 184, 200, 205, 217, 222, 235, 259, 271, 273], направленные на выявление связи между воздействием радона и риском возникновения новообразований других локализаций или неонкологических хронических заболеваний, не убедительны и требуют дополнительного тщательного изучения с увеличением числа вовлеченных в исследования людей. Среди множества причин развития рака легкого (наследственная предрасположенность, длительное влияние вредных производственных факторов, загрязнение атмосферного воздуха, вирусные

инфекции и др.) радон и его ДПР являются основной причиной развития рака легкого у некурящих людей (детей и взрослых) и второй по значимости – у курящих [74, 114, 207, 216, 241, 244, 270, 274]. Также следует учитывать, что облучение изотопами радона в сочетании с факторами нерадиационной природы (продукты сгорания табака, пыль, выхлопные газы) приводит к усилению неблагоприятных эффектов за счет синергетического действия, увеличивая пожизненный риск развития рака легкого [35, 109, 114, 204, 251, 274]. На сегодняшний день Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) после анализа научной информации о влиянии на здоровье радона и его ДПР предложила только один коэффициент риска $8 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/(\text{Бк} \cdot \text{ч})$, который учитывает синергическое действие радона и табакокурения [110, 114].

В России в последние годы онкологические заболевания являются второй причиной смертности после болезней системы кровообращения [37–41], а рак легкого включен в перечень социально значимых заболеваний [92] и до сих пор остается актуальной проблемой отечественного здравоохранения.

Согласно данным крупномасштабного исследования авторитетного международного научного издания The Lancet радон ответственен за более чем 1000000 потерянных лет жизни ежегодно и занимает среди всех факторов риска, связанных с загрязнением окружающей среды, 5 место [246]. Для оценки риска возникновения рака легкого, связанного с воздействием радона, применяют, как правило, дозиметрический или эпидемиологический подходы [211]. Проведенные эпидемиологические исследования (когортные исследования шахтеров, исследования случай-контроль связи рака легкого и облучения радоном в жилищах, географически-коррелированные (экологические) исследования) хорошо согласуются с линейной беспороговой концепцией радиационно-индуцированного канцерогенеза [73–74, 113, 157, 216, 240]. Наличие ряда искажающих факторов при проведении радоновых эпидемиологических исследований, такие как другие причины возникновения раковых заболеваний, длительный латентный период, не позволяют четко определить биологические эффекты от малых доз радиации, дать точные данные о зависимости

«доза-эффект» [95]. Анализ 13 европейских исследований типа «случай-контроль» показал, что риск развития рака легкого увеличивается на 16% (от 5% до 31%) на каждые 100 Бк/м³ ОА радона в независимости от того, идет ли речь о людях, курящих в настоящее время, курящих в прошлом или же о тех, кто никогда не курил [174–175]. Пожизненный риск развития радон-индуцированного рака легкого зависит не только от уровня содержания радона в воздухе помещений, но и продолжительности облучения, таким образом, раннее облучение радоном в детстве существенно увеличивает риск развития рака легкого в более позднем возрасте [164, 207, 251].

В соответствии с мультипликативным характером зависимости, смертность от радон-индуцированного рака легкого связана с фоновой возраст-специфической смертностью от рака легкого с помощью значения избыточного относительного риска (ИОР) [98]. Ежегодно доля смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого составляет от 3 до 14% в зависимости от среднего уровня содержания радона в воздухе помещений и распространенности табакокурения в отдельных странах [110, 274]. В Европе радон является причиной около 9% смертей от рака легкого и около 2% смертей от всех онкологических заболеваний [174]. В Америке, согласно оценке Агентства по охране окружающей среды США [186], радон ежегодно ответственен за около 21 тыс. случаев преждевременной смерти от рака легкого. В России, к сожалению, нет официальных данных о вкладе радона в смертность от рака легкого [55], по оценке Кононенко Д.В. при расчете по многофакторной модели для жителей Санкт-Петербурга он может составлять 17,3% [63], Забайкальского края – 12,4%, Республики Тыва – 11,8%, Республики Алтай – 9,5% [64]. В статье [35] Жуковский М.В. с соавторами приводят прогноз относительного вклада облучения радоном в общую смертность населения РФ при ОА радона равной 50 Бк/м³, так вклад радона в 2030 году составит 0,59% для мужского населения и 0,37% для женского населения, а в 2100 году увеличится и составит 0,87% и 0,81% соответственно.

На протяжении многих лет считалось, что детский организм более чувствителен к воздействию вдыхаемых газообразных веществ, в том числе радиоактивного газа радона, ввиду анатомически меньших размеров легких, физиологически учащенного дыхания и большего количества радиочувствительных клеток, однако в 2013 г. НКДАР ООН сделал вывод о том, что по 10% видам раковых заболеваний (включая рак легкого) дети менее чувствительны к воздействию радиации, чем взрослые, или, как минимум, имеют примерно одинаковую чувствительность [243]. Воздействие альфа-частиц при радиоактивном распаде радона на клеточном уровне проявляется в виде мутаций, хромосомных aberrаций, образования активных форм кислорода, модификации клеточного цикла, в результате которого повышается или понижается регуляция цитокинов и повышается продукция белков-регуляторов клеточного цикла [230], однако наиболее важную роль в развитии легочного канцерогенеза играет увеличение скорости клональной экспансии [277]. Ряд отечественных и зарубежных исследователей отмечали статистически значимое увеличение клеток с хромосомными aberrациями у учащихся школ, которые длительное время находились в помещениях с повышенным содержанием радона в воздухе [2, 33, 130, 155]. Эпидемиологическое исследование типа «случай-контроль» с участием 792 пациентов показало, что делеция генов системы клеточной детоксикации GSTM1 и GSTT1, ответственных за продукцию защитных ферментов (например, S-трансферазы глутатиона), увеличивает риск возникновения рака легкого при ингаляции изотопов радона [233]. Кроме того, есть предположение, что из-за воздействия радона происходит специфическая мутация гена P53, ответственного за супрессию образования злокачественных новообразований, однако результаты [232, 234] не являются окончательными. Также на основании мета-анализа 28 исследований был сделан вывод, что риск развития рака легкого у бывших работников урановых шахт был связан с влиянием геномного региона 15q25 [231].

Несмотря на то, что малые дозы радиации часто связывают с риском возникновения онкологических заболеваний, нельзя игнорировать ряд исследований [23, 81, 170, 177], доказывающих положительное влияние радона на

организм человека согласно гипотезе стимулирующего действия радиации (теория *hermesis*) [28, 101]. Радон оказывает обезболивающее и противовоспалительное действие, вызывает (вероятно, через усиление продукции дигидроксифенилаланина и родственных биологически активных соединений меланоцитами кожи) активацию ряда нейроэндокринных механизмов, дающих выраженное воздействие на сердечно-сосудистую, пищеварительную, опорно-двигательную и нервную системы, улучшая самочувствие и стимулируя защитно-приспособительные механизмы организма [23, 81]. Радонотерапия с применением радоновых ванн показала хорошую эффективность при ряде хронических заболеваний, например, при лечении пациентов с псориатическим артритом, ревматоидным артритом, подагрой, ишемической болезнью сердца, гипертонической болезнью, сахарным диабетом и др. [29, 101, 141]. Однако основным отличием радонотерапии от постоянного воздействия радона при пребывании в закрытых помещениях, в которых его уровень в воздухе при определенных условиях может в разы превышать гигиенический норматив (референтный уровень), является кратковременная дозированная продолжительность процедуры под пристальным контролем медицинского персонала [55, 110, 116, 274].

1.3. Международное и отечественное регулирование содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий

На сегодняшний день выстроена хорошо функционирующая система взаимодействия ведущих международных организаций при разработке современной методологии регулирования защиты населения от облучения радоном, роль отдельных организаций: ВОЗ, НКДАР ООН, МКРЗ, Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) в формировании концепций радиационной защиты населения подробно изложена в работах Киселёва С.М. [55, 57]. В зарубежной практике облучение радоном (до 6 мЗв/год) в помещениях жилого или общественного назначения рассматривается как ситуация существующего облучения (*existing exposure situation*), поскольку

воздействию радона подвергается все население, независимо от рода деятельности, из-за неравномерного, но повсеместного присутствия в окружающей среде природных радионуклидов (ПРН), в том числе ^{238}U , ^{226}Ra [80, 113, 116, 219].

По мнению экспертов ВОЗ, одним из важных шагов для решения радоновой проблемы является установление каждой страной национального референтного уровня содержания радона в воздухе помещений [274]. Концепция референтного уровня отличается от установленной в нашей стране системы гигиенических нормативов, обязательных к соблюдению, но не предусматривающих мероприятия по улучшению радиационной обстановки при отсутствии их превышения. Термин «референтный уровень» существенно отличается от ранее существовавшего в международной среде термина «уровень действия» и не определяет жесткой границы между понятиями «безопасность» и «опасность», а лишь показывает тот уровень дозы облучения, риска или активности, превышение которого при планировании считается неприемлемым (но не является нарушением), а ниже которого должна осуществляться оптимизация защиты с учетом экономических и социальных факторов [36, 67, 80]. Ввиду неоднородности территории РФ по радоноопасности, обусловленной геолого-географическими и геофизическими характеристиками, многие авторы отмечают целесообразность установления региональных референтных уровней содержания радона в воздухе помещений РФ [28, 55–56, 67, 115, 144, 275], которые будут научно обоснованы и установлены на основании накопленных за длительный период ежегодно собираемых данных, например, в Единой государственной системе контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД), с учетом преобладающего в регионе типа зданий, года постройки, используемых строительных материалов и других факторов, влияющих на накопление радона в воздухе закрытых помещений.

С учетом имеющихся научных данных, основываясь на принципе ALARA («as low as reasonably achievable» – «настолько низко, насколько это разумно достижимо») для минимизации угроз здоровью населения ВОЗ с 2009 г.

рекомендует использовать значение ОА радона равное 100 Бк/м^3 (что соответствует 50 Бк/м^3 ЭРОА радона при использовании коэффициента равновесия $F_{Rn}=0,5$ и 40 Бк/м^3 – при $F_{Rn}=0,4$) в качестве референтного уровня ОА радона в воздухе помещений [274]. Данное значение для эксплуатируемых зданий было установлено в Нидерландах благодаря проведенному общенациональному радоновому обследованию [239]. По оценке [151], в Швеции 35-40% случаев радон-индуцированного рака легкого можно было бы предотвратить при снижении уровня ОА радона в воздухе помещений до 100 Бк/м^3 .

Учитывая сложившиеся условия в каждой конкретной стране, не позволяющие пока что достичь такого референтного уровня ОА радона, ВОЗ рекомендует установить среднегодовое значение референтного уровня не более 300 Бк/м^3 (что соответствует значению ЭРОА радона 150 Бк/м^3 при использовании коэффициента равновесия $F_{Rn}=0,5$ и 120 Бк/м^3 – при $F_{Rn}=0,4$) [274]. После тщательного изучения научных данных о воздействии радона на здоровье человека, в 2010 г. МКРЗ увеличила коэффициент номинального риска для населения всех возрастов в 1,8 раз и снизило значение референтного уровня ОА радона с рекомендованного ранее 600 Бк/м^3 (из Рекомендаций 2007 г. [113]) до 300 Бк/м^3 [114], что также было учтено МАГАТЭ при внесении изменений в Международные нормы безопасности [80]. По мнению специалистов МАГАТЭ разные люди должны быть защищены от радона в одинаковой степени, независимо от функционального назначения здания и продолжительности пребывания людей в нем, поэтому МАГАТЭ рекомендует для жилых домов и зданий смешанного назначения (доступных как для работников, так и для населения), к которым также относятся эксплуатируемые общественные здания (школы, детские сады, больницы и т.п.), использовать единый референтный уровень среднегодовой ОА радона в воздухе помещений равный 300 Бк/м^3 , который соответствует эффективной дозе порядка 10 мЗв/год , исходя из предположения, что коэффициент равновесия $F_{Rn}=0,4$, а годовое время пребывания в помещении – 7000 ч [80].

Внедрение требований Директивы № 2013/59/Euratom от 5 декабря 2013 г. Совета ЕС подразумевает установление референтных уровней среднегодовой ОА радона в воздухе помещений как для существующих, так и новых жилых и общественных зданий во всех странах ЕС не выше 300 Бк/м³ [178], однако в документе прямо не говорится, до какого именно разумно достижимого низкого уровня необходимо добровольно продолжать оптимизацию. В Национальном плане действий по радону США, например, прописано, что для достижения национальной цели уровень содержания радона в воздухе помещений США должен быть таким же, как в атмосферном воздухе [258].

Установленный национальный референтный уровень ОА радона в воздухе помещений общественных зданий с высокой посещаемостью (buildings with high public occupancy), к которым относятся школы и детские сады, согласно базе данных ВОЗ Global Health Observatory (ГНО) отличается в разных странах. По состоянию на 04.06.2021 в Испании, Италии, Греции, Венгрии, Аргентине он установлен на уровне 300 Бк/м³, в Грузии, Туркменистане – 200 Бк/м³, в США – 148 Бк/м³ (4 пКи/л), в Норвегии, Нидерландах, Монголии – 100 Бк/м³ [181]. Однако следует учесть, что уровень 4 пКи/л, установленный в США, и 100 Бк/м³, установленный в Норвегии, относятся скорее к уровням действия, чем к референтным [225, 227]. Национальные референтные уровни ОА радона для зданий с высокой посещаемостью населения не представлены в 5 странах Евросоюза (Германия, Ирландия, Латвия, Мальта, Швеция) из 27, участвовавших в опросе [181]. Также референтные уровни пока еще не установлены на национальном уровне или не представлены в странах Африки (Гвинея, Намибия), Америки (Бразилия, Перу, Уругвай, Парагвай, Мексика), Европы (Андорра, Армения, Сербия, Турция), Азиатско-Тихоокеанского региона (Австралия, Япония) [181].

Следует отметить, что содержание торона в воздухе помещений в *«жилых домах и других строениях с высокой заполняемостью лицами из населения»* в международных документах никак не нормируется [80], поэтому измерения ОА

или ЭРОА торона в зарубежных странах проводятся крайне редко (обычно в рамках научно-исследовательских работ).

Обеспечение радиационной безопасности населения РФ при облучении радоном в эксплуатируемых общественных зданиях регламентируется НРБ-99/2009 [84], ОСПОРБ 99/2010 [96] и СанПиН 2.6.1.2800-10 [25] установлением гигиенического норматива 200 Бк/м^3 по величине среднегодовой ЭРОА изотопов радона (^{222}Rn и ^{220}Rn) в воздухе помещений, а обязанность соблюдения гигиенических нормативов прописана в Федеральном Законе РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 № 52-ФЗ [88].

Дополнительными критериями для обеспечения соответствия ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений общественных зданий требованиям нормативных документов является контроль содержания ПРН в материалах, используемых в строительстве, по показателю $A_{эфф}$, а также ППР с поверхности грунта на участках территорий, предназначенных под застройку. Если $A_{эфф}$ ПРН в строительных материалах (сырье) не превышает 370 Бк/кг , то они могут быть использованы для строительства зданий и сооружений любого назначения без ограничений по радиационному фактору [25]. В ст. 20 Федерального Закона РФ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ прописаны требования к обеспечению качества воздуха, согласно которым в проектной документации *«должны быть предусмотрены меры по <...> предотвращению проникновения почвенных газов (радона, метана) в помещения, если в процессе инженерных изысканий обнаружено их наличие на территории, на которой будут осуществляться строительство и эксплуатация здания или сооружения»* [128]. В соответствии с п. 5.1.6 ОСПОРБ 99/2010 под строительство зданий общественного назначения выбираются земельные участки с ППР с поверхности грунта не более $80 \text{ мБк}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [96].

В соответствии со ст. 28 Федерального закона от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» образовательная организация при осуществлении своей деятельности обязана создавать безопасные условия

обучения, воспитания обучающихся; несет ответственность за жизнь и здоровье не только обучающихся, но и работников образовательной организации [90]. Согласно санитарным правилам СП 2.4.3648-20 в ДУ «*обследование технического состояния системы вентиляции (ревизия, очистка и контроль эффективности) проводится перед вводом здания в эксплуатацию, затем через 2 года после ввода в эксплуатацию, в дальнейшем не реже 1 раза в 10 лет*» [119]. Согласно п. 4.2.7 СанПиН 2.6.1.2800-10 при обнаружении превышения гигиенического норматива по среднегодовому значению ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений общественных зданий осуществляются необходимые радонозащитные мероприятия, а при невозможности снизить значение среднегодовой ЭРОА изотопов радона до уровня гигиенического норматива рассматривается вопрос о перепрофилировании здания или части помещений или о сносе здания [25].

1.4. Радиационный контроль содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий в России и зарубежных странах

Вариабельность содержания радона в воздухе помещений (суточная [237–238, 245, 268], недельная [237], сезонная [78, 136, 161, 249, 256] и даже годовая [149]), является основным источником неопределенности результатов измерений содержания радона в воздухе помещений с учетом продолжительности и режима проведения измерений, которая до сих пор не имеет четкой количественной оценки, необходимой для установления эффективного и согласованного на международном уровне единого алгоритма проведения измерений [135, 262, 265]. Сравнительный анализ методик радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений в 24 европейских странах показал, что протоколы проведения измерений сопоставимы по используемым методам измерений, но отличаются сами алгоритмы проведения обследований по продолжительности и периоду проведения измерений, выбору и количеству обследуемых репрезентативных помещений [167]. В исследовании [265] на основе анализа 12 результатов синхронного круглогодичного мониторинга содержания радона в воздухе помещений различных зданий Московской области и Израиля авторы пришли к

выводу, что оптимальная продолжительность краткосрочного измерения содержания радона в воздухе помещений должна составлять от 2 до 5 дней, а долгосрочного – от 9 до 12 месяцев.

Базовые требования и стандарты проведения измерений содержания радона и его ДПП в воздухе помещений изложены в серии международных документов ISO 11665 [189–192], необходимых для унификации алгоритмов проведения измерений на уровне отдельных стран, но при этом они не носят обязательный характер исполнения. Европейские страны, как правило, отдают предпочтение долгосрочным интегральным измерениям ОА радона, руководствуясь рекомендациями ISO 11665-4 [190], с целью минимизации влияния неопределенности, связанной с временными вариациями радона на конечный результат измерений. Согласно ISO 11665-4 [190] для определения среднегодового значения ОА радона в воздухе помещений рекомендуется проведение интегральных измерений, продолжительностью не менее 2 месяцев (что уже является довольно неопределенным периодом с точки зрения стандартизации); располагать ИТРП на высоте 1-2 м от пола, на расстоянии не менее 20 см от стен и доставлять в лабораторию после окончания экспонирования как можно скорее (в течение нескольких дней). Как правило, в зарубежных странах применяются ИТРП с ТТД альфа-частиц, которые характеризуются гораздо лучшими показателями качества измерений по сравнению с электретыными детекторами по Z- и REF-индексам [54], на основе пластика CR-39 (полиаллилдигликолькарбонат) [154, 169, 172, 206, 214–215, 249], в то время как в России [46, 49, 51, 58, 65, 77–79, 218] и на постсоветском пространстве [100, 139, 256] широкое распространение получили более чувствительные ТТД на основе нитроцеллюлозной пленки типа Kodak LR-115 Type 2 [199]. В ISO 11665-8 [192], регламентирующим методику проведения первичного и дополнительного обследования зданий на содержание радона в воздухе помещений, полностью игнорируются краткосрочные методы измерения содержания радона, а также не предусмотрено использование сезонных корректирующих коэффициентов, применяемых в некоторых странах, например, в Норвегии, Англии, Ирландии,

Австрии и др. Подсчитано, что только менее 2% измерений содержания радона в воздухе помещений США проводятся с использованием СИ для долгосрочного измерения ОА радона [180]. Благодаря особенностям краткосрочных измерений и отлаженной системе риск-коммуникации с населением в США проводится в 30–50 раз больше измерений содержания радона в воздухе помещений на 1000 человек, чем в Европе [264–265].

Обзор действующих законодательных актов США, касающихся проблемы радона в школах, показал различия политики обеспечения радонобезопасной среды в зависимости от штата по многим факторам (например, по обязательности, срокам и частоте выполнения измерений, разглашению информации об уровнях ОА радона, выделении средств на проведение радонозащитных мероприятий и др.) [182]. Вместе с тем, еще в 1989-1990 гг. Агентство по охране окружающей среды США (US EPA) провело широкомасштабное общенациональное радоновое обследование и разработало методику проведения измерений содержания радона в воздухе помещений школ [225]. На официальном сайте US EPA представлена исчерпывающая информация про измерения содержания радона в школах США [224]. Так, согласно требованиям протокола ANSI/AARST MALB-2014 с изменениями 1/2021 [220], измерения ОА радона в воздухе помещений эксплуатируемых школ США проводятся в условиях типичной эксплуатации зданий (с включенной механической системой вентиляции, при закрытых дверях и окнах без выдержки по времени) в два этапа: первичное краткосрочное измерение (с использованием 2 детекторов квазиинтегрального типа или 1 монитора радона) и дополнительное долгосрочное измерение (с использованием 1 детектора интегрального типа) в помещениях, где выявлены высокие значения ОА радона. При первичном краткосрочном измерении 2 детектора квазиинтегрального типа или 1 монитор радона, позволяющий ежечасно получать и аккумулировать информацию об ОА радона, устанавливаются на период не менее 48 ч во всех помещениях, непосредственно контактирующих с подстилающим грунтом (как правило, это помещения цокольного и первого этажа), а также в помещениях последующих этажей (на каждом этаже

обследуется не менее 1 помещения с максимальным временем пребывания обучающихся или сотрудников или не менее 10% от всех помещений на этаже) [220]. Оценка содержания радона в воздухе помещений проводится на основании среднего результата непрерывного мониторинга или среднего значения двух результатов квазиинтегральных измерений, проведенных одновременно в одном и том же помещении, что позволяет снизить инструментальную погрешность измерения [220]. Если ОА радона не превышает 2 пКи/л (74 Бк/м^3), то здание по содержанию радона признается соответствующим требованиям нормативных документов, однако измерение повторяют через каждые 5 лет или каждый раз после проведения работ по ремонту или реконструкции фундамента здания или систем вентиляции и/или отопления [220]. Если ОА радона в воздухе помещений варьируется от 2 до 4 пКи/л ($74\text{--}148 \text{ Бк/м}^3$), то необходимо задуматься о проведении радонозащитных мероприятий, а если ОА радона в каком-либо помещении равна или больше уровня действия (4 пКи/л или 148 Бк/м^3), то проводится дополнительное долгосрочное измерение ОА радона с использованием трековых детекторов. Если результаты второго этапа подтверждают данные первичного краткосрочного измерения ОА радона, то радонозащитные мероприятия, указанные в стандарте ANSI/AARST RMS-LB-2018 с изменениями 12/2020 [226], необходимо провести в безотлагательном порядке.

В Норвегии в соответствии с Протоколом, утвержденным Норвежским управлением по радиационной защите (NRPA, ныне DSA) в 2015 г. [221], измерения ОА радона в школах и детских садах проводятся также в два этапа. Первый этап (скрининговый) предназначен для обнаружения любых высоких уровней ОА радона, в то время как уровень ОА радона в часы фактического присутствия обучающихся и/или сотрудников определяется путем измерений на втором этапе. При этом на первом этапе используются интегральные методы измерений ОА радона, которые необходимо проводить не менее 2 месяцев в период с середины октября до середины апреля [221]. Измерения ОА радона обязательно проводятся во всех помещениях первого этажа с длительным

пробыванием обучающихся и/или сотрудников (не менее 3 измерений в одном здании ДУ), при этом помещения должны эксплуатироваться в обычном режиме без изменения графика проветривания, вентиляции и отопления [221]. Группа ученых из Сербии полагает, что в целях оптимизации контрольно-надзорной деятельности исследование уровней содержания радона в воздухе помещений, расположенных только на первом этаже в двухэтажных зданиях школ, будет вполне достаточным для оценки соответствия установленному референтному уровню [172]. На основании полученных результатов рассчитываются среднегодовые значения ОА радона в воздухе помещений с применением поправочных коэффициентов в зависимости от типа системы вентиляции помещений и периода проведения измерений [221]. Если во всех обследованных помещениях рассчитанная среднегодовая ОА радона ниже 100 Бк/м^3 , то дополнительные измерения не проводятся, здание по содержанию радона признается соответствующим требованиям нормативных документов Норвегии [221]. Но если ОА радона в одном или нескольких помещениях превышает 100 Бк/м^3 , то необходимо либо выполнить измерения второго этапа для уточнения содержания радона в периоды фактического нахождения обучающихся и/или сотрудников в здании ДУ, либо провести радонозащитные мероприятия с последующими контрольными измерениями [221]. Для второго этапа используемое СИ должно обеспечивать возможность регистрации ОА радона в воздухе не реже одного раза в час, в связи с чем использование мониторов радона предпочтительнее и гарантирует качество измерений в соответствии с ISO 11665-5 [191]. Измерения второго этапа проводятся непрерывно в режиме нормальной эксплуатации здания в течение не менее 3 дней во всех помещениях, где по результатам первого этапа были выявлены высокие значения ОА радона. При увеличении периода обследования, например, до недели, достоверность полученных результатов соответственно увеличивается. Конечная оценка ОА радона проводится по формуле (1):

$$Rn = Rn_{I \text{ этап}} * \frac{Rn_{II \text{ этап, в часы присутствия людей}}}{Rn_{II \text{ этап, за весь период}}}, \text{ Бк/м}^3, \quad (1)$$

где $Rn_{I \text{ этап}}$ – результаты измерения ОА радона первого этапа интегральным методом;

$Rn_{II \text{ этап, в часы присутствия людей}}$ – результаты измерения ОА радона второго этапа с помощью монитора радона, выполненного в рабочее время в условиях нормальной эксплуатации помещения с включенной механической системой вентиляции (при наличии), т.е. средняя ОА радона в часы присутствия людей;

$Rn_{II \text{ этап, за весь период}}$ – результаты измерения ОА радона второго этапа с помощью монитора радона, т.е. средняя ОА радона за весь период измерений [221].

Исследование уровней ОА радона в воздухе помещений мониторами радона в эксплуатируемых общественных зданиях Италии (почтовых отделениях, магазинах, ресторанах, учреждениях государственной власти), расположенных в основном на первом этаже, показало, что разница между средней ОА радона в рабочее время и в течение всего дня (включая ночное время и выходные дни) составляет в среднем около 20% и колеблется от 0 (в почтовом отделении) до 50% (в магазине) в зависимости от интенсивности воздухообмена в часы эксплуатации здания [269].

Министерством здравоохранения Канады в 2021 г. разработано обновленное Руководство по измерению содержания радона в воздухе помещений общественных зданий (на рабочих местах, в школах, детских садах, больницах, учреждениях по уходу), в котором прописаны используемые типы СИ, правила их размещения, продолжительность измерений и интерпретация полученных результатов [183]. В Руководстве также четко обозначено, что для получения репрезентативной оценки воздействия радона на обучающихся измерения необходимо проводить только во время занятий в школе, т.е. в будние дни в течение учебного года. О недопустимости проведения радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений ДУ во время летних каникул для оценки эффективных доз облучения обучающихся также обращают внимание некоторые специалисты из разных стран [173, 198, 203, 218]. Алгоритм проведения измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ Канады аналогичен вышеупомянутому норвежскому. На первом этапе ИТРП размещаются на 3 и

более месяцев (желательно во время отопительного сезона) во всех помещениях первого этажа, в которых люди проводят более 4 часов в день (1 ИТРР на каждые 200 м²) [183]. Если в помещении по результатам первого этапа были получены значения ОА радона выше референтного уровня 200 Бк/м³, то проводятся дополнительные краткосрочные измерения второго этапа от 2 до 5 дней с использованием монитора радона [183]. Средняя ОА радона в часы работы ДУ рассчитывается согласно формуле (1).

Такую же методику измерений ОА радона в воздухе на рабочих местах предлагает коллектив финских специалистов по радиационной безопасности, оценивая коэффициент вариации данного метода в 19% и до 32% при использовании только результатов недельного непрерывного мониторинга ОА радона второго этапа [266]. В статье [198] авторы, ссылаясь на действующие нормативные документы Финляндии, приводят формулу (2) для расчета среднегодовой ОА радона в рабочее время на рабочих местах (C_a):

$$C_a = C_T * \frac{C_{WO}}{C_{WH}} * k_S = C_T * k_V * k_S, \text{ Бк/м}^3, \quad (2)$$

где C_T – результаты измерения ОА радона первого этапа интегральным методом в период с начала сентября до конца мая [223];

C_{WO} – результаты измерения ОА радона второго этапа с помощью монитора радона, выполненного в рабочее время (обычно 40 часов);

C_{WH} – результаты измерения ОА радона второго этапа с помощью монитора радона за весь период измерений (168 ч или кратное число);

k_S – сезонный поправочный коэффициент (при отсутствии точных инструментальных данных в Финляндии $k_S = 0,9$);

k_V – т.н. вентиляционный поправочный коэффициент (в [198] k_V рассчитано как 0,87 для всех рабочих мест Финляндии).

Несмотря на то, что во многих развитых странах уже утверждены методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений ДУ, в мире остаются страны (например, Румыния, Португалия и Испания), в которых

процедура проведения обследований ДУ на содержание радона в воздухе методически не обеспечена [154, 159].

В России также отсутствуют методические документы по проведению радиационного контроля и санитарно-эпидемиологической оценки параметров радиационной обстановки в эксплуатируемых зданиях, в том числе дошкольных и школьных образовательных учреждениях, в связи с чем не регламентирован выбор и приоритетность использования того или иного метода, длительность и условия проведения измерений содержания радона в воздухе помещений таких зданий, что может приводить к получению недостоверной информации, дальнейшей неправильной интерпретации полученных результатов, принятию на их основе ошибочных управленческих решений.

Отсутствие методического документа, детализирующего процедуру проведения радиационного контроля в эксплуатируемых ДУ, и вынужденное использование методических указаний МУ 2.6.1.2838-11 [107], регламентирующих проведение радиационного контроля зданий только после окончания их строительства, капитального ремонта или реконструкции, приводит к получению более высоких результатов измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ, так как согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 в помещениях перед измерением необходимо закрыть все окна и двери не менее чем на 12 ч, что несомненно не соответствует реальной ситуации облучения в таких зданиях.

При использовании интегрального метода измерения ОА радона в воздухе помещений ДУ регистрация треков альфа-частиц происходит как в ночное время, так и в выходные и праздничные дни, в период каникул, то есть в периоды фактического отсутствия в ДУ обучающихся, когда проветривание не проводится, механическая система вентиляции может быть выключена (при ее наличии), что в совокупности приводит к накоплению радона в воздухе закрытых помещений. Таким образом, данный метод, как правило, не позволяет оценить уровень ОА радона в отдельно взятые периоды обследования. Несмотря на наличие недавно разработанного ООО «Группа компаний РЭИ» интегрального радиометра радона ИНЕРАД (патент на изобретение № 2731592) с одним или четырьмя ТТД (типов

ИЭ-2 и ИЭ-4 соответственно), позволяющего ограничивать (разделять) время экспонирования [210], в имеющемся парке СИ в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» в субъектах РФ, обеспечивающих деятельность Управлений Роспотребнадзора в субъектах РФ, органа уполномоченного осуществлять государственный санитарно-эпидемиологический надзор, данное СИ отсутствует, а его закупка при начале серийного производства потребует больших финансовых затрат. Кроме того, радиометр радона ИНЕРАД управляется вручную, т.е. сотруднику или ответственному лицу обследуемой организации необходимо самостоятельно на протяжении длительного времени переключать ТТД между режимами «выключено» или «включено», что может сильно сказаться на конечном результате из-за влияния человеческого фактора. Результат может быть как завышен (при длительном нахождении ТТД в режиме «включено»), так и занижен (при длительном нахождении ТТД в режиме «выключено»), а при недобросовестном отношении к проводимому обследованию человек самостоятельно может скорректировать результаты в более выгодную для него сторону, что не обеспечивает объективность и достоверность получаемых результатов при использовании данного СИ. Кроме того, в обеих моделях радиометра предполагается использование ТТД на основе нитрат целлюлозной пленки, производство которой за границей приостановлено, в РФ еще не налажено, а закупка остатков пленки (при ее наличии) невозможна или крайне затруднена в условиях нынешнего санкционного давления ряда западных стран, что также ограничивает потенциальные возможности использования данного СИ.

Отсутствие утвержденного подхода к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий зачастую приводит к закрытию посреди учебного года всего здания или части помещений ДУ после проведения контрольно-надзорных мероприятий. В одной лишь Кемеровской области за 2015-2021 гг. районные суды на основании исков должностных лиц Территориальных отделов Управления Роспотребнадзора по Кемеровской области приостановили деятельность не менее 16 учреждений (преимущественно дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений) по ст. 6.3

КоАП РФ «Нарушение законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения» или ст. 6.4 КоАП РФ «Нарушение санитарно-эпидемиологических требований к эксплуатации жилых помещений и общественных помещений, зданий, сооружений и транспорта» на срок от 11 до 90 суток из-за повышенного содержания радона в воздухе помещений [9–14, 22, 32, 34, 59, 71, 103–105, 125–126]. Аналогичные случаи были зарегистрированы и в других субъектах РФ: в Иркутской области [129, 131], Республике Алтай [8], Челябинской области [69], Приморском крае [15], Тульской области [72], Алтайском крае [121], Республике Саха (Якутия) [7], Еврейской автономной области [44, 108], Республике Хакасия и др. Однако последующие детальные обследования этих зданий с использованием различных методов и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений не выявляли превышения гигиенического норматива в часы работы ДУ.

Данные инциденты являются причиной нарастания радиотревожности среди родителей и самих обучающихся, поскольку приостанавливается деятельность ранее функционировавших десятилетиями школ и детских садов, в которых обучалось не одно поколение жителей, а из-за отсутствия у радона органолептических свойств населению не понятно, как долго люди подвергались радиоактивному воздействию. Кроме того, в небольших населенных пунктах временное закрытие единственного общеобразовательного учреждения может быть катастрофичным и, несомненно, негативно сказывается на всем образовательном процессе. Не секрет, что чрезмерное беспокойство на фоне низкой осведомленности населения по вопросу облучения радоном [30–31] и распространение недостоверной информации может нанести здоровью гораздо больший вред, чем сами ИИИ. Надо отметить, что уровень радиотревожности населения после аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» остается высоким и по сей день [1, 43, 106].

Выводы к главе 1:

1. Уровни содержания радона в воздухе помещений ДУ в России и зарубежных странах сильно варьируются, могут в разы превышать установленный гигиенический норматив (или референтный уровень) и зависят от года постройки, конструкции здания, типа системы вентиляции, а также режима эксплуатации помещений.

2. Изотопы радона и их ДПР являются основной причиной развития рака легкого у некурящих людей. В условиях нормальной жизнедеятельности вклад изотопов радона и их ДПР в структуру годовых коллективных эффективных доз облучения населения России и зарубежных стран наибольший.

3. Международные организации (ВОЗ, МКРЗ, МАГАТЭ) рекомендуют установить референтный уровень среднегодовой ОА радона в воздухе помещений общественных зданий на уровне не выше 300 Бк/м³. В соответствии с действующими нормативными документами среднегодовая ЭРОА изотопов радона (²²²Rn, ²²⁰Rn) в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий (ДУ) в России не должна превышать 200 Бк/м³.

4. По причине отсутствия конкретных требований к радиационному контролю содержания радона в воздухе помещений ДУ и неоднократного закрытия ДУ в субъектах РФ необходимо научно обосновать и разработать методику радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей.

ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ, ОБЪЕМ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Организация и объем исследования

Для достижения поставленной цели была использована совокупность радиометрических, гигиенических, аналитических, расчетных и статистических методов исследования. Программа исследования представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Программа исследования

Этапы исследования	Содержание этапов
1	Изучение информационных ресурсов, разработка дизайна исследования, определение методов обследования, выбор ДУ
2	Определение уровней содержания изотопов радона в воздухе помещений ДУ. Установление основного источника поступления радона в воздух помещений ДУ
3	Гигиеническая оценка доз облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их короткоживущих ДПР
4	Оценка радиационного риска для здоровья обучающихся при ингаляционном воздействии радона и его ДПР (с использованием скорректированного на ущерб номинального коэффициента риска и по многофакторной модели)
5	Анализ и обобщение полученных результатов, разработка и утверждение методических рекомендаций на федеральном уровне, написание диссертации

В основу научной работы положены результаты исследований, проведенных автором работы в период с 2021 по 2022 гг. в 13 зданиях ДУ (6 школ и 7 детских садов), расположенных в 8 населенных пунктах Ленинградской области, в которых ранее специалистами лаборатории дозиметрии природных источников ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева совместно с Управлением Роспотребнадзора по Ленинградской области в рамках скринингового

обследования были выявлены высокие уровни ОА радона в воздухе помещений интегральным методом (до 2790 Бк/м³ без учета неопределенности измерений). Полученные значения отражали средние уровни содержания радона в воздухе помещений за весь период экспонирования ИТРР (включая ночное время, выходные дни, каникулярный период), и не соответствовали уровням, характерным для часов пребывания в помещениях ДУ обучающихся. Поэтому при проведении детальных обследований в рамках диссертационного исследования был использован не только интегральный (для подтверждения полученных ранее результатов), но также экспрессный, квазиинтегральный и непрерывный методы измерения содержания радона в воздухе помещений.

Натурные измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ, построенных по типовым проектам, проводились только в холодный период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной +10 °С и ниже [24], при включенном отоплении. В таблице 2.2 представлены условные обозначения обследованных ДУ, которые далее будут применяться по тексту диссертации.

Таблица 2.2 – Условные обозначения обследованных ДУ Ленинградской области

Населенный пункт	Наименование ДУ	Обозначение
Кингисеппский район		
д. Ополье	МБДОУ «Детский сад» д. Ополье	1С
д. Фалилеево	МБДОУ «Детский сад» д. Фалилеево	2С
	МБОУ «Фалилеевская ООШ»	3Ш
д. Большая Пустомержа	МБОУ «Пустомержская СОШ»	4Ш
г. Кингисепп	МБДОУ № 3 «Детский сад общеразвивающего вида с приоритетным осуществлением деятельности по физическому развитию детей»	5С
	МБОУ «Кингисеппская СОШ № 5»	6Ш
	МБОУ «Кингисеппская СОШ № 6»	7Ш
Волосовский район		
д. Клопицы	МДОУ «Детский сад № 11» д. Клопицы	8С
п. Сельцо	МОУ «Сельцовская СОШ» – дошкольное образование	9С
	МОУ «Сельцовская СОШ»	10Ш

Продолжение таблицы 2.2

Населенный пункт	Наименование ДУ	Обозначение
Приозерский район		
п. Сосново	МДОУ «Детский сад комбинированного вида № 2»	11С
Гатчинский район		
д. Большие Колпаны	МБОУ «Большеколпанская СОШ» структурное подразделение – дошкольное отделение	12С
	МБОУ «Большеколпанская СОШ»	13Ш

На рисунке 2.1 приведена карта Ленинградской области, на которой отмечены обследованные ДУ. Выбор в качестве объектов исследования только ДУ, расположенных на потенциально радоноопасных территориях (по геологическим и геофизическим причинам [6, 26, 116]), позволяет более корректно провести сравнение полученных уровней содержания радона в воздухе помещений при различных подходах к его измерению, пренебрегая неопределенностью измерений.

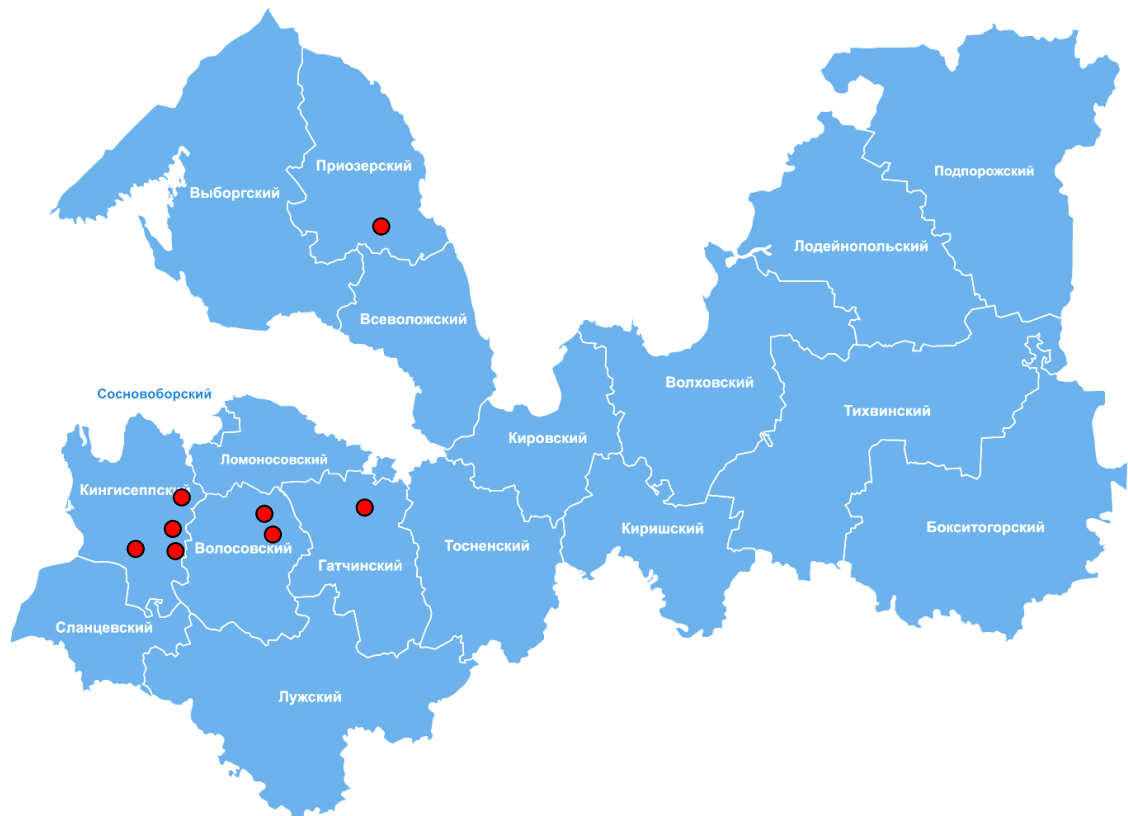


Рисунок 2.1 – Карта Ленинградской области с отмеченными населенными пунктами, в которых были проведены измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ

В каждом ДУ были повторно проведены интегральные измерения ОА радона с помощью комплекта аппаратуры «ТРЕК-РЭИ-1М» (ООО «Группа компаний РЭИ», Россия) с длительностью непрерывного экспонирования ИТРР от 30 до 72 суток. В каждом ДУ было установлено от 4 до 17 ИТРР в зависимости от площади ДУ и количества задействованных в образовательном процессе помещений. ИТРР размещались преимущественно в помещениях с наиболее длительным пребыванием обучающихся: в школах это учебные классы, в детских садах – игровые комнаты или комнаты для дневного сна.

В этих же помещениях были проведены серии экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона с применением радиометров серии «Альфарад плюс» (модификаций А и АР) (ООО «НТМ-Защита», Россия). В 1С, 2С, 3Ш и 4Ш измерения ЭРОА изотопов радона проводились еженедельно в течение месяца только в часы эксплуатации ДУ в присутствии обучающихся и сотрудников при штатном режиме работы механической системы вентиляции и/или кондиционирования воздуха (при их наличии). Полученные результаты не дали полноценной оценки возможности использования существующей методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений (описанной в МУ 2.6.1.2838-11) для обследования эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей, поэтому дизайн исследования был дополнен. Так, при обследовании 5С, 6Ш, 7Ш, 8С, 9С, 10Ш, 11С, 12С и 13Ш рано утром до прихода обучающихся были также проведены серии экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений после их 12-часовой ночной выдержки с закрытыми дверьми и окнами (согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11). Учитывая отдаленность и труднодоступность некоторых образовательных организаций, а главное необходимость выработки реально осуществимого на практике алгоритма контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей в условиях сжатых сроков контрольно-надзорных мероприятий, еженедельные экспрессные измерения ЭРОА изотопов радона были заменены на серии ежедневных измерений в течение нескольких последовательных рабочих дней. В

5С, 6Ш и 7Ш измерения были досрочно завершены из-за низких уровней содержания радона в воздухе даже после ночной 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами.

В некоторых помещениях с высокими уровнями содержания радона в 3Ш, 4Ш, 5С, 8С, 11С и 12С по результатам экспрессных измерений были установлены радоновые мониторы AlphaGUARD PQ2000PRO (Genitron Instruments GmbH, Германия) с периодом регистрации ОА радона 1 ч или 10 мин.

В помещениях 12С и 13Ш также были проведены измерения ОА радона квазиинтегральным методом с использованием измерительного комплекса «КАМЕРА-01» (ЗАО «НТЦ «НИТОН», Россия) с длительностью экспонирования сорбционных колонок СК-13 с активированным углем от 51 до 53 ч.

Дополнительные измерения в ДУ в теплый период года для полноценной оценки среднегодового значения ЭРОА изотопов радона не проводились ввиду отсутствия в летние месяцы школьных занятий, а также естественного увеличения кратности и длительности проветривания помещений в детских садах, что, в свою очередь, приводит к существенному снижению содержания радона в воздухе помещений.

Для корректной оценки доз облучения и радиационного риска для здоровья обучающихся ДУ за счет ингаляции изотопов радона также были проведены 40 интегральных измерений ОА радона с помощью комплекта аппаратуры «ТРЕК-РЭИ-1М» (ООО «Группа компаний РЭИ», Россия) в воздухе жилых домов некоторых сотрудников обследованных ДУ, расположенных в том же населенном пункте (от 5 до 15 жилых домов на каждый населенный пункт в зависимости от площади и численности населения), в помещениях первого этажа с максимальным пребыванием в них жильцов (спальнях или гостиных) и 7 – на открытой местности 5 населенных пунктов Ленинградской области.

Всего в 13 ДУ было обследовано 152 помещения, включая все помещения первого этажа с длительным пребыванием обучающихся; выполнено более 750 измерений ЭРОА изотопов радона экспрессным методом, более 100 измерений ОА радона интегральным методом, 25 измерений ОА радона квазиинтегральным

методом и 9 серий (3660 циклов регистрации) непрерывных измерений ОА радона с помощью мониторов радона. Для поиска возможных причин высоких уровней содержания радона в воздухе помещений экспрессные измерения ЭРОА изотопов радона также проводились в подвальных помещениях или цокольном этаже (при их наличии), которые были исключены из дальнейшего статистического анализа и не учитывались при расчете доз облучения и радиационного риска для здоровья обучающихся.

Для комплексной оценки радиационной обстановки, а также установления основного источника поступления радона в воздух помещений ДУ (при выявлении высоких уровней содержания радона в воздухе помещений ДУ) были проведены: 57 измерений ППР с поверхности грунта на прилегающей территории ДУ или в подвальных помещениях (при их наличии) с использованием измерительного комплекса «КАМЕРА-01» (ЗАО «НТЦ «НИТОН», Россия); 40 измерений мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения на открытой местности прилегающей территории 9 ДУ в 5 населенных пунктах Ленинградской области на высоте 1 м от поверхности грунта с применением дозиметра-радиометра МКС-АТ1125 («АТОМТЕХ», Беларусь); 132 измерения МАЭД гамма-излучения в помещениях 9 ДУ на высоте 1 м от поверхности пола в центре помещения с применением дозиметра-радиометра МКС-АТ1125 («АТОМТЕХ», Беларусь); 4 измерения удельной активности (УА) радона в пробах питьевой воды с помощью радиометра AlphaGUARD PQ2000PRO (Genitron Instruments GmbH, Германия), а также суммарных показателей удельной альфа- и бета-активности в пробах питьевой воды 4 населенных пунктов с использованием альфа-бета-радиометра УМФ-2000 (ООО «НПП «Доза», Россия); 5 измерений УА ПРН в пробах почвы с прилегающей территории ДУ или подсыпки в подвальных помещениях с глубины 0–0,1 м с применением спектрометрической установки МКС-01А «Мультирад» (ООО «НТЦ «Амплитуда», Россия) со специальным ПО «ПРОГРЕСС-5.2» и с дальнейшим расчетом эффективной удельной активности ($A_{эфф}$) ПРН в соответствии с Приложением 7 к СанПиН 2.6.1.2800-10.

Ввиду наличия ограничений на условия выполнения измерений при определении МАЭД гамма-излучения, ОА радона в воздухе, УА и $A_{эфф}$ ПРН, ППР с поверхности грунта, установленных в методиках измерений и (или) руководствах по эксплуатации СИ, в некоторых ДУ в период проведения обследований выполнение дополнительных измерений для комплексной оценки радиационной обстановки было невозможно. Так, например, измерения ППР с поверхности грунта не проводились при наличии устойчивого снежного покрова толщиной более 0,1 м.

Все измерения были выполнены с помощью СИ, внесенных в Госреестр СИ, прошедших в установленном порядке поверку, с применением методик измерений, метрологически аттестованных (стандартизованных) в установленном порядке.

2.2. Методы и средства измерений содержания радона в воздухе помещений

В рамках диссертационного исследования уровни содержания радона в воздухе помещений ДУ были получены с помощью экспрессного, квазиинтегрального, интегрального и непрерывного методов.

Методика измерений ОА радона в воздухе помещений интегральным методом с помощью комплекта аппаратуры «ТРЕК-РЭИ-1М» (ООО «Группа компаний РЭИ», Россия) основана на регистрации альфа-излучения радона и его ДПР с помощью трековых нитроцеллюлозных детекторов, с последующей их химической обработкой и подсчетом количества зарегистрированных треков альфа-частиц электроискровым методом.

Алгоритм измерения ОА радона в воздухе интегральным методом включал в себя выполнение следующих последовательных операций:

- подготовка ТТД, сборка ИТРР к экспонированию;
- экспонирование ИТРР в контролируемой атмосфере на высоте 1-2 м над уровнем пола вдали от источников тепла;
- заполнение специальной анкеты о строительно-конструкционных и иных характеристиках зданий;

- доставка ИТРР в лабораторию;
- демонтаж (разборка) ИТРР;
- химическая обработка (травление) ТТД шестинормальным раствором NaOH плотностью $1,22 \pm 0,01$ г/см³ в термостате «ТРАЛ-1М» при фиксированных значениях температуры и pH;
- промывка ТТД дистиллированной водой;
- выдержка ТТД в 50% растворе C₂H₅OH;
- сушка ТТД в эксикаторе;
- электроискровой подсчет количества треков на ТТД с помощью искрового счетчика «АИСТ-4»;
- расчет ОА радона в воздухе.

Среднее значение ОА радона в воздухе за период экспонирования рассчитывалось по формуле (3):

$$A_{Rn} = \frac{n - n_0}{\varepsilon \cdot T}, \text{ Бк/м}^3, \quad (3)$$

где n – измеренная плотность треков (образованных при прохождении альфа-частиц через ТТД) в режиме «счет», трек/см²;

n_0 – фоновая плотность треков, трек/см²;

ε – чувствительность ТТД, равная для используемого ТТД 0,03 (трек/см²)/(Бк·сутки/м³);

T – длительность экспонирования, сутки.

Благодаря специальной конструкции ИТРР, байонетный разъем между корпусом и крышкой обеспечивал стабильную атмосферу внутри пробоотборной камеры, препятствовал конденсации влаги на внутренних поверхностях камеры, отсекал торон, а также не пропускал в камеру аэрозольный компонент, благодаря чему ДПР радона (RaA, RaC') регистрировались только от того радона, который попал в камеру.

Методика измерений ОА радона в воздухе помещений квазиинтегральным методом с использованием измерительного комплекса «КАМЕРА-01» (ЗАО «НТЦ «НИТОН», Россия) основана на способности активированного угля адсорбировать

радон для последующего измерения накопленной активности радона с помощью гамма- или бета-радиометрических методов (с помощью спектрометра или радиометра) по его ДПР (^{214}Pb и ^{214}Bi). Отбор проб на регенерированный активированный уголь (массой $5,0 \pm 0,2$ г) выполнялся путем пассивного экспонирования открытых сверху сорбционных колонок СК-13 на высоте 1–2 м над уровнем пола рядом с ИТРР (рисунок 2.2). До и после экспонирования определялась масса СК-13 для учета влияния влажности воздуха на сорбционную емкость активированного угля за весь период экспонирования. Все измерения активности радона, накопленной в активированном угле, были выполнены в день окончания пробоотбора в лабораторных условиях с помощью блоков детектирования бета-излучения БДБ-13, подключенных к 4-канальному коммутатору МК-4 и специального ПО «РАДОН 98».



Рисунок 2.2 – Проведение интегральных (слева) и квазиинтегральных (справа) измерений ОА радона в воздухе помещений 12С

Экспрессные измерения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений были проведены с применением радиометров серии «Альфарад плюс» (модификаций А и АР) (ООО «НТМ-Защита», Россия) (рисунки 2.3–2.4).



Рисунок 2.3 – Проведение экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений 5С после 12-часовой ночной выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11



Рисунок 2.4 – Проведение экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений 10Ш в режиме нормальной эксплуатации здания

Экспрессный метод измерения ЭРОА изотопов радона основан на аспирационном осаждении дисперсной фазы радиоактивных аэрозолей из контролируемого воздуха на аэрозольный фильтр АФА-РСП-3 (отраслевой стандарт ОСТ 95.10052-84) с последующей регистрацией количества ДПР радона и торона на фильтре по числу альфа-частиц распадов RaA (^{218}Po), RaC' (^{214}Po) и ThC' (^{212}Po). Несмотря на допустимость повторного использования аэрозольных фильтров АФА-РСП-3 после их выдержки с момента последнего пробоотбора более 5 суток и при отсутствии видимого загрязнения осевшей на поверхности фильтра пылью, в ходе выполнения диссертационной работы использовались только новые фильтры. Измерение ЭРОА изотопов радона выполнялось в режиме «ЭРОА 5», который включает в себя отбор пробы на аэрозольный фильтр с помощью встроенной воздуходувки (180 с), автоматическое перемещение фильтра на позицию измерения с помощью электропривода фильтродержателя (10 с), измерение альфа-активности фильтра (120 с), расчет ОА ДПР радона и торона, ЭРОА радона и торона, коэффициента воздухообмена и коэффициента равновесия. Таким образом, суммарная продолжительность режима составляет 5 мин 10 с. Радиометры располагались как можно ближе к центру помещения, вдали от окон и дверей, на высоте 1–2 м (в зоне дыхания). Одновременно с измерением ЭРОА изотопов радона в воздухе радиометры измеряли и регистрировали также параметры микроклимата (атмосферное давление, температуру и относительную влажность воздуха).

Методика измерения ОА радона в воздухе с применением мониторов радона AlphaGUARD PQ2000PRO (Genitron Instruments GmbH, Германия) в режиме пассивного отбора проб воздуха основана на свободной диффузии газообразного радона через специальный влагонепроницаемый фильтр в импульсную ионизационную камеру объемом 0,56 л, в чувствительной части которой происходит спектрометрический анализ числа и формы импульсов от альфа-частиц, возникающих в результате распада ^{222}Rn и его короткоживущих ДПР (т.н. 3D-спектроскопия). Таким образом, мерой значения ОА радона в воздухе за цикл регистрации (10 мин или 1 ч) является число зарегистрированных импульсов

за этот период. Одновременно с измерением ОА радона в воздухе мониторы радона измеряют и регистрируют также атмосферное давление, температуру и относительную влажность воздуха. Радоновые мониторы были установлены в некоторых помещениях ДУ с высокими уровнями содержания радона по результатам экспрессных измерений (рисунок 2.5). Анализ накопленных в памяти радиометра данных проводился с помощью специального ПО DataEXPERT.



Рисунок 2.5 – Проведение непрерывного мониторинга ОА радона в воздухе помещений 8С

Сравнительная характеристика существующих методов измерения содержания радона в воздухе представлена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Сравнительная характеристика методов измерения содержания радона в воздухе

Параметр	Метод измерения			
	Экспрессный	Квази-интегральный	Интегральный	Непрерывный мониторинг
Измеряемая величина	ЭРОА радона и ЭРОА торона	ОА радона	ОА радона	ОА радона
Метод пробоотбора	Активный	Пассивный	Пассивный	Пассивный / активный
Длительность измерения	В среднем 5–10 минут	1–6 суток	От 2 недель (при высоких значениях ОА радона) до 6 месяцев, в среднем 30–90 суток	Любая
Расходный детектирующий материал	Аналитические аэрозольные фильтры типа АФА-РСП	Активированный уголь марки СКТ-3	ТТД: LR-115-2 (нитрат целлюлозы), CR-39 (полиаллилдигликолькарбонат), Makrofol-E (поликарбонат)	Специальные фильтры для ДПР радона
Метод регистрации	α -излучение ДПР ^{218}Po (RaA), ^{214}Po (RaC'), ^{212}Po (ThC') с помощью полупроводникового детектора	γ - или β -излучение ДПР ^{214}Pb (RaB) и ^{214}Bi (RaC) с помощью спектрометра или радиометра	Электроискровой / оптический счет треков α -частиц	Ионизационная камера в режиме α -спектроскопии
Преимущества	Простота в использовании; возможность выполнения множества последовательных краткосроч-	Сглаживает суточную вариацию ОА радона; возможность проведения одновременно довольно	Возможность проведения одновременно большого количества измерений с широким временным	Позволяет проследить временные вариации ОА радона в воздухе в течение всего периода

Продолжение таблицы 2.3

Параметр	Метод измерения			
	Экспрессный	Квази-интегральный	Интегральный	Непрерывный мониторинг
	ных измерений и повторного использования расходного детектирующего материала; дополнительно проводит измерения параметров микроклимата; единственный метод, позволяющий определить ЭРОА торона в воздухе, нормируемую в соответствии с отечественным санитарным законодательством (НРБ-99/2009, ОСПОРБ 99/2010 и СанПиН 2.6.1.2800-10)	большого количества измерений и повторного использования расходного детектирующего материала после регенерации; при экспонировании сорбционных колонок СК-13 не требуется внешний источник питания; бесконтактное и бесшумное проведение измерений	диапазоном; сглаживает вариабельность ОА радона; возможна отправка ИТРР почтовой связью в отдаленные населенные пункты; при экспонировании ИТРР не требуется внешний источник питания; бесконтактное и бесшумное проведение измерений; результат измерения наиболее приближен к среднегодовому содержанию радона в воздухе	мониторинга; получение наглядного графика динамики ОА радона в воздухе, а также параметров микроклимата с возможностью быстрого анализа данных с помощью специального ПО; бесконтактное и бесшумное проведение измерений
Недостатки	Требует обязательного присутствия во время измерений обученного работника; количество возможных	Трудоемкий процесс подготовки сорбционных колонок СК-13; сжатое время доставки в лабораторию	Сложность и трудоемкость анализа ИТРР после экспонирования; высокая стоимость оборудования; возможны	Высокая стоимость оборудования; при длительном мониторинге необходим внешний источник

Продолжение таблицы 2.3

Параметр	Метод измерения			
	Экспрессный	Квази-интегральный	Интегральный	Непрерывный мониторинг
	измерений ограничено зарядом аккумулятора либо необходим внешний источник питания; не учитывает суточную, недельную, сезонную вариабельность содержания радона в воздухе помещений	сорбционных колонок СК-13 после экспонирования для анализа; возможны потери сорбционных колонок СК-13 в процессе обследования; не позволяет определить ЭРОА торона	потери ИТРР в процессе длительных измерений; завышение реальных значений ОА радона в эксплуатируемых общественных зданиях с некруглосуточным пребыванием людей за счет усреднения результата за весь период экспонирования ИТРР; сложности с производством и доставкой расходного детектирующего материала в РФ; не позволяет определить ЭРОА торона	питания
Примеры СИ	Радиометр Альфарад плюс А	Комплекс измерительный для мониторинга радона КАМЕРА-01	Комплект аппаратуры «ТРЕК-РЭИ-1М»	Радоновый монитор AlphaGUARD PQ2000PRO

2.3. Расчет доз облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона

Индивидуальные годовые эффективные дозы внутреннего облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ рассчитывались согласно методическим указаниям МУ 2.6.1.1088-02 [97] и рекомендациям МР 2.6.1.0088-14 [132].

При расчетах был использован дозовый коэффициент $9,0 \cdot 10^{-6}$ мЗв/(Бк·ч/м³), рекомендованный НКДАР ООН в отчетах 2000 и 2006 гг. [176, 240]. Однако, с учетом дозы облучения, получаемой за счет растворения газообразных радона и торона в крови и дальнейшего облучения других тканей и органов, кроме легких (примерно 5% дозы облучения за счет ДПР на легкие) [176, 240], итоговое значение дозового коэффициента составило $9,45 \cdot 10^{-6}$ мЗв/(Бк·ч/м³). В данной работе учитывалась доза облучения за счет ингаляции изотопов радона не только при пребывании обучающихся в здании ДУ (средние дозы облучения по зданию, рассчитанные с использованием результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений ДУ, выполненных в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий, как наиболее соответствующих реальному сценарию облучения), но и при пребывании в жилых домах и на открытой местности. Индивидуальные годовые эффективные дозы внутреннего облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР были рассчитаны по формуле (4):

$$E_{Rn} = d_{Rn} \cdot (A_{ул} \cdot t_{ул} + A_{ДУ} \cdot t_{ДУ} + A_{дом} \cdot t_{дом}), \quad (4)$$

где d_{Rn} – дозовый коэффициент, мЗв/(Бк·ч/м³);

$A_{ул}$ – среднее значение ЭРОА изотопов радона на открытой местности, Бк/м³;

$t_{ул}$ – время пребывания на открытой местности, ч/год;

$A_{ДУ}$ – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений ДУ, измеренной экспрессным методом, Бк/м³;

$t_{ДУ}$ – время пребывания в ДУ, ч/год;

$A_{дом}$ – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений жилых домов, Бк/м³;

$t_{дом}$ – время пребывания в жилом доме, ч/год.

В качестве меры центральной тенденции были использованы медианные значения содержания радона, полученные по реальным выборкам, которые, как правило, несколько превышают значения среднего геометрического, ожидаемого из подобранного распределения.

Значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений зданий согласно НРБ-99/2009 [84] рассчитывалось по формуле (5):

$$C = C_{Rn} + 4,6 \cdot C_{Tn}, \quad (5)$$

где C_{Rn} – ЭРОА радона (^{222}Rn) в воздухе помещений, Бк/м³;

C_{Tn} – ЭРОА торона (^{220}Rn) в воздухе помещений, которая во всех экспрессных измерениях не превышала нижней границы диапазона измерений (далее – НГДИ) используемых СИ, поэтому принималась равной НГДИ (0,5 Бк/м³).

При расчете доз облучения был рассмотрен наиболее консервативный сценарий пребывания обучающихся в помещениях ДУ: круглогодичная работа ДУ, ежедневное посещение ДУ обучающимися и сотрудниками в рабочие дни года (без учета возможных пропусков по болезни, каникул в школах, отсутствия в помещениях во время прогулок в детских садах). При таких допущениях максимальное общее время пребывания в зданиях ДУ в течение года составляет 2223 часа (9 часов в день) для учащихся школ, принимая во внимание количество рабочих дней согласно Производственному календарю на 2021 г. при пятидневной рабочей неделе, и 2964 часа (12 часов в день) для воспитанников детских садов, учитывая, что доля времени, проводимой населением в помещениях, составляет 0,8 (19,2 часов в день; 7040 часов в год), остальное время – в помещениях жилых домов (4817 и 4076 часов в год соответственно). Доля времени, проводимая людьми вне помещений (на открытой местности), составляет 0,2 (4,8 часа в день; 1760 часов в год).

Данные об ЭРОА изотопов радона в жилых домах Ленинградской области для 1С, 2С, 3Ш и 4Ш были взяты из ФБДОПИ, согласно которым среднее значение за 2016-2020 гг. составило 47 Бк/м³. При отсутствии достоверных

данных о содержании радона в атмосферном воздухе на открытой местности в конкретном населенном пункте Ленинградской области, при расчете было использовано среднемировое среднее значение ЭРОА изотопов радона в приземном слое атмосферного воздуха равное $6,5 \text{ Бк/м}^3$ [132]. Остальные компоненты дозы за счет ПИИИ для населения Ленинградской области для расчета вклада изотопов радона в структуру доз облучения обучающихся были взяты из справочника «Радиационная обстановка на территории Российской Федерации в 2021 году» [5].

2.4. Расчет показателей радиационного риска для здоровья обучающихся при ингаляционном воздействии радона

Расчет показателей радиационного риска для здоровья обучающихся ДУ при ингаляционном воздействии радона осуществлялся согласно методическим рекомендациям МР 2.6.1.0145-19 [111]. При расчетах был использован скорректированный на ущерб номинальный коэффициент риска $8 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/(\text{Бк} \cdot \text{ч})$, рекомендованный МКРЗ в Публикациях 115 и 126 [110, 114] для целей радиологической защиты населения всех возрастов независимо от пола.

Значения пожизненного риска смерти от рака легкого при синергическом воздействии радона и курения в течение календарного года были рассчитаны по формуле (6):

$$Риск_{Rn} = D_{Rn} \cdot (OA_{ул} \cdot t_{ул} + OA_{ДУ} \cdot t_{ДУ} + OA_{дом} \cdot t_{дом}), \quad (6)$$

где D_{Rn} – скорректированный на ущерб номинальный коэффициент риска, $\text{м}^3/(\text{Бк} \cdot \text{ч})$;

$OA_{ул}$ – среднее значение ОА радона в воздухе на открытой территории населенных пунктов, Бк/м^3 ;

$t_{ул}$ – время пребывания на открытой местности, ч/год;

$OA_{ДУ}$ – среднее значение ОА радона в воздухе помещений ДУ, Бк/м^3 ;

$t_{ДУ}$ – время пребывания в ДУ, ч/год;

$OA_{дом}$ – среднее значение ОА радона в воздухе помещений жилых домов, Бк/м^3 ;

$t_{дом}$ – время пребывания в жилом доме, ч/год.

При расчетах показателей радиационного риска (с использованием скорректированного на ущерб номинального коэффициента риска и по многофакторной модели) доля времени, проводимая обучающимися в помещениях ДУ, жилых домов, а также вне помещений (на улице), принималась такой же, как при расчете доз облучения обучающихся.

С целью наглядного сравнения радиационного риска для населения за счет различных ИИИ и акцентирования внимания на значимости облучения населения радоном были также рассчитаны значения среднего индивидуального пожизненного риска от потребления пищи и питьевой воды, содержащих природные радионуклиды, и среднего риска развития стохастических эффектов за счет медицинского облучения согласно пп. 3.5 и 3.6 МР 2.6.1.0145-19 [111].

Расчет абсолютного числа смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого по многофакторной модели был осуществлен согласно методическим рекомендациям МР 2.6.1.0172-20 [98] на примере Гатчинского района Ленинградской области.

Для расчета кумулятивной экспозиции радоном и его ДПР был разработан следующий сценарий неравномерного пожизненного облучения:

- ❖ первые 2 года жизни дети находятся дома при среднем значении ЭРОА радона в воздухе помещений жилых зданий, расположенных в д. Большие Колпаны, и не посещают ДУ;

- ❖ далее в течение 5 лет (с 2 до 7 лет) дети посещают дошкольное отделение МБОУ «Большеколпанская СОШ» д. Большие Колпаны при среднем значении ЭРОА радона в воздухе каждой конкретной группы (ясли, младшая, средняя, старшая и подготовительная группы), полученном экспрессным методом (вариант № 1 – без проветривания, т.е. после 12-часовой ночной выдержки помещений с закрытыми дверями и окнами согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11; вариант № 2 – с проветриваниями, т.е. в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ), оставшуюся часть времени дети проводят дома;

- ❖ далее 4 года (с 7 до 11 лет – 4 класса) дети посещают начальную школу МБОУ «Большеколпанская СОШ» д. Большие Колпаны при среднем значении

ЭРОА радона в воздухе кабинетов начальных классов первого этажа, полученном экспрессным методом (вариант № 1 – без проветривания, т.е. после 12-часовой ночной выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11; вариант № 2 – с проветриваниями, т.е. в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ), оставшуюся часть времени дети проводят дома;

❖ далее 7 лет (с 11 до 18 лет – 7 классов) дети посещают среднюю и старшую школы МБОУ «Большеколпанская СОШ» д. Большие Колпаны при среднем значении ЭРОА радона в воздухе предметных кабинетов всех этажей, полученном экспрессным методом (вариант № 1 – без проветривания, т.е. после 12-часовой ночной выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11; вариант № 2 – с проветриваниями, т.е. в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ), оставшуюся часть времени дети проводят дома;

❖ с 18 до 100 лет люди находятся в помещениях при среднем значении ЭРОА радона в воздухе помещений жилых зданий, расположенных в д. Большие Колпаны, и не посещают ДУ.

Количество смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого (и их доли от общего количества смертельных случаев рака легкого всех этиологий) было рассчитано с использованием медико-демографических данных, источники которых перечислены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Источники медико-демографических данных, использованных для расчета показателей риска по многофакторной модели

Исходные данные	Источник
Численность населения	Федеральная служба государственной статистики (01.01.2020)
Абсолютное число смертельных случаев рака легкого (код С33,34 по МКБ-10)	Формы № 35 и Формы № 7 Федерального государственного статистического наблюдения Гатчинского района Ленинградской области за 2015–2019 гг.

Общее количество смертельных случаев рака легкого получено из форм Федерального государственного статистического наблюдения (Формы № 35 и Формы № 7) Гатчинского района Ленинградской области как сумма показателей

«Число пациентов, снятых с диспансерного наблюдения в отчетном году в связи со смертью от злокачественного новообразования (из числа учтенных при жизни, то есть без посмертно учтенных)» (таблица 2100) и «Количество посмертно учтенных злокачественных новообразований» (таблица 2120).

При расчетах по многофакторной модели согласно МР 2.6.1.0172-20 были приняты следующие допущения, обусловленные доступностью статистических медико-демографических данных:

1. Распределение численности населения Гатчинского района Ленинградской области по отдельным возрастам совпадает с областным, а в возрастной группе «85+» – с общероссийским (по данным на 01.01.2019);

2. Распределение общего количества смертельных случаев рака легкого в Гатчинском районе Ленинградской области по возрастным группам совпадает с общероссийским (по данным справочников «Злокачественные новообразования в России (заболеваемость и смертность)» за 2015–2019 гг. [37–41];

3. В пределах отдельных пятилетних возрастных групп общее количество смертельных случаев рака легкого распределено равномерно по возрастам, т.е.

$$D(a) = \frac{D_i}{n_i}, \quad (7)$$

где $D(a)$ – общее число смертельных случаев рака легкого в возрасте a , входящем в i -тую возрастную группу, чел./год;

D_i – общее число смертельных случаев рака легкого в i -той возрастной группе, чел.;

n_i – число лет жизни, составляющих i -тую возрастную группу (принимается равным 16 для возрастной группы «85+» и 5 для всех остальных групп), лет.

Годовая мощность экспозиции w на основе среднегодовой ЭРОА радона в воздухе помещений рассчитывалась по формуле (8):

$$w = \frac{C_{Rn}}{3750} \cdot \frac{8766 \cdot \Omega}{170}, \text{ РУМ/Год}, \quad (8)$$

где C_{Rn} – среднегодовая ЭРОА радона, Бк/м³;

8766 – количество часов в году (продолжительность года принималась равной 365,25 дням для учета високосных годов), ч/год;

Ω – коэффициент, обозначающий долю времени, в течение которой человек находится в помещениях. Для населения Российской Федерации значение Ω согласно пп. 4.4.4 МР 2.6.1.0088-14 [132] принимается равным 0,8, отн. ед.

В многофакторной модели значение ИОР зависит от возраста t и рассчитывалось по формуле (9):

$$ИОР(t) = \left(\sum \beta_C W_C \right) \cdot \exp \left[c_A (AE(t) - 30) + c_T (TE(t) - 20) \right], \quad (9)$$

где t – возраст на момент оценки риска, лет;

β_C – основной параметр зависимости «экспозиция – ответ», соответствующий ОА ДПР радона категории C (менее 4 РУ, 4–8 РУ, более 8 РУ), значение которого принимается по таблице 2.5, РУМ⁻¹;

W_C – кумулятивная экспозиция ДПР радона, накопленная при ОА ДПР радона категории C до возраста t , которая рассчитывается по формуле (10), РУМ;

$AE(t)$ – возраст на момент медианной экспозиции, лет;

$TE(t)$ – время, прошедшее с возраста на момент медианной экспозиции, лет;

c_A, c_T – коэффициенты модели: $c_A = -0,074$; $c_T = -0,093$, отн. ед.

Таблица 2.5 – Значения параметра β_C для многофакторной модели [98]

Категория ОА ДПР радона	Значение β_C , РУМ ⁻¹
< 4 РУ	0,0137
4–8 РУ	0,0069
>8 РУ	0,0049

Момент медианной экспозиции – это возраст, к которому была накоплена ровно половина экспозиции, накопленной к возрасту t . Поскольку в случае использования многофакторной модели в общем случае рассматривается ситуация неравномерного пожизненного облучения, то этот возраст определяется как соответствующий 50-му перцентилю распределения значений накопленных экспозиций (т.е. медиане) [98].

В модели предусмотрен учет пятилетнего латентного периода в развитии рака легкого, поэтому экспозиция, полученная за последние 5 лет до возраста t , при расчете кумулятивной экспозиции W_C по формуле (10) не учитывается:

$$W_C = \sum_{a=0}^{t-5} w_{C,a} \cdot T, \text{ РУМ}, \quad (10)$$

где t – возраст на момент оценки риска, лет;

$w_{C,a}$ – годовая мощность экспозиции ДПР радона категории C в возрасте a , РУМ/год;

T – длительность экспозиции, которая принимается равной 1 году.

Для многофакторной модели расчет абсолютного числа смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого D_{Rn} производился по формуле (11):

$$D_{Rn} = \sum_{t=0}^{100} D(t) \cdot \frac{ИОР(t)}{1 + ИОР(t)}, \quad (11)$$

где $D(t)$ – общее число смертельных случаев рака легкого в возрасте t , чел./год.

D_{Rn} относится ко всей популяции, без разделения на курильщиков и некурящих. В качестве допущения принимается, что на долю курильщиков приходится 95% смертельных случаев рака легкого среди мужчин (s_M) и 90% среди женщин ($s_{Ж}$). Расчет числа смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого, приходящихся на долю курильщиков ($D_{Rn,ES}$) и некурящих ($D_{Rn,NS}$), был произведен по формулам (12) и (13) соответственно:

$$D_{Rn,ES} = D_{Rn} \cdot s, \quad (12)$$

$$D_{Rn,NS} = D_{Rn} - D_{Rn,ES}, \quad (13)$$

где s – доля смертельных случаев рака легкого, приходящихся на курильщиков в конкретной когорте населения (s_M – мужчины, $s_{Ж}$ – женщины, $s_{всe}$ – все население), отн. ед.

Для всего населения в целом значение $s_{всe}$ определялось по формуле (14):

$$s_{\text{всe}} = s_{\text{м}} \cdot d_{\text{м}} + s_{\text{ж}} \cdot d_{\text{ж}}, \quad (14)$$

где $d_{\text{м}}$ и $d_{\text{ж}}$ – доля мужчин и женщин среди населения, отн. ед.;
 $s_{\text{м}} = 0,95$; $s_{\text{ж}} = 0,90$ [98].

2.5. Статистический анализ данных

Переход от измеренных значений ОА радона к ЭРОА радона производился с использованием коэффициента радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР по формуле (15):

$$A_{Rn} = OA_{Rn} \cdot F_{Rn}, \quad (15)$$

где A_{Rn} – ЭРОА радона в воздухе, Бк/м³;

OA_{Rn} – ОА радона в воздухе, Бк/м³;

F_{Rn} , отн. ед. – коэффициент равновесия, значение которого принимается равным 0,5 для воздуха помещений и 0,6 для атмосферного воздуха.

Перед началом статистической обработки данных была проведена валидация результатов измерений ОА радона и ЭРОА изотопов радона в соответствии с подходом, описанным в [61]: результаты менее НГДИ, а также результаты измерений пассивным интегральным методом, превышающие предел насыщения ТТД равный 180 кБк·сутки/м³ (что соответствует метрологическим характеристикам комплекта аппаратуры «ТРЕК-РЭИ-1М», указанным в приложении к свидетельству об утверждении данного типа средств измерений), получены не были.

Статистический анализ полученных результатов был проведен с использованием ПО Microsoft Excel 2016, Statistica 10 и включал расчет основных показателей описательной статистики, а именно минимальное, максимальное и медианное значения, среднее геометрическое с 95% доверительным интервалом, геометрическое стандартное отклонение и среднее арифметическое. Для анализа данных были построены гистограммы частотного распределения; анализ характера распределений значений ОА (ЭРОА) радона и натурального логарифма ОА (ЭРОА) радона и степени их соответствия логнормальному и нормальному

законам проводился с помощью тестов Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. Непараметрический критерий Вилкоксона использовался для проверки значимости различий между парами выборок. Критический уровень значимости при всех статистических сравнениях принимался равным 0,05.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ

В этой главе были использованы материалы из ранее опубликованной статьи соискателя [20].

3.1. Сравнительная оценка уровней содержания радона в воздухе помещений детских учреждений в зависимости от метода контроля

Во всех обследованных помещениях ДУ результаты экспрессных измерений ЭРОА торона не превысили значения НГДИ используемых СИ ($0,5 \text{ Бк/м}^3$), поэтому далее не приводятся.

Строительно-конструкционные характеристики обследованных зданий ДУ (год постройки, этажность, наличие или отсутствие подвала, основной материал строительных конструкций, тип окон и системы отопления) представлены в приложении А, а первичные результаты измерительных данных – в приложении Б.

Как правило, полученные результаты экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ, выполненных в будние дни после ночной 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами (согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11), оказались в разы выше результатов аналогичных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ. Очевидная обратная закономерность была выявлена в кабинете биологии 13Ш, что, скорее всего, связано с тем, что данное помещение расположено в непосредственной близости ко входу в подвал здания, в котором значение ЭРОА радона составило 865 Бк/м^3 . Вероятнее всего, в рабочее время ДУ в кабинет биологии с открытой дверью (до начала занятий, во время перемен и т.д.) происходит перемещение воздушных масс с высоким содержанием радона и его ДПР, что подтверждается измерением ЭРОА радона в холле между кабинетом биологии и входом в подвал.

Тесты Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка подтвердили гипотезу о соответствии результатов измерений содержания радона в воздухе помещений логнормальному распределению для всех ДУ; таким образом, устойчивой к

выбросам (робастной) мерой центральной тенденции для всех полученных выборок является среднее геометрическое.

Обобщенные результаты серий экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ, выполненных в будние дни сначала после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами (согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11), а затем в режиме нормальной эксплуатации здания, представлены на рисунке 3.1.

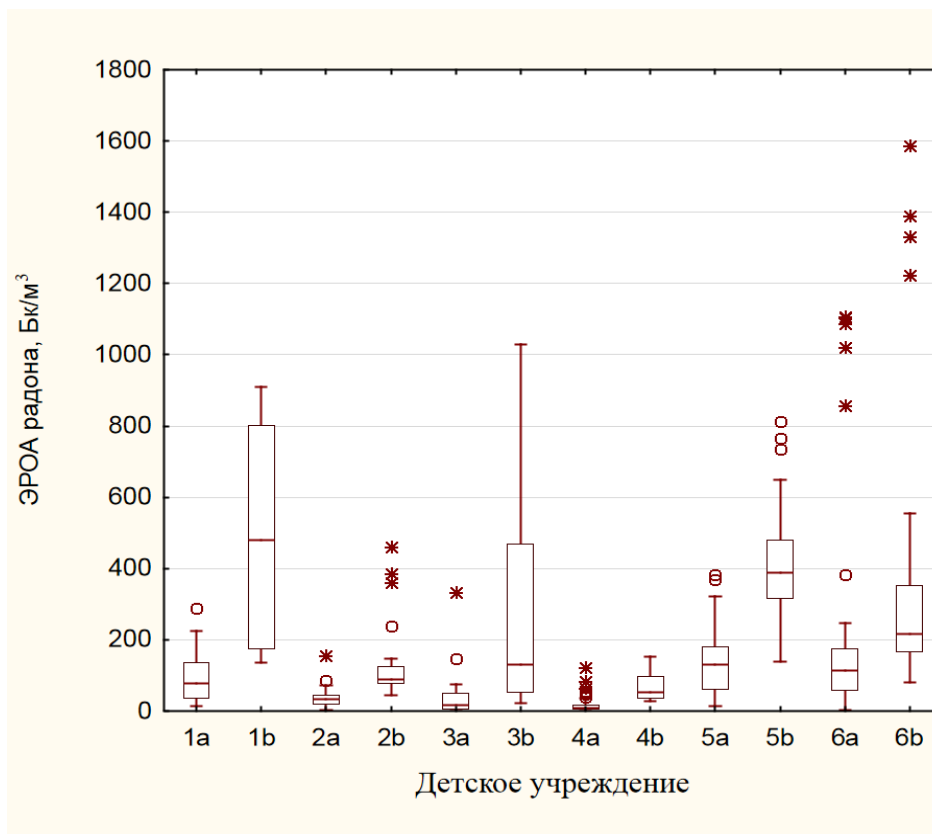


Рисунок 3.1 – Результаты серий экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ (1 – 8С; 2 – 9С; 3 – 10Ш; 4 – 11С; 5 – 12С; 6 – 13Ш; а – в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; b – после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами; — — медиана; □ – нижний и верхний квартили; I – минимальное и максимальное значения; ○ – выброс; * – экстремальное значение)

Получено, что медианные значения ЭРОА радона по результатам многократных экспрессных измерений, выполненных с соблюдением требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11, находились в диапазоне от 52 до 481 Бк/м³ для разных ДУ. Однако при выполнении измерений в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий, как наиболее соответствующем реальному сценарию

облучения обучающихся ДУ, медианные значения ЭРОА радона были ниже в 2–7 раз для разных ДУ и находились в диапазоне от 9 до 130 Бк/м³, за исключением ДУ г. Кингисепп. Расчет Т-критерия Вилкоксона показал, что значения ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ статистически значимо отличаются в зависимости от подхода к его измерению ($p < 0,05$).

В ДУ г. Кингисепп в режиме нормальной эксплуатации зданий значения ЭРОА радона варьировались в очень узком диапазоне от НГДИ (1 Бк/м³) до 13 Бк/м³ (несмотря на высокие значения ОА радона, полученные интегральным методом в 2020 г.), а 12-часовая ночная выдержка помещений с закрытыми дверьми и окнами не приводила к существенному накоплению радона в воздухе помещений (рисунок 3.2).

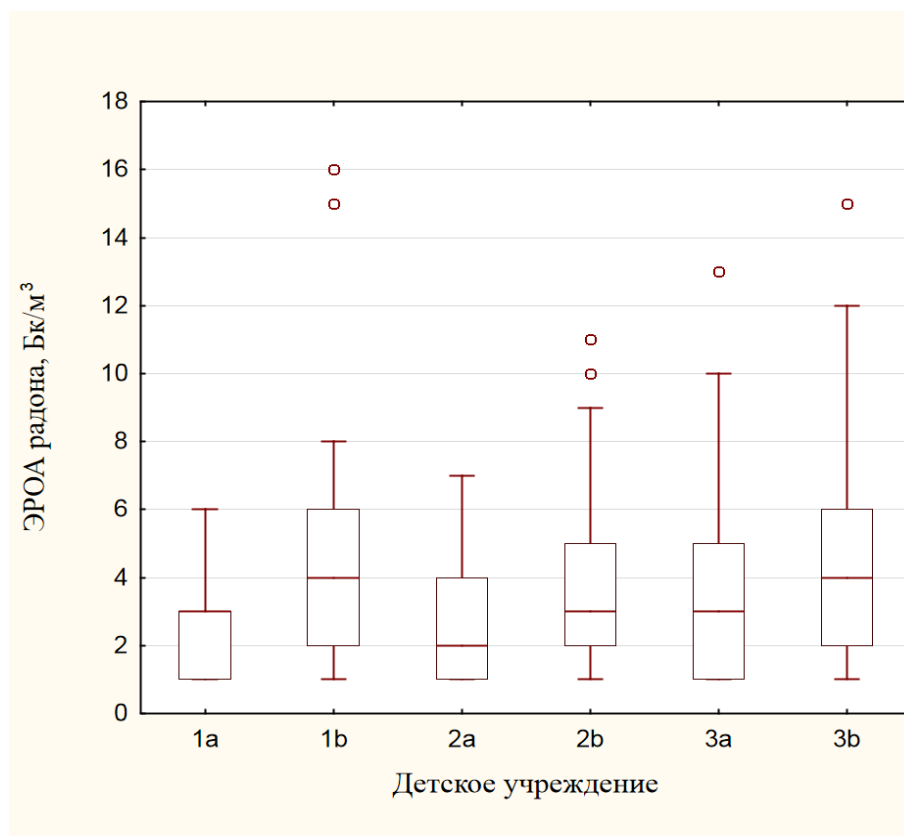


Рисунок 3.2 – Результаты серий экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ г. Кингисепп (1 – 5С; 2 – 6Ш; 3 – 7Ш;

а – в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; б – после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами; — — медиана; □ – нижний и верхний квартили; I – минимальное и максимальное значения; ○ – выброс)

С учетом неопределенности результатов измерений, полученные экспрессные значения ЭРОА радона в течение дня в ДУ г. Кингисепп не позволяют провести корректное сравнение уровней содержания радона в воздухе в зависимости от подходов к его измерению. Повторное детальное обследование ДУ г. Кингисепп показало, что в этих зданиях нет проблем с радиационной безопасностью по фактору «радон», и поэтому полученные в них результаты неприменимы для задачи научного обоснования методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей.

Результаты комплексного статистического анализа данных о содержании радона в воздухе помещений в каждом из обследованных ДУ, а также сопоставление результатов экспрессных измерений ЭРОА радона, выполненных в будние дни в часы работы ДУ, с результатами измерений интегральным и квазиинтегральным методами представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Обобщенные результаты измерений содержания радона в воздухе помещений обследованных ДУ

ДУ	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³				ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³				ЭРОА _{Rn} (квазиинтегральный метод), Бк/м ³				R _{L/L} , отн. ед.	R _{S/L} , отн. ед.
	Med (min– max)	GM (CI95)	GSD	AM	Med (min–max)	GM (CI95)	GSD	AM	Med (min– max)	GM (CI95)	GSD	AM		
1С	10 (3–31)	10 (8–13)	1,9	12	50 (21–106)	41 (26–66)	2,0	50	–	–	–	–	5,0 (2,2–7,6)	–
2С	16 (6–62)	16 (13–20)	1,8	19	61 (24–81)	56 (40–78)	1,6	60	–	–	–	–	3,8 (2,4–5,9)	–
3Ш	243 (30–368)	195 (157– 242)	1,8	220	415 (331–476)	414 (374–460)	1,2	418	–	–	–	–	1,7 (1,4–2,9)	–
4Ш	223 (12– 607)	154 (101– 232)	3,0	232	592 (288–1300)	627 (428–916)	1,7	704	–	–	–	–	2,7 (1,9–5,8)	–
8С	77 (13–289)	70 (46–104)	2,5	99	815 (313–1228)	667 (431–1032)	2,0	793	–	–	–	–	10,6 (5,7–9,4)	–
9С	34 (4–155)	30 (23–38)	2,1	38	118 (75–680)	145 (88–237)	2,2	202	–	–	–	–	3,5 (2,0–14,4)	–
10Ш	18 (1–333)	19 (12–29)	3,5	39	165 (10–1150)	166 (56–496)	5,8	422	–	–	–	–	9,2 (0,9– 145,0)	–
5С	3 (1–6)	2 (2–3)	2,0	3	15 (7–45)	17 (10–27)	2,2	22	–	–	–	–	5,0 (1,1–15,0)	–
6Ш	2 (1–7)	2 (2–2)	1,9	2	5 (5–109)	10 (6–16)	2,6	18	–	–	–	–	2,5 (1,0–21,7)	–

Продолжение таблицы 3.1

ДУ	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³				ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³				ЭРОА _{Rn} (квазиинтегральный метод), Бк/м ³				R _{L/L} , отн. ед.	R _{S/L} , отн. ед.
	Med (min– max)	GM (CI95)	GSD	AM	Med (min–max)	GM (CI95)	GSD	AM	Med (min– max)	GM (CI95)	GSD	AM		
7Ш	3 (1–13)	3 (2–4)	2,4	4	8 (5–55)	10 (7–15)	2,0	14	–	–	–	–	2,7 (0,8–12,5)	–
11С	9 (1–123)	9 (7–12)	3,2	17	78 (25–333)	85 (48–151)	2,3	115	–	–	–	–	8,7 (2,8–22,2)	–
12С	130 (14–382)	105 (89–124)	2,1	135	594 (330–750)	537 (451–638)	1,3	555	203 (117– 351)	196 (160– 239)	1,4	205	4,6 (2,0–8,4)	1,6 (1,0– 3,0)
13Ш	113 (3–1106)	92 (71–118)	3,3	168	300 (100–2450)	316 (240–416)	2,1	438	108 (45– 710)	125 (89– 174)	1,9	160	2,7 (1,1–68,0)	1,0 (0,3– 21,5)

Примечание: min, max, med – минимальное, максимальное и медианное значения; GM (CI95) – среднее геометрическое значение (в скобках – 95% доверительный интервал); GSD – геометрическое стандартное отклонение; AM – среднее арифметическое значение; R_{L/L} – отношение медианного значения по результатам интегральных измерений к медианному значению по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания (с диапазоном по отдельным помещениям); R_{S/L} – отношение медианного значения по результатам квазиинтегральных измерений к медианному значению по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания (с диапазоном по отдельным помещениям).

Медианные значения результатов интегральных измерений ОА района, пересчитанные в значения ЭРОА, составили от 5 до 815 Бк/м³ для разных ДУ, то есть они превышают соответствующие медианные значения результатов многократных экспрессных измерений ЭРОА района, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания, от 1,7 до 10,6 раз из-за непрерывного экспонирования ИТРР, включая периоды фактического отсутствия людей в зданиях ДУ (в ночное время, выходные, праздничные дни). Напротив, медианные значения результатов квазиинтегральных измерений ОА района в воздухе помещений ДУ 12С и 13Ш показывают неплохую сходимость с результатами многократных экспрессных измерений ЭРОА района, выполненных в дневное время в присутствии обучающихся и сотрудников.

На временных сериях результатов измерений с помощью мониторов района в некоторых помещениях ДУ выявлялись выраженные паттерны суточного изменения ОА района в воздухе помещений, обусловленные, в первую очередь, режимом эксплуатации помещений (рисунок 3.3).

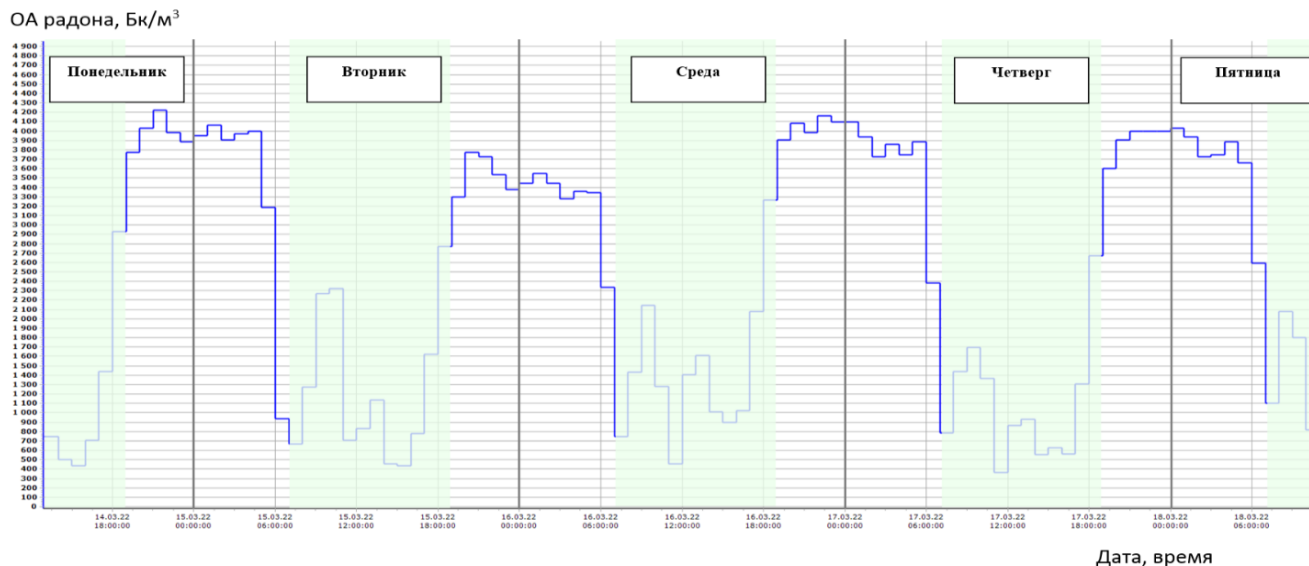


Рисунок 3.3 – Временная серия результатов измерений ОА района с помощью монитора района в 8С (разновозрастная группа 3-5 лет, 14–18 марта 2022 г.)

В разновозрастной группе 3-5 лет, расположенной на первом этаже 8С, медианное значение ОА района в будние дни в рабочее время (с 7:00 до 19:00) на протяжении всего периода обследования составило 1016 Бк/м³, что в 3,8 раза меньше, чем в ночное время. Аналогичные данные были получены и другими

авторами [158, 179, 218]. Однако на рисунке 3.3 видно, что из-за интенсивной эксхалляции радона с поверхности подстилающего грунта и невозможности проводить постоянное проветривание помещения в присутствии воспитанников детского сада ОА радона в дневное время имеет выраженные колебания от 360 до 2320 Бк/м³. При экспрессных измерениях (менее часа) в случайные моменты времени другими авторами [133, 137] также описываются суточные вариации ЭРОА радона в воздухе помещений, предварительно выдержанных с закрытыми дверьми и окнами, которые могут достигать 400%. Учитывая временную вариабельность содержания радона в воздухе помещений, а также принимая во внимание отсутствие мониторов радона во многих ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» в субъектах РФ, более корректной является оценка содержания радона по результатам многократных экспрессных измерений ЭРОА радона (в виде среднего значения), проведенных спустя полчаса после проветривания в течение нескольких рабочих дней, а не по результатам единичного измерения в случайный момент времени.

Медианные значения ОА радона на каждый час суток, полученные с помощью мониторов радона для некоторых помещений ДУ, представлены на рисунках 3.4–3.12.



Рисунок 3.4 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 9 4Ш (25 февраля – 11 марта 2021 г.)



Рисунок 3.5 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 5 4Ш (11–25 марта 2021 г.)



Рисунок 3.6 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 15 3Ш (25 февраля – 11 марта 2021 г.)



Рисунок 3.7 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 1 ЗШ (11–25 марта 2021 г.)

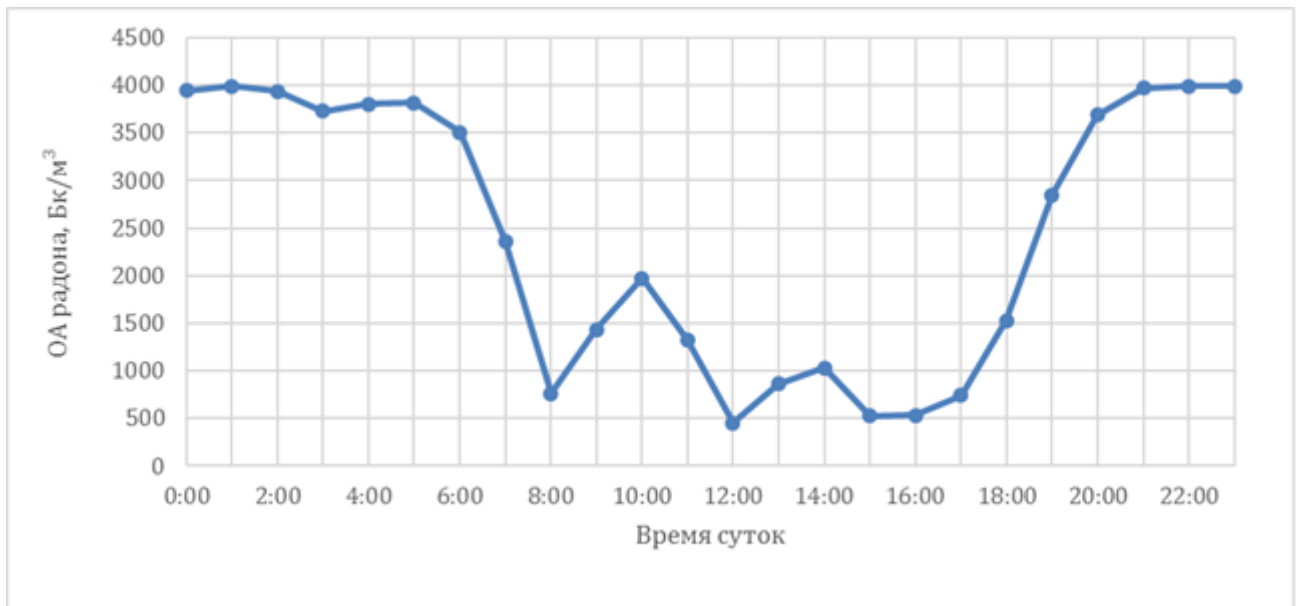


Рисунок 3.8 – Динамика медианных значений ОА радона в разновозрастной группе 8С (в будние дни, 14–18 марта 2022 г.)



Рисунок 3.9 – Динамика медианных значений ОА радона в спортивном зале 5С (в будние дни, 04–06 апреля 2022 г.)

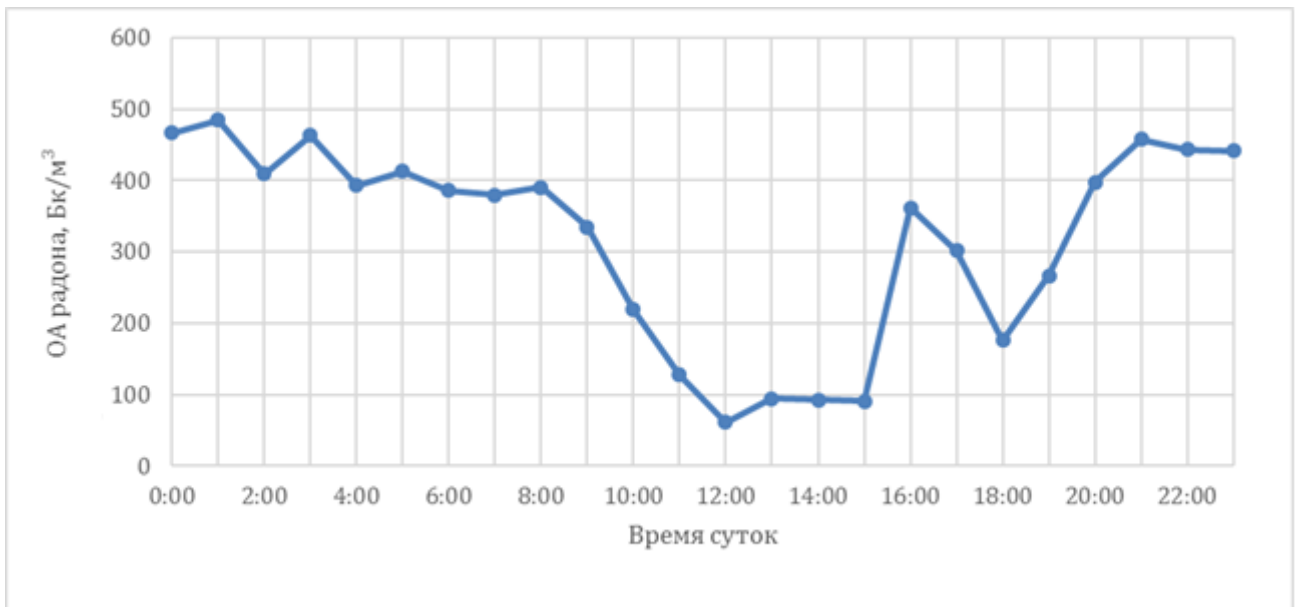


Рисунок 3.10 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 1 11С (в будние дни, 18–20 апреля 2022 г.)



Рисунок 3.11 – Динамика медианных значений ОА радона в спальне группы «Колокольчик» 12С (28 ноября – 05 декабря 2022 г.)



Рисунок 3.12 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 3 12С (28 ноября – 05 декабря 2022 г.)

На рисунках 3.5, 3.8, 3.10–3.12 хорошо прослеживается связь ОА радона с режимом эксплуатации ДУ и графиком проветривания помещений: уровень содержания радона в воздухе помещений ночью в будние дни (при отсутствии обучающихся и сотрудников) значительно превышал соответствующий уровень в часы работы ДУ. Например, в разновозрастной группе 8С, в которой нет разделения спальня и игровой зон, отчетливо прослеживается снижение ОА

радона после 10 ч во время дневной прогулки воспитанников и к 15 ч к моменту окончания дневного сна (рисунок 3.8). В спальне группы «Колокольчик» 12С увеличение ОА радона в будние дни регистрировалось после 12 ч к началу тихого часа и уменьшалась после его окончания (рисунок 3.11). На рисунках 3.5, 3.10 и 3.12 сложнее описать ход кривой ОА радона в рабочее время, так как проветривание в таких помещениях носит спорадический характер, тем не менее в рассмотренных случаях медианное значение ОА радона в будние дни в рабочее время (с 7:00 до 19:00) было в 2 раза меньше, чем в ночное время. На рисунках 3.4, 3.6 и 3.7 прослеживается недостаточное проветривание помещений: ход кривой ОА радона в будние дни в значительной степени совпадает с ходом кривой ОА радона в выходные дни, за исключением кабинета № 9 4Ш, который в выходные дни используется охранником (сторожем) из-за отсутствия своего кабинета. На рисунке 3.9 из-за низких уровней ОА радона в воздухе помещений 5С на общий ход кривой атмосферные параметры оказывают гораздо более сильное влияние, чем режим эксплуатации помещений.

Необходимо отметить хорошую сходимость результатов, полученных пассивным интегральным методом, и средних результатов измерений мониторами радона (расхождение составляет от 8 до 26%), за исключением 12С, в котором расхождение достигает до 62%, что, скорее всего, связано с более частыми и длительными проветриваниями помещений 12С сотрудниками ДУ после снятия радоновых мониторов, но до окончания экспонирования ИТРР. Отношение полученных с помощью мониторов результатов после пересчета в ЭРОА радона к результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ, с использованием коэффициента равновесия $F_{Rn}=0,5$ составляет от 2 до 19 раз (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Сопоставление средних результатов измерений содержания радона в воздухе помещений обследованных ДУ

ДУ, помещение	ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³	ЭРОА _{Rn} (монитор радона), Бк/м ³	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³	R _{мл} , отн. ед.
4Ш, кабинет № 9	556	454	278	1,6
4Ш, кабинет № 5	784	984	264	3,7
3Ш, кабинет № 15	476	512	276	1,9
3Ш, кабинет № 1	415	316	142	2,2
8С, разновозрастная группа 3-5 лет	1200	1360	210	6,5
11С, кабинет № 1	168	130	21	6,2
12С, спальня группы «Колокольчик»	425	688	37	18,6
12С, кабинет № 3	705	1120	289	3,9

Примечание: R_{мл} – отношение медианного значения по результатам измерений с помощью монитора радона к медианному значению по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ

Наибольший интерес представляет разбиение всего массива результатов измерений с помощью мониторов радона на отдельные временные периоды: дневное и ночное время, рабочие и выходные дни. Из данных, представленных в таблице 3.3, видно, что в дневное время результаты измерений с помощью мониторов превышают результаты экспрессных измерений от 1,4 до 6,8 раз, при этом в рабочие дни – только в 1,2–4,0 раза. Ночные значения стабильно превышают дневные вне зависимости от деления на рабочие и выходные дни (таблица 3.4). Результаты пассивных интегральных измерений немного превышают результаты, полученные с помощью мониторов в дневное время (в среднем в 0,8–2,4 раза), и немного занижают результаты, полученные с помощью мониторов в ночное время (в среднем отношение составляет 0,5–1,3 раза).

Таблица 3.3 – Сопоставление результатов измерений содержания радона в воздухе помещений обследованных ДУ с помощью монитора радона в дневное время с другими методами

ДУ, помещение	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³	ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³	ЭРОА _{Rn} (монитор радона), Бк/м ³		
			Дневное время (08:00–18:00 для школ и 07:00–18:00 для детских садов)		
			Все дни	Рабочие дни	Выходные дни
4Ш, кабинет № 9	278	556	392 $R_{M/I}=1,4$ $R_{L/M}=1,4$	346 $R_{M/I}=1,2$ $R_{L/M}=1,6$	482 $R_{M/I}=1,7$ $R_{L/M}=1,2$
4Ш, кабинет № 5	264	784	812 $R_{M/I}=3,1$ $R_{L/M}=1,0$	596 $R_{M/I}=2,3$ $R_{L/M}=1,3$	988 $R_{M/I}=3,7$ $R_{L/M}=0,8$
3Ш, кабинет № 15	276	476	469 $R_{M/I}=1,7$ $R_{L/M}=1,0$	480 $R_{M/I}=1,7$ $R_{L/M}=1,0$	410 $R_{M/I}=1,5$ $R_{L/M}=1,2$
3Ш, кабинет № 1	142	415	300 $R_{M/I}=2,1$ $R_{L/M}=1,4$	295 $R_{M/I}=2,1$ $R_{L/M}=1,4$	309 $R_{M/I}=2,2$ $R_{L/M}=1,3$
8С, разновозрастная группа 3-5 лет	210	1200	–	508 $R_{M/I}=2,4$ $R_{L/M}=2,4$	–
11С, кабинет № 1	21	168	–	85 $R_{M/I}=4,0$ $R_{L/M}=2,0$	–
12С, спальня группы «Колокольчик»	37	425	251 $R_{M/I}=6,8$ $R_{L/M}=1,7$	122 $R_{M/I}=3,3$ $R_{L/M}=3,5$	1072 $R_{M/I}=29,0$ $R_{L/M}=0,4$
12С, кабинет № 3	289	705	892 $R_{M/I}=3,1$ $R_{L/M}=0,8$	592 $R_{M/I}=2,0$ $R_{L/M}=1,2$	1156 $R_{M/I}=4,0$ $R_{L/M}=0,6$

Примечание: $R_{M/I}$ – отношение медианного значения по результатам измерений с помощью монитора радона к медианному значению по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; $R_{L/M}$ – отношение результата пассивного интегрального измерения к медианному значению по результатам измерений с помощью монитора радона

Таблица 3.4 – Сопоставление результатов измерений содержания радона в воздухе помещений обследованных ДУ с помощью монитора радона в ночное время с другими методами

ДУ, помещение	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³	ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³	ЭРОА _{Rn} (монитор радона), Бк/м ³		
			Ночное время (19:00–07:00 для школ и 19:00–06:00 для детских садов)		
			Все дни	Рабочие дни	Выходные дни
4Ш, кабинет № 9	278	556	524 $R_{M/I}=1,9$ $R_{L/M}=1,1$	399 $R_{M/I}=1,4$ $R_{L/M}=1,4$	776 $R_{M/I}=2,8$ $R_{L/M}=0,7$
4Ш, кабинет № 5	264	784	1204 $R_{M/I}=4,6$ $R_{L/M}=0,7$	1084 $R_{M/I}=4,1$ $R_{L/M}=0,7$	1236 $R_{M/I}=4,7$ $R_{L/M}=0,6$
3Ш, кабинет № 15	276	476	528 $R_{M/I}=1,9$ $R_{L/M}=0,9$	516 $R_{M/I}=1,9$ $R_{L/M}=0,9$	592 $R_{M/I}=2,1$ $R_{L/M}=0,8$
3Ш, кабинет № 1	142	415	328 $R_{M/I}=2,3$ $R_{L/M}=1,3$	316 $R_{M/I}=2,2$ $R_{L/M}=1,3$	338 $R_{M/I}=2,4$ $R_{L/M}=1,2$
8С, разновозрастная группа 3-5 лет	210	1200	–	1936 $R_{M/I}=9,2$ $R_{L/M}=0,6$	–
11С, кабинет № 1	21	168	–	177 $R_{M/I}=8,4$ $R_{L/M}=0,9$	–
12С, спальня группы «Колокольчик»	37	425	798 $R_{M/I}=21,6$ $R_{L/M}=0,5$	700 $R_{M/I}=18,9$ $R_{L/M}=0,6$	1040 $R_{M/I}=28,1$ $R_{L/M}=0,4$
12С, кабинет № 3	289	705	1232 $R_{M/I}=4,3$ $R_{L/M}=0,6$	1324 $R_{M/I}=4,6$ $R_{L/M}=0,5$	1136 $R_{M/I}=3,9$ $R_{L/M}=0,6$

Примечание: $R_{M/I}$ – отношение медианного значения по результатам измерений с помощью монитора радона к медианному значению по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; $R_{L/M}$ – отношение результата пассивного интегрального измерения к медианному значению по результатам измерений с помощью монитора радона

Вся информация об уровнях содержания радона в воздухе помещений ДУ, превышающих установленный гигиенический норматив в часы работы образовательного учреждения, была оперативно передана в Управление Роспотребнадзора по Ленинградской области и администрацию ДУ для принятия

соответствующих управленческих решений. Высокие уровни содержания радона в воздухе помещений в часы работы ДУ могут быть обусловлены недостаточным проветриванием (игнорирование или недобросовестное соблюдение графиков проветриваний) или давностью ревизии вентиляционных шахт.

3.2. Уровни содержания радона в воздухе помещений жилых домов и на открытой местности

В таблице 3.5 представлены результаты долгосрочных интегральных измерений ОА радона в воздухе помещений жилых домов некоторых сотрудников обследованных ДУ, пересчитанные в ЭРОА радона, а также результаты измерений на открытой местности.

Таблица 3.5 – Обобщенные результаты измерений содержания радона в воздухе помещений жилых домов и на открытой местности

Населенный пункт	ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³							
	Жилые дома				Атмосферный воздух			
	Med (min–max)	GM (CI95)	GSD	AM	Med (min–max)	GM (CI95)	GSD	AM
д. Клопицы	154 (10–223)	99 (48–206)	3,3	140	11 (8–13)	11 (8–13)	1,4	11
п. Сельцо	33 (23–1170)	70 (26–193)	5,1	265	15 (13–17)	15 (13–17)	1,2	15
г. Кингисепп	20 (5–75)	16 (10–24)	2,4	23	5	–	–	–
п. Сосново	38 (7–223)	35 (19–65)	3,5	66	4	–	–	–
д. Большие Колпаны	34 (20–180)	40 (25–64)	2,1	54	18	–	–	–

Примечание: min, max, med – минимальное, максимальное и медианное значения; GM (CI95) – среднее геометрическое значение (в скобках – 95% доверительный интервал); GSD – геометрическое стандартное отклонение; AM – среднее арифметическое значение.

Диапазон полученных значений ЭРОА радона в воздухе жилых домов обследованных населенных пунктов Волосовского, Кингисеппского, Приозерского и Гатчинского районов составляет от 5 до 1170 Бк/м³ (при $F_{Rn}=0,5$), на открытой местности – от 4 до 18 Бк/м³ (при $F_{Rn}=0,6$).

3.3. Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения в помещениях детских учреждений и на открытой местности

Территория обследованных ДУ характеризуется достаточно ровным полем гамма-излучения; все измеренные значения МАЭД гамма-излучения находятся в диапазоне от менее 0,10 до 0,15 мкЗв/ч на участках с асфальтобетонным покрытием и с учетом неопределенности результатов измерений не превышают 0,20 мкЗв/ч. Максимальное измеренное значение МАЭД гамма-излучения в помещениях ДУ составляет 0,20 мкЗв/ч (в 8С) и с учетом неопределенности результатов измерений не превышает 0,27 мкЗв/ч. Значимых различий в результатах измерений в зависимости от типа зданий и этажности ДУ выявлено не было. Ни в одном из обследованных помещений ДУ значение МАЭД гамма-излучения не превышает более чем на 0,3 мкЗв/ч аналогичный показатель для открытой местности на прилегающей территории ДУ, что в полной мере соответствует требованиям нормативных документов к эксплуатируемым общественным зданиям.

3.4. Радиологическое исследование грунта и питьевой воды детских учреждений

Результаты измерений УА ПРН (^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K) в грунтах, а также расчетное значение эффективной удельной активности ($A_{эфф}$) ПРН; ППР с поверхности грунта на прилегающей территории ДУ или в подвальных помещениях и экспрессных измерений ЭРОА радона в подвальных помещениях ДУ представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты измерений УА ПРН в грунтах, ППР с поверхности грунта и экспрессных измерений ЭРОА радона в подвальных помещениях ДУ

ДУ	УА ПРН в грунтах, Бк/кг				ППР, мБк/(м ² ·с)	ЭРОА _{Rn} в подвале, Бк/м ³
	A_{Th}	A_{Ra}	A_K	$A_{эфф}$		
	Среднее арифметическое (диапазон), стандартное отклонение					
8С	26 (16–35), 13	25 (23–27), 3	812 (789–835), 33	132 (119–144), 18	103 (50–183), 55; 852 (562– 1170), 220**	2039±719

Продолжение таблицы 3.6

ДУ	УА ПРН в грунтах, Бк/кг				ППР, мБк/(м ² ·с)	ЭРОА _{Rn} В подвале, Бк/м ³
	A_{Th}	A_{Ra}	A_K	$A_{эфф}$		
	Среднее арифметическое (диапазон), стандартное отклонение					
9С	16±5	16±5	541±123	85±14	57 (8–195), 54	–
10Ш	21±6	22±6	525±105	97±14	59 (6–384), 116	59±21
11С	25 (24–25), 1	34 (32–36), 3	624 (613–635), 16	122 (120–124), 3	15 (3–28), 7	–
12С	–	–	–	–	782 (254– 1790), 499**	772±283
13Ш	16 (16–16), 0*	18 (16–19), 2*	570 (564–575), 8*	90 (88–92), 3*	593 (182– 2030), 614**	865±325

Примечание: A_{Th} , A_{Ra} , A_K – удельная активность ²³²Th, ²²⁶Ra и ⁴⁰K соответственно; $A_{эфф}$ – эффективная удельная активность природных радионуклидов; * – исследовалась подсыпка, отобранная из небетонированного подвала ДУ; ** – исследование проводилось в небетонированном подвале ДУ.

Доля контрольных точек в подвалах 8С, 12С и 13 Ш, в которых значение ППР было больше значения уровня вмешательства, установленного равным 80 мБк/(м²·с) для участков территорий под строительство зданий жилищного и общественного назначения (п. 5.1.6 ОСПОРБ 99/2010), составило 100%; на прилегающей территории 8С, 9С, 10Ш и 11С – 50, 20, 10 и 0% соответственно.

Значения удельной суммарной альфа- и бета-активности питьевой воды во всех обследованных ДУ были ниже контрольных уровней (0,2 и 1,0 Бк/кг соответственно), а УА ²²²Rn – ниже уровня вмешательства (60 Бк/кг), что в полной соответствует требованиям нормативных документов.

Таким образом, результаты дополнительных исследований, выполненных в рамках комплексного обследования ДУ, позволили установить источник поступления радона в воздух помещений – грунт под зданием, содержащий ²³⁸U (²²⁶Ra). Из чего следует, что при обследовании эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей (ДУ) объем радиационного контроля обязательно должен включать все помещения с длительным

пребыванием обучающихся первого и цокольного (при его наличии и использования в образовательном процессе) этажей.

Выводы к главе 3:

1. Уровни ЭРОА радона в воздухе обследованных помещений ДУ сильно варьировались в диапазоне от 1 до 2450 Бк/м³, и зависели от режима эксплуатации помещений и выбранного метода измерения. Во всех обследованных помещениях ДУ результаты экспрессных измерений ЭРОА торона не превысили значения НГДИ используемых СИ (0,5 Бк/м³).

2. Результаты радонового мониторинга показали, что при отсутствии мониторов радона более корректной является оценка содержания радона по результатам многократных экспрессных измерений ЭРОА радона в рабочее время (в виде среднего значения), проведенных спустя как минимум полчаса после проветривания в течение нескольких рабочих дней, а не по результатам единичного измерения в случайный момент времени.

3. Результаты экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами (согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11), являются более высокими по сравнению с результатами многократных экспрессных измерений ЭРОА радона, выполненных на протяжении нескольких рабочих дней в рабочее время в присутствии обучающихся и сотрудников, в среднем от 2 до 7 раз для разных ДУ ($p < 0,05$).

4. Результаты интегральных измерений ОА радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий являются более высокими по сравнению с результатами многократных экспрессных измерений ЭРОА радона, выполненных на протяжении нескольких рабочих дней в рабочее время в присутствии обучающихся и сотрудников в среднем от 2 до 10 раз для разных ДУ ($p < 0,05$).

5. Во всех обследованных помещениях ДУ МАЭД гамма-излучения в полной мере соответствует требованиям нормативных документов к эксплуатируемым общественным зданиям.

6. Грунт под зданием является основным источником поступления радона в воздух помещений ДУ, что подтверждается результатами измерений питьевой воды, ППР с поверхности грунта, УА ^{226}Ra в грунтах и ЭРОА изотопов радона в подвальных помещениях.

ГЛАВА 4. ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ И РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТОДА КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ

В этой главе были использованы материалы из ранее опубликованных работ соискателя [18, 21].

4.1. Гигиеническая оценка доз облучения обучающихся в зависимости от метода контроля содержания радона в воздухе помещений

Для решения задач по управлению риском в области воздействия малых доз от ПИИИ в качестве меры риска чаще всего используют величину эффективной дозы облучения.

После набора большего количества собственных измерительных данных был подтвержден логнормальный вид распределения значений содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей, в связи с чем дозы облучения и радиационный риск для здоровья обучающихся, представленные в ранее опубликованной статье соискателя [21], были пересчитаны на основе медианных значений содержания радона в воздухе как меры центральной тенденции данного вида распределения, что привело в некоторых случаях к незначительному изменению значений доз облучения, но не отразилось на их гигиенической оценке (кроме доз облучения обучающихся ЗШ, рассчитанных на основе экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона) согласно классификации, представленной в ОСПОРБ 99/2010. Некоторыми авторами справедливо отмечено, что использование в расчетах доз внутреннего облучения населения за счет ингаляции изотопов радона среднего арифметического значения вместо медианного приводит к завышению данных показателей в среднем в 1,3–1,4 раза [61, 79].

В таблице 4.1 представлены результаты расчета доз облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ.

Таблица 4.1 – Дозы облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ (на основе результатов измерений содержания радона в воздухе помещений экспрессным, квазиинтегральным и интегральным методами), мЗв/год

ДУ	Экспрессный метод		Квази-интегральный метод	Интегральный метод	$R_{I\ 12-h/L}$ погм., отн. ед.	$R_{S/I}$ погм., отн. ед.	$R_{L/I}$ погм., отн. ед.
	12-ч выд.	Н/э					
1С	–	0,3	–	1,4	–	–	5
2С	–	0,4	–	1,7	–	–	4
3Ш	–	5,1	–	8,7	–	–	2
4Ш	–	4,7	–	12,4	–	–	3
8С	13,5	2,2	–	22,9	6	–	10
9С	2,6	1,0	–	3,4	3	–	3
10Ш	2,8	0,4	–	3,5	7	–	9
5С	0,2	0,1	–	0,5	2	–	5
6Ш	0,1	0,1	–	0,2	1	–	2
7Ш	0,1	0,1	–	0,2	1	–	2
11С	1,5	0,3	–	2,2	5	–	7
12С	11,0	3,7	5,8	16,7	3	2	5
13Ш	4,6	2,4	2,3	6,4	2	1	3

Примечание: 12-ч выд. – экспрессное измерение после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами; н/э – экспрессное измерение в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; $R_{I\ 12-h/L\ norm.}$ – отношение значения средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами, к значению средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; $R_{S/I\ norm.}$ – отношение значения средней дозы облучения по результатам квазиинтегральных измерений к значению средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; $R_{L/I\ norm.}$ – отношение значения средней дозы облучения по результатам интегральных измерений к значению средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ.

Из таблицы 4.1 видно, что выбор того или иного подхода к измерению содержания радона в воздухе помещений экспрессным методом оказывает сильное влияние на дозовую оценку облучения обучающихся ДУ, за исключением 5С, 6Ш и 7Ш, в которых были зарегистрированы очень низкие значения ЭРОА радона независимо от режима эксплуатации помещений (от 1 до 13 Бк/м³). Для остальных ДУ дозы облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ, рассчитанные на основе результатов экспрессных измерений ЭРОА радона в рабочее время, составили от 0,3 до 5,1 мЗв/год для разных ДУ. Однако при использовании в расчетах результатов экспрессных измерений, выполненных при соблюдении требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11, т.е. при проведении измерений ЭРОА радона после предварительной 12-часовой выдержки помещений при закрытых окнах и дверях, дозы облучения были бы завышены от 2 до 7 раз и составили бы от 1,5 до 13,5 мЗв/год для разных ДУ. При вынужденном использовании МУ 2.6.1.2838-11 (из-за отсутствия других утвержденных методических указаний или рекомендаций по обследованию эксплуатируемых зданий) даже без учета вклада других ПИИИ, облучение некоторой когорты населения может классифицироваться согласно ОСПОРБ 99/2010 не как приемлемое (менее 5 мЗв/год), а как повышенное (свыше 5 до 10 мЗв/год) или даже как высокое (более 10 мЗв/год), например, для воспитанников 8С и 12С.

В контексте проведенного обследования ДУ наиболее важно отметить, что *«мероприятия по снижению уровней облучения природными источниками излучения должны осуществляться в первоочередном порядке для групп населения, подвергающихся облучению в дозах более 10 мЗв/год»* [96].

Дозы облучения обучающихся при нахождении в помещениях ДУ, рассчитанные на основе результатов долгосрочных интегральных измерений ОА радона, составили от 0,2 до 22,9 мЗв/год для разных ДУ, то есть наблюдается завышение реальных доз облучения обучающихся, рассчитанных на основе результатов экспрессных измерений, выполненных в часы присутствия людей и наиболее объективно отражающих среднее значение содержания радона в воздухе

помещений в рабочее время, от 2 до 10 раз с переходом в некоторых случаях от приемлемого уровня облучения к повышенному (например, для учащихся 13Ш) или даже высокому (например, для учащихся 4Ш и воспитанников 8С и 12С). Таким образом, при оценке доз облучения обучающихся на основе результатов долгосрочных интегральных измерений ОА радона может складываться ситуация, когда потребуются внимание со стороны администрации или других органов исполнительной власти для проведения корректирующих мероприятий, направленных на снижение содержания радона в воздухе помещений, требующих, как правило, весьма значительных финансовых затрат.

При использовании в расчетах результатов квазиинтегральных измерений ОА радона, дозы облучения обучающихся 12С и 13Ш составляют от 2,3 до 5,8 мЗв/год для разных ДУ и превышают до 2 раз дозы облучения, рассчитанные с использованием результатов экспрессных измерений, выполненных в рабочее время.

Важно отметить, что из-за отсутствия в санитарном законодательстве РФ обязательного требования о сквозном проветривании помещений до начала учебных занятий в образовательных учреждениях воспитанники детских садов могут от полутора до трех часов находиться в непроветренных или слабо проветренных помещениях (до дневной прогулки, например). При этом дополнительная доза облучения воспитанников за счет ингаляции изотопов радона, накопившегося на ночь, при трехчасовой экспозиции составила бы 2,7 мЗв/год для 12С и 3,4 мЗв/год для 8С. Полученные значения сопоставимы с дозами облучения за счет всех источников ПИИИ (не только за счет ингаляции изотопов радона, но также за счет ^{40}K , космического излучения, внешнего терригенного облучения, ингаляции долгоживущих природных радионуклидов с пылью из атмосферного воздуха, перорального поступления ПРН при потреблении продуктов питания и питьевой воды) жителей Белгородской области или Республики Калмыкия [5]. В связи с этим, при выявлении высоких уровней содержания радона в воздухе помещений ДУ нами было рекомендовано проведение дополнительных сквозных проветриваний до начала занятий в школах

или прихода детей в детские сады, что подтверждается результатами измерений, полученных с помощью мониторов радона AlphaGUARD (см. рисунки 3.8, 3.11, 3.12): уровень ОА радона резко снижался с 6 до 8 ч утра еще до прихода обучающихся.

На рисунке 4.1 представлена структура доз облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР, учитывающая не только нахождение в помещениях ДУ (на основе результатов измерения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений экспрессным методом в режиме нормальной эксплуатации здания), но также пребывание в жилых зданиях и вне помещений (на открытой местности).

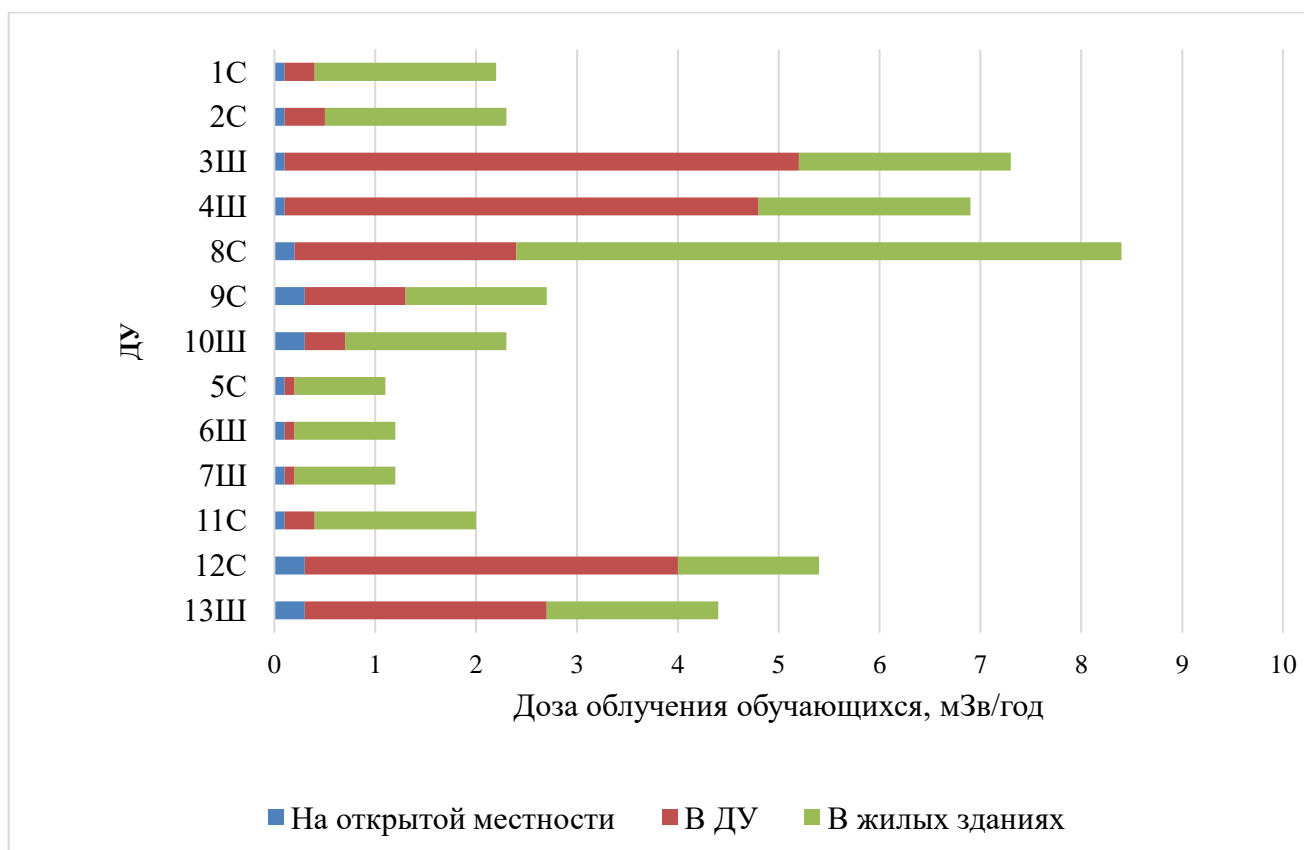


Рисунок 4.1 – Структура доз облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР

Как видно из рисунка 4.1, наибольшая суммарная доза облучения за счет ингаляции изотопов радона была получена для обучающихся 8С (8,4 мЗв/год), 3Ш (7,3 мЗв/год), 4Ш (6,9 мЗв/год), 12С (5,4 мЗв/год) и 13Ш (4,4 мЗв/год). В структуре доз облучения обучающихся большинства ДУ наибольший вклад вносит пребывание дома, а не в помещениях ДУ, в связи с чем целесообразно

уточнить уровни содержания радона в воздухе жилых домов жителей данных населенных пунктов с вовлечением большего количества желающих. Для обучающихся 3Ш, 4Ш, 12С и 13Ш вклад облучения радоном и его ДПР при нахождении в помещениях ДУ в суммарную дозу облучения за счет ингаляции изотопов радона наибольший (от 55% до 70%). Во всех случаях наименьший вклад в дозу облучения вносит пребывание на открытом воздухе, так как выделяющийся с поверхности грунта радон быстро разбавляется атмосферным воздухом до незначительных уровней.

Дозы облучения населения за счет ПИИИ на протяжении многих лет не характеризуются сильной временной вариабельностью и остаются стабильными. Значительно бóльшую озабоченность и интерес представляют отдельные группы населения, которые получают дозу облучения за счет ПИИИ, в разы превышающую среднероссийское и среднерегиональное значения. Сравнительный анализ показал, что доза облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР в 8С, 3Ш и 4Ш выше средней дозы облучения населения Ленинградской области (1,92 мЗв/год [5]) и населения Российской Федерации в целом (1,99 мЗв/год [5]) в 4 раза, в 12С – в 3 раза, в 13Ш – в 2 раза.

Для учащихся 3Ш доза облучения только за счет одного природного источника – изотопов радона и их ДПР в ДУ – превышает 5 мЗв/год. Проведение радонозащитных мероприятий в 3Ш и снижение значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений до гигиенического норматива (200 Бк/м³) приведет к снижению дозы облучения учащихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ, которая составит в этом случае 4,2 мЗв/год. Однако, учитывая время нахождения воспитанников детских садов в помещениях ДУ (2964 ч/год), при значении ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений детских садов 200 Бк/м³, доза облучения воспитанников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ составит 5,6 мЗв/год, то есть облучение данной когорты населения без учета других ПИИИ уже будет классифицироваться как повышенное в соответствии с

ОСПОРБ 99/2010 даже при соблюдении установленного норматива по содержанию радона в воздухе помещений ДУ (по верхней его границе). Данный факт закономерно ведет к выводу о том, что значение гигиенического норматива среднегодовой ЭРОА изотопов радона для существующих зданий (200 Бк/м^3) не является в достаточной мере обоснованным целевым значением показателя при планировании радонозащитных мероприятий в зданиях ДУ с длительным пребыванием людей.

Вклад остальных ПИИИ в дозу облучения населения в Ленинградской области значительно меньше и составляет в сумме $1,54 \text{ мЗв/год}$ (за счет $^{40}\text{К}$ – $0,17 \text{ мЗв/год}$, космического излучения – $0,335 \text{ мЗв/год}$, внешнего терригенного облучения – $0,81 \text{ мЗв/год}$, ингаляции долгоживущих природных радионуклидов с пылью из атмосферного воздуха – $0,006 \text{ мЗв/год}$, перорального поступления ПРН при потреблении продуктов питания и питьевой воды – $0,150 \text{ мЗв/год}$ и $0,064 \text{ мЗв/год}$ соответственно) [5]. Таким образом, в 8 обследованных ДУ из 13 суммарная доза облучения обучающихся за счет всех ПИИИ на основе результатов измерения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений ДУ экспрессным методом в режиме нормальной эксплуатации здания не превысила 5 мЗв/год , что в соответствии с ОСПОРБ 99/2010 характеризуется как приемлемый уровень природного облучения населения. Повышенные (в интервале от 5 до 10 мЗв/год) дозы облучения за счет всех ПИИИ получают обучающиеся 3Ш, 4Ш, 8С, 12С и 13Ш.

Вклад изотопов радона и их ДПР в индивидуальную годовую эффективную дозу облучения обучающихся 1С за счет всех ПИИИ при использовании результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ, составил 59% ($2,2 \text{ мЗв/год}$), 2С – 60% ($2,3 \text{ мЗв/год}$), 3Ш – 83% ($7,3 \text{ мЗв/год}$), 4Ш – 82% ($6,9 \text{ мЗв/год}$), 8С – 85% ($8,4 \text{ мЗв/год}$), 9С – 64% ($2,7 \text{ мЗв/год}$), 10Ш – 60% ($2,3 \text{ мЗв/год}$), 5С – 42% ($1,1 \text{ мЗв/год}$), 6Ш и 7Ш – 44% ($1,2 \text{ мЗв/год}$), 11С – 56% ($2,0 \text{ мЗв/год}$), 12С – 78% ($5,4 \text{ мЗв/год}$), 13Ш – 74% ($4,4 \text{ мЗв/год}$).

4.2. Гигиеническая оценка радиационного риска для здоровья обучающихся в зависимости от метода контроля содержания радона в воздухе помещений

Согласно действующим нормативно-правовым документам принятие управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности должно быть основано на соотношении риска и выгод (т.н. риск-ориентированный подход контрольно-надзорной деятельности) [86].

Для принятия оптимального решения и снижения уровня радиотревожности населения из-за возможных последствий длительного ингаляционного воздействия изотопов радона, которому могут подвергаться как взрослое, так и детское население при нахождении в помещениях ДУ или других эксплуатируемых общественных зданий, необходима оценка радиационного риска для здоровья обучающихся и их сравнительный анализ.

Значения среднего индивидуального пожизненного риска смерти от индуцированного синергическим влиянием радона и курения [110] рака легкого для обучающихся и сотрудников ДУ, рассчитанные на основе результатов измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным, квазиинтегральным и интегральным методами, представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Уровни среднего индивидуального пожизненного риска смерти от индуцированного синергическим влиянием радона и курения рака легкого для обучающихся и сотрудников ДУ (на основе результатов измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным, квазиинтегральным и интегральным методами)

ДУ	Экспрессный метод		Квази-интегральный метод	Интегральный метод	$R_{I\ 12-h/l}$ norm.	$R_{S/l}$ norm.	$R_{L/l}$ norm.
	12-ч выд.	Н/э					
1С	–	$3,7 \cdot 10^{-4}$	–	$5,6 \cdot 10^{-4}$	–	–	1,5
2С	–	$4,0 \cdot 10^{-4}$	–	$6,1 \cdot 10^{-4}$	–	–	2,1
3Ш	–	$1,2 \cdot 10^{-3}$	–	$1,9 \cdot 10^{-3}$	–	–	1,5
4Ш	–	$1,2 \cdot 10^{-3}$	–	$2,5 \cdot 10^{-3}$	–	–	1,5
8С	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	–	$4,9 \cdot 10^{-3}$	2,4	–	3,5

Продолжение таблицы 4.2

ДУ	Экспрессный метод		Квази-интегральный метод	Интегральный метод	$R_{I\ 12-h/I}$ norm.	$R_{S/I}$ norm.	$R_{L/I}$ norm.
	12-ч выд.	Н/э					
9С	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	–	$8,1 \cdot 10^{-4}$	1,7	–	2,0
10Ш	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	–	$8,7 \cdot 10^{-4}$	2,1	–	2,5
5С	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	–	$2,1 \cdot 10^{-4}$	1,0	–	1,4
6Ш	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	–	$1,8 \cdot 10^{-4}$	1,0	–	1,1
7Ш	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	–	$2,0 \cdot 10^{-4}$	1,0	–	1,1
11С	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	–	$6,3 \cdot 10^{-4}$	1,7	–	2,1
12С	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	2,4	1,4	3,5
13Ш	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	1,5	1,0	1,9

Примечание: 12-ч выд. – экспрессное измерение после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами; н/э – экспрессное измерение в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; $R_{I\ 12-h/I\ norm.}$ – отношение значения среднего риска по результатам экспрессных измерений, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами, к значению среднего риска по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; $R_{S/I\ norm.}$ – отношение значения среднего риска по результатам квазиинтегральных измерений к значению среднего риска по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; $R_{L/I\ norm.}$ – отношение значения среднего риска по результатам интегральных измерений к значению среднего риска по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ.

Традиционно уровни индивидуального пожизненного риска смерти от рака легкого, индуцированного синергическим влиянием радона и курения [110], остаются наиболее значимыми по сравнению с радиационным риском для населения за счет других ИИИ. Так, например, средний индивидуальный пожизненный риск от перорального поступления ПРН при потреблении продуктов питания и питьевой воды и средний риск возникновения стохастических эффектов за счет медицинского облучения на один-два порядка величины ниже и составляют, по нашей оценке, $1,2 \cdot 10^{-5}$ и $1,4 \cdot 10^{-5}$ соответственно, т.е. по 1,2 и 1,4 случая на 100 000 населения или по 12 и 14 случаев на 1 000 000 населения.

Использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным методом, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами, вместо результатов экспрессных измерений, выполненных в часы работы ДУ, приводит к увеличению показателей радиационного риска от 1,5 до 2,4 раз (за исключением 5С, 6Ш и 7Ш), а использование результатов измерения интегральным методом – от 1,1 до 3,5 раз. Однако для интерпретации показателей риска, являющихся вспомогательным инструментом, наиболее значимым является изменение в ранжировании показателя риска (переход с одного уровня на другой).

Результаты оценки риска для здоровья обучающихся показали, что согласно классификации, принятой для оценки уровней риска при воздействии химических веществ и радона (таблица 4.3), облучение обучающихся 1С, 2С, 5С, 6Ш, 7Ш, 9С, 10Ш и 11С радоном и его ДПР (независимо от выбора метода измерения содержания радона в воздухе помещений или подхода к его измерению) является приемлемым для персонала и неприемлемым для населения в целом (III уровень, $10^{-4} < R_i \leq 10^{-3}$), а облучение обучающихся 3Ш, 4Ш и 8С – неприемлемым ни для населения, ни для персонала (IV уровень, $R_i > 10^{-3}$). В данном исследовании наблюдается изменение в ранжировании показателя риска для обучающихся 12С и 13Ш с III уровня на IV при использовании в расчетах результатов экспрессных измерений содержания радона в воздухе помещений, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами, результатов интегральных измерений или результатов квазиинтегральных измерений (в 12С), вместо результатов экспрессных измерений содержания радона в воздухе помещений, выполненных в рабочее время, что в корне меняет стратегию разработки и проведения оздоровительных мероприятий по снижению риска.

Таблица 4.3 – Классификации уровней риска

Номер уровня, диапазон значений индивидуального пожизненного риска R_i		
Р 2.1.10.1920-04 [118], монография [116]	Описание [116]	МР 2.6.1.0215-20 [99]
I $R_i \leq 10^{-6}$	Уровень De minimis, который воспринимается населением как пренебрежимо малый, не отличающийся от уровня обычных, повседневных рисков. На этом уровне риски подлежат только периодическому контролю, и не требуется никаких специальных мероприятий по их снижению	I. Пренебрежимо малый $R_i < 10^{-6}$
II $10^{-6} < R_i \leq 10^{-4}$	Предельно допустимый риск, верхняя граница приемлемого риска для населения в целом. На этом уровне риски подлежат постоянному контролю, а в некоторых случаях могут проводиться специальные мероприятия по их снижению	II. Минимальный $10^{-6} < R_i \leq 10^{-5}$ III. Очень низкий $10^{-5} < R_i \leq 10^{-4}$
III $10^{-4} < R_i \leq 10^{-3}$	Уровень приемлем для персонала и неприемлем для населения в целом. Требуется разработка и проведение плановых оздоровительных мероприятий. Планирование мероприятий по снижению рисков в этом случае должно основываться на результатах более углубленной оценки различных аспектов существующих проблем и установлении степени их приоритетности по отношению к другим гигиеническим, экологическим, социальным и экономическим проблемам на данной территории	IV. Низкий $10^{-4} < R_i \leq 10^{-3}$
IV $R_i > 10^{-3}$	Уровень De manifestis, неприемлемый ни для населения, ни для персонала. Необходимы рекомендации для лиц, принимающих решения о проведении экстренных оздоровительных мероприятий по снижению риска	V. Умеренный $10^{-3} < R_i \leq 3 \cdot 10^{-3}$

Результаты расчета ИОР, который для многофакторной модели зависит от достигнутого возраста t , представлены в приложении В. На рисунке 4.2 видно, что при расчетах с использованием многофакторной модели разница в экспозиции радоном и его ДПР, получаемой за время обучения в 12С и 13Ш по двум вариантам сценария облучения (с проветриванием и без проветривания помещений ДУ в часы работы образовательных организаций), оказывает существенное влияние на величину ИОР.

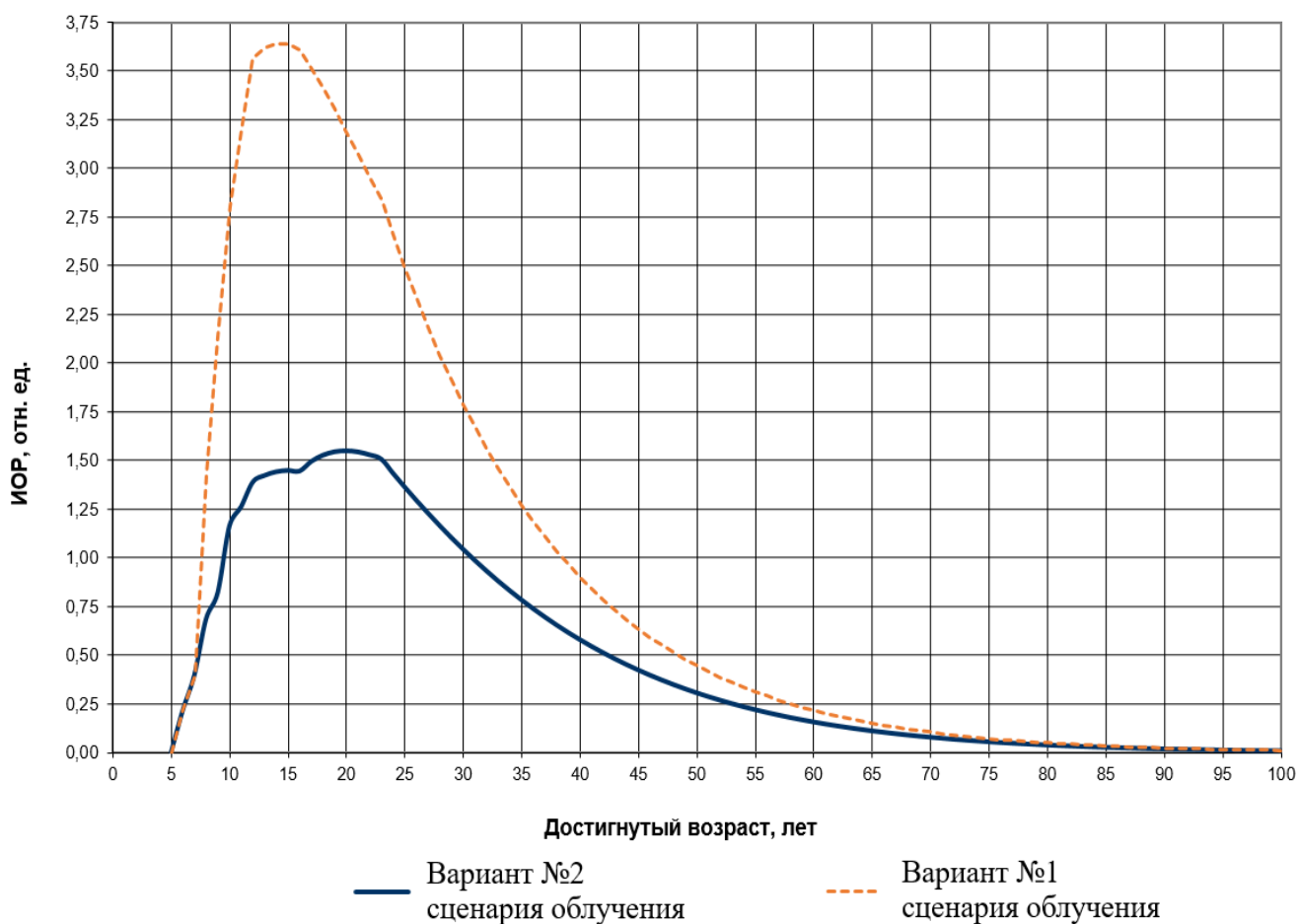


Рисунок 4.2 – График зависимости значения избыточного относительного риска (ИОР) от достигнутого возраста

Для Гатчинского района Ленинградской области, в котором были выявлены высокие уровни содержания радона в 12С и 13Ш, расчетная доля смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого от общего числа смертельных случаев рака легкого при синергическом влиянии радона и курения по многофакторной модели для варианта № 1 сценария облучения (без

проветривания, т.е. после 12-часовой ночной выдержки помещений ДУ с закрытыми дверьми и окнами согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11) составляет 14,1% (11 случаев, из которых 10 в когорте курильщиков), а для варианта № 2 сценария облучения (с проветриваниями, т.е. в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ) – 11,5% (9 случаев, из которых 8 в когорте курильщиков). В данном случае продемонстрировано, что соблюдение санитарного законодательства в части требований по проведению проветриваний в часы эксплуатации зданий ДУ уменьшает на 18,2% число радон-индуцированных случаев рака легкого. Таким образом, корректная оценка показателей радиационного риска должна проводиться только методами измерений содержания радона в воздухе помещений, позволяющими получить исключительно результаты измерений в рабочее время в режиме нормальной (повседневной) эксплуатации при штатном режиме работы механической системы вентиляции и/или кондиционирования (при ее наличии), соблюдении кратности и времени проветривания, предписанных санитарными правилами или иными нормативными правовыми актами.

Выводы к главе 4:

1. При использовании результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений, выполненных в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий, как наиболее соответствующем реальному сценарию облучения, эффективные дозы внутреннего облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях обследованных ДУ составили от 0,1 до 5,1 мЗв/год.

2. Вклад изотопов радона и их ДПР в индивидуальную годовую эффективную дозу облучения обучающихся за счет всех ПИИИ при использовании результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ, составил от 42% до 85% для разных ДУ.

3. Использование в расчетах результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе, выполненных при соблюдении требований п. 6.5 МУ

2.6.1.2838-11, вместо результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона, выполненных в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации ДУ, приводит к завышению доз облучения обучающихся за счет нахождения в здании ДУ от 2 до 7 раз, а использование результатов интегральных измерений ОА радона – от 2 до 10 раз с переходом в некоторых случаях от приемлемого уровня облучения к повышенному (свыше 5 до 10 мЗв/год) или даже высокому (более 10 мЗв/год).

4. Значение гигиенического норматива среднегодовой ЭРОА изотопов радона для существующих зданий (200 Бк/м^3) не является в достаточной мере обоснованным целевым значением показателя при планировании радонозащитных мероприятий в зданиях детских садов, учитывая продолжительность нахождения воспитанников и сотрудников в помещениях ДУ (2964 ч/год).

5. При использовании результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений, выполненных в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий, как наиболее соответствующем реальному сценарию облучения, значения среднего индивидуального пожизненного риска смерти от индуцированного синергическим влиянием радона и курения рака легкого для обучающихся и сотрудников составили от $1,6 \cdot 10^{-4}$ до $1,4 \cdot 10^{-3}$.

6. Использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий экспрессным методом, выполненных при соблюдении требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11, или результатов интегральных измерений вместо результатов многократных экспрессных измерений, выполненных в часы работы эксплуатируемых общественных зданий, приводит к увеличению показателей радиационного риска до 2,4 раз и до 3,5 раз соответственно.

7. В некоторых случаях использование результатов иных методов или подходов к измерению содержания радона вместо результатов, полученных экспрессным методом в часы работы ДУ, сопровождается изменением в ранжировании показателя риска (переходу с одного уровня на другой), что в

корне меняет стратегию разработки и проведения оздоровительных мероприятий по снижению риска.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
(МЕТОДИКА РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В
ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ
ЗДАНИЙ С НЕКРУГЛОСУТОЧНЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ)

Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека:

1. Информировать население об уровнях радиационного риска для здоровья обучающихся при длительном ингаляционном воздействии радона и его короткоживущих ДПР.

2. В рамках проведения Федерального государственного санитарно-эпидемиологического контроля (надзора) включать в поручение о проведении экспертизы, обследования, испытания в отношении ДУ измерения содержания радона в воздухе помещений первого этажа с длительным пребыванием обучающихся (особенно в зданиях старой постройки, в которых ранее никогда не проводился радиационный контроль).

3. При выявлении высоких уровней содержания радона в воздухе помещений в часы работы ДУ выдавать предписание о проведении дополнительных санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий, а именно об усилении режима проветривания с обязательным сквозным проветриванием всех задействованных в образовательном процессе помещений в утренние часы¹ (после длительного закрытия здания ДУ) в отсутствие обучающихся в течение примерно 10 минут² (срок: до проведения радонозащитных мероприятий в рамках проведения реконструкции, реставрации или капитального ремонта здания ДУ в соответствии с документами по стандартизации, включая свод правил СП 321.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования противорадоновой защиты»).

¹ На сегодняшний день требование о сквозном проветривании помещений до начала учебных занятий в образовательных учреждениях отсутствует в санитарном законодательстве РФ.

² Продолжительность сквозного проветривания определяется погодными условиями, эффективностью работы системы отопления, направлением и скоростью ветра.

Испытательным лабораториям, проводящим радиационный контроль общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей (менее 19 ч в сутки на основании принятого значения доли времени, проводимой населением в помещениях, равного 0,8 [132]):

1. Проводить измерения содержания радона в воздухе эксплуатируемых ДУ во всех помещениях первого и цокольного (при наличии) этажа с длительным пребыванием людей, на остальных этажах – выборочно, исходя из цели проведения радиационного контроля, на высоте 1–2 м от пола не ближе 0,5 м от стен помещения. При площади обследуемого помещения более 100 м² увеличить количество измерений из расчета одно измерение на каждые 100 м².

2. Не проводить измерения ЭРОА изотопов радона в воздухе экспрессным методом при открытых окнах, форточках, фрамугах, а также менее чем через полчаса после окончания проветривания.

3. Учитывая временную вариабельность содержания радона в воздухе, а также разнообразие климатических условий в субъектах РФ, оценку соответствия помещений ДУ требованиям санитарных правил и нормативов по среднегодовому значению ЭРОА изотопов радона в воздухе проводить на основании двух измерений (в холодный и теплый периоды года) с дальнейшим усреднением результатов за исключением случаев, указанных в пп. 4, 7.

Среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений в холодный и теплый периоды года рассчитывать как средневзвешенное по продолжительности этих периодов по формуле (16):

$$\bar{C}_{сг} = \frac{C_{хп} \cdot T_{хп} + C_{тп} \cdot T_{тп}}{365}, \text{ Бк/м}^3, \quad (16)$$

где: $C_{хп}$ и $C_{тп}$, Бк/м³ – ЭРОА изотопов радона в холодный и теплый периоды года соответственно;

$T_{ХП}$ и $T_{ТП}$, сут. – продолжительность холодного и теплого периодов года соответственно³, при этом сумма продолжительностей этих периодов равна 365 сут.

Для результата расчета $\bar{C}_{сг}$ по формуле (16) суммарную неопределенность $U(\bar{C}_{сг})$ рассчитывать по формуле (17):

$$U(\bar{C}_{сг}) = \frac{\sqrt{(U(C_{ХП}) \cdot T_{ХП})^2 + (U(C_{ТП}) \cdot T_{ТП})^2}}{365}, \text{ Бк/м}^3 \quad (17)$$

где: $U(C_{ХП})$ и $U(C_{ТП})$, Бк/м³ – суммарные неопределенности значений ЭРОА изотопов радона в холодный и теплый периоды года соответственно.

Помещения общественных зданий признавать соответствующими требованиям санитарных правил и нормативов по среднегодовому значению ЭРОА изотопов радона, если для них выполняется соотношение (18):

$$\bar{C}_{сг} + U(\bar{C}_{сг}) \leq 200 \text{ Бк/м}^3 \quad (18)$$

В противном случае помещения признавать несоответствующими требованиям санитарных правил и нормативов по среднегодовому значению ЭРОА изотопов радона в воздухе.

4. В случае проведения контроля ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений в рамках мероприятий, срок проведения которых законодательно ограничен⁴, измерения ЭРОА изотопов радона и ОА радона для определения среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений проводить однократно в любой период года. Результаты измерений принимать за $\bar{C}_{сг}$.

³ Продолжительность холодного периода года в субъектах Российской Федерации определена пунктом 3.1 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99», утвержденного приказом Минрегиона России от 30.06.2012 № 275 (в случае проведения измерений в населенном пункте, для которого не указана продолжительность холодного периода года, используется соответствующее значение для наиболее близко расположенного населенного пункта).

⁴ Федеральный закон от 31.07.2020 № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации»; часть 1 статьи 12 Федерального закона от 02.05.2006 № 59-ФЗ «О порядке рассмотрения обращений граждан Российской Федерации».

При использовании непрерывного метода проводить измерение ЭРОА торона с помощью экспрессного метода в начале и конце пробоотбора, среднее значение результатов двух измерений использовать при расчете нормируемого показателя – ЭРОА изотопов радона по формуле (19):

$$C = C_{Rn} + 4,6 \cdot C_{Tn}, \text{ Бк/м}^3, \quad (19)$$

где: C_{Rn} и C_{Tn} , Бк/м³ – ЭРОА радона и торона в воздухе помещений соответственно.

5. Определять ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений ДУ по результатам 3 измерений экспрессным методом, проведенных равномерно в течение рабочего дня (в школе, например, на первом, третьем и пятом уроке; в детском саду – утром после прихода воспитанников, после прогулки, после дневного сна), или непрерывным методом с помощью мониторов радона (с продолжительностью пробоотбора не менее 3 суток, приходящихся на рабочие дни; при этом для расчета средней ОА радона использовать только результаты, полученные в рабочее время), проведенных в рабочие дни и время в режиме нормальной (повседневной) эксплуатации здания ДУ при штатном режиме работы механической системы вентиляции и/или кондиционирования (при ее наличии), соблюдении кратности и времени проветривания, предписанных санитарными правилами или иными нормативными правовыми актами.

6. Если по результатам измерений экспрессным методом в помещениях общественных зданий не выполняется соотношение (18), то проводить повторные измерения экспрессным методом (не менее 9 измерений, проведенных в течение 3 рабочих дней в разное рабочее время с последующим усреднением полученных результатов; в помещениях детских образовательных организаций как минимум одно из измерений проводится непосредственно перед проветриванием) или непрерывным методом (с продолжительностью пробоотбора не менее 3 суток, приходящихся на рабочие дни; при этом для расчета средней ОА радона используются только результаты, полученные в рабочее время).

7. Использовать результаты измерений ОА радона интегральным методом (с продолжительностью пробоотбора не менее 30 суток) только в

качестве предварительной оценки содержания радона в воздухе помещений ДУ в рамках первичного (скринингового) обследования зданий ДУ в холодный период года. Если по результатам скринингового обследования здания ДУ расчетное значение ЭРОА радона (при использовании коэффициента равновесия $F_{Rn}=0,5$) не превышает во всех обследованных эксплуатируемых помещениях установленный гигиенический норматив, то здание ДУ признается соответствующим требованиям санитарных правил и нормативов по среднегодовому значению ЭРОА изотопов радона в воздухе (надежность такой оценки гарантируется консервативностью результатов, получаемых этим методом).

8. Если по результатам скринингового обследования здания ДУ расчетное значение ЭРОА радона превышает в отдельных помещениях установленный гигиенический норматив, то проводить дополнительное обследование здания ДУ с использованием других методов измерений, позволяющих получить исключительно результаты измерений в рабочее время в режиме нормальной (повседневной) эксплуатации при штатном режиме работы механической системы вентиляции и/или кондиционирования (при ее наличии), соблюдении кратности и времени проветривания, предписанных санитарными правилами или иными нормативными правовыми актами. ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений определять по результатам измерений экспрессным методом (не менее 9 измерений, проведенных в течение 3 рабочих дней в разное рабочее время с последующим усреднением полученных результатов; при этом как минимум одно из измерений проводить непосредственно перед проветриванием) или непрерывным методом (с продолжительностью пробоотбора не менее 3 суток, приходящихся на рабочие дни; при этом для расчета средней ОА радона использовать только результаты, полученные в рабочее время). Оценку соответствия помещений требованиям санитарных правил и нормативов по среднегодовому значению ЭРОА изотопов радона в воздухе проводить согласно п. 3.

9. При несоответствии помещений эксплуатируемых ДУ требованиям санитарных правил и нормативов по среднегодовому значению ЭРОА изотопов

радона в воздухе в отношении них применять требования п. 4.2.7 СанПиН 2.6.1.2800-10 с последующим повторным контрольным обследованием в соответствии с вышеуказанным алгоритмом.

Организациям высшего медицинского образования и дополнительного профессионального образования:

1. Формировать у студентов, врачей-ординаторов, слушателей навыки организации санитарно-эпидемиологического надзора в области радиационной гигиены, в том числе по вопросам контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей (школ, детских садов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изотопы радона и их ДПР являются основной причиной развития рака легкого у некурящих людей [42, 55, 102, 114, 116, 142, 146, 251, 274]. В условиях нормальной жизнедеятельности вклад изотопов радона и их ДПР в структуру годовых коллективных эффективных доз облучения населения России и зарубежных стран наибольший [3, 5, 110, 274].

Системный анализ научных работ, а также результаты собственных исследований подтвердили необходимость оптимизации радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей.

Отсутствие с 2011 года методического обеспечения радиационного контроля эксплуатируемых общественных зданий серьезно затрудняло организацию и проведение обследований таких зданий, снижало качество и достоверность получаемой информации как о реальных уровнях содержания радона в воздухе помещений, так и о дозах облучения и радиационном риске для здоровья обучающихся, что только усложняло выполнение требований санитарного законодательства РФ для специалистов органов и учреждений Роспотребнадзора и иных организаций, проводящих радиационный контроль эксплуатируемых зданий. Учитывая актуальность проблемы в масштабах страны (значительное увеличение за последнее десятилетие в различных субъектах РФ количества закрытых эксплуатируемых общественных зданий из-за якобы повышенного содержания радона в воздухе помещений [7–15, 22, 32, 34, 44, 59, 69, 71, 72 103–105, 108, 121, 125–126, 129, 131], а также наличие зданий старой постройки, в которых ранее никогда не проводилось радиационное обследование, а также зданий, введенных в эксплуатацию после внесения в 2006 г. изменений в Градостроительный кодекс РФ, согласно которым органы Роспотребнадзора не принимают участие в государственной приемке объектов законченного строительства), нельзя не признать, что научно обоснованная методика радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений

эксплуатируемых общественных зданий является необходимым инструментом для обеспечения радиационной безопасности населения РФ.

При обеспечении радиационной безопасности населения РФ необходимо также учитывать не только дозовый критерий принятия решений или радиационный риск для здоровья населения, но и возможные негативные социальные последствия, не связанные с облучением населения (радиотревожность на фоне внезапного закрытия ранее функционировавших десятилетиями общественных зданий из-за радона), что также было отмечено в работах других авторов [1, 43, 106]. В публикациях о закрытии ДУ вряд ли будет упоминаться описанная в диссертационной работе временная (суточная, недельная) вариабельность содержания радона в воздухе помещений ДУ, а также особенности методов его измерения. В других исследованиях также сообщалось о высокой изменчивости содержания радона в воздухе помещений в течение суток [133, 137, 237–238, 245, 268], недели [237] и сезона [78, 136, 161, 249, 256].

В результате проведения исследования были выявлены отдельные группы населения, получающие дозу облучения за счет ингаляции изотопов радона в их ДПР в разы превышающую среднероссийское и среднерегionalное значения. Другими авторами также были отмечены повышенные уровни содержания радона в воздухе помещений ДУ в Ленинградской области, Иркутской области, Кемеровской области, Новгородской области, Челябинской области, Республике Саха (Якутия), Ставропольском крае и других субъектах РФ [45–46, 49, 65, 123]. В работе подтверждена гипотеза о соответствии полученных результатов измерений содержания радона в воздухе помещений логнормальному распределению для всех обследованных ДУ. В ряде других работ также было показано, что ОА радона в воздухе помещений подчиняется логнормальному закону [149, 156, 169, 176, 203, 240].

Методические указания МУ 2.6.1.2838-11, разработанные более 10 лет назад, не были предназначены для обследования эксплуатируемых общественных зданий, в том числе ДУ, и подразумевали применение жесткого (консервативного) подхода к проведению радиационного контроля содержания радона в воздухе

помещений, не учитывающего фактическое время пребывания людей в таких зданиях. За прошедшее десятилетие опыт практического применения данного документа показал острую необходимость его переработки с расширением области применения или создания нового документа, регламентирующего порядок проведения радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых зданий для объективной оценки доз облучения и радиационного риска для здоровья населения. Необходимо подчеркнуть, что критерием принятия решения о несоответствии помещений ДУ установленному нормативу должно быть не просто среднегодовое содержание радона в воздухе помещений, а среднее его содержание именно в те периоды времени, когда обучающиеся и сотрудники находятся в здании ДУ. О недопустимости проведения радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений ДУ, например, во время летних каникул для оценки эффективных доз облучения обучающихся также обращают внимание некоторые специалисты из разных стран [173, 198, 203, 218].

В работе доказано, что использование в расчетах результатов экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе, выполненных при соблюдении требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11, или результатов интегральных измерений ОА радона вместо результатов экспрессных измерений ЭРОА радона, выполненных в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации ДУ, приводит к завышению доз облучения и радиационного риска для здоровья обучающихся.

Настоящим исследованием было установлено, что более корректной является оценка содержания радона в воздухе помещений ДУ при использовании мониторов радона, а при их отсутствии – по результатам многократных экспрессных измерений ЭРОА радона, проведенных спустя 30 минут после проветривания в течение нескольких рабочих дней, а не по результатам единичного измерения в случайный момент времени.

Предложенная нами методика радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий (школ, детских садов) достаточно простая, позволяет провести массовые скрининговые

обследования труднодоступных зданий и основана на рекомендациях международных организаций, результатах анализа научной литературы, а также стандартизованных протоколов проведения обследований ДУ на содержание радона в воздухе помещений некоторых зарубежных стран, являющихся государствами-членами МАГАТЭ, а самое главное учитывает имеющийся парк СИ в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» в субъектах РФ.

Внедрение результатов диссертационного исследования путем утверждения на федеральном уровне 01.12.2023 методических рекомендаций МР 2.6.1.0333-23 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений по показателям радиационной безопасности» позволило исключить практику необоснованного применения непредназначенной для эксплуатируемых зданий методики радиационного контроля содержания радона в воздухе, описанной в МУ 2.6.1.2838-11, унифицировать подход к обследованию и оценке результатов измерений в эксплуатируемых общественных зданиях, повысить охват и снизить трудозатраты на проведение обследований таких зданий, минимизировать применение избыточных санкций со стороны надзорных органов (закрытие отдельных помещений, этажей или всего здания целиком), а самое главное, позволило получать среднее значение содержания радона в воздухе помещений с учетом фактического времени пребывания людей в эксплуатируемых зданиях общественного назначения.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что медианные значения уровней эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий, полученные различными методами, составили: для экспрессных измерений, выполненных на протяжении нескольких рабочих дней в рабочее время в присутствии обучающихся и сотрудников – от 9 до 243 Бк/м³; экспрессных измерений, проведенных при соблюдении требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 – от 52 до 481 Бк/м³; интегральных измерений (круглосуточных) – от 50 до 815 Бк/м³; квазиинтегральных измерений (круглосуточных) – от 108 до 203 Бк/м³. Во всех обследованных помещениях результаты экспрессных измерений ЭРОА торона не превысили 0,5 Бк/м³.

2. Результаты экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий, выполненных на протяжении нескольких рабочих дней в рабочее время в присутствии обучающихся и сотрудников, являются статистически значимо более низкими (в 2–10 раз) по сравнению с результатами экспрессных измерений, проведенных при соблюдении требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11, а также результатами интегральных и квазиинтегральных измерений.

3. Максимальные эффективные дозы внутреннего облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их короткоживущих ДПР при использовании результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений, выполненных в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий, как наиболее соответствующем реальному сценарию облучения, составили 5,1 мЗв/год; при использовании результатов экспрессных измерений, проведенных при соблюдении требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 – 13,5 мЗв/год; при использовании результатов квазиинтегральных измерений – 5,8 мЗв/год; при использовании результатов интегральных измерений – 22,9 мЗв/год.

4. Использование в расчетах результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе, проведенных при соблюдении требований п. 6.5 МУ

2.6.1.2838-11, а также результатов квазиинтегральных и интегральных измерений вместо результатов экспрессных измерений, выполненных в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий, приводит к завышению доз облучения обучающихся в 2–10 раз с переходом в некоторых случаях от приемлемого уровня облучения к повышенному или даже высокому, что требует проведение радонозащитных мероприятий.

5. Максимальные значения радиационного риска для здоровья обучающихся при ингаляционном воздействии радона и его ДПР при использовании результатов экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений, выполненных в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий, составили $1,4 \cdot 10^{-3}$; при использовании результатов экспрессных измерений, проведенных при соблюдении требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 – $3,3 \cdot 10^{-3}$; при использовании результатов квазиинтегральных измерений – $1,2 \cdot 10^{-3}$; при использовании результатов интегральных измерений – $4,9 \cdot 10^{-3}$.

6. Использование в расчетах результатов измерений содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий экспрессным методом, проведенных при соблюдении требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11, а также результатов квазиинтегральных и интегральных измерений вместо результатов многократных экспрессных измерений, выполненных в часы работы эксплуатируемых общественных зданий, приводит к увеличению показателей радиационного риска до 3,5 раз, и иногда сопровождается изменением в ранжировании показателя риска (переходом с III уровня риска на IV).

7. Оптимизированная методика радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием, включающая проведение многократных измерений с помощью непрерывного, экспрессного метода или интегральных измерений (в рамках скринингового обследования), позволяет получить среднее значение содержания радона в воздухе помещений с учетом фактического времени пребывания людей в зданиях и/или повысить охват радиационными обследованиями зданий ДУ во многих субъектах РФ.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Полученные результаты диссертационного исследования могут служить основанием для проведения работ по уточнению коэффициента радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей (школ, детских садов) путем выполнения широкомасштабных синхронных многократных измерений ОА и ЭРОА радона в воздухе помещений в часы работы ДУ.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

В диссертации применяют следующие сокращения и условные обозначения:

ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ДПР	дочерние продукты распада
ДУ	детские учреждения
ЕСКИД	Единая государственная система контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан
ИИИ	источники ионизирующего излучения
ИОР	избыточный относительный риск
ИТРР	интегральный трековый радиометр радона
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
МАИР	Международное агентство по изучению рака
МАЭД	мощность амбиентного эквивалента дозы
МБДОУ	муниципальное бюджетное дошкольное образовательное учреждение
МБОУ	муниципальное бюджетное образовательное учреждение
МДОУ	муниципальное дошкольное образовательное учреждение
МКБ-10	Международная классификация болезней 10-го пересмотра
МКРЗ	Международная комиссия по радиологической защите
МОУ	муниципальное образовательное учреждение
НГДИ	нижняя граница диапазона измерений
НКДАР ООН	Научный комитет по действию атомной радиации при Организации Объединенных Наций
НРБ-99/2009	Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)»
ОА	объемная активность
ООШ	основная общеобразовательная школа

ОСПОРБ 99/2010	Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)»
ПИИИ	природные источники ионизирующего излучения
ПО	программное обеспечение
ППР	плотность потока радона
ПРН	природные радионуклиды
РГПТ	радиационно-гигиеническая паспортизация территорий
РУ	рабочий уровень
РУМ	рабочий уровень за месяц
СИ	средство измерений
СМИ	средства массовой информации
СОШ	средняя общеобразовательная школа
ТТД	твердотельный трековый детектор
УА	удельная активность
ФБДОПИ	Федеральный банк данных доз облучения граждан Российской Федерации за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона
ФБУЗ	Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения
ЭРОА	эквивалентная равновесная объемная активность
ЮНЕСКО	Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Изотопы радона: радионуклиды ^{222}Rn (радон) и ^{220}Rn (Тн, торон) природных семейств ^{238}U и ^{232}Th соответственно.

Коэффициент равновесия F: коэффициент, характеризующий сдвиг радиоактивного равновесия между изотопом радона и его короткоживущими дочерними продуктами распада в воздухе, равный отношению эквивалентной равновесной объемной активности к объемной активности. В состоянии радиоактивного равновесия равен единице.

Объемная активность радона (торона): активность радона (торона) в одном кубическом метре воздуха. Единица измерения – Бк/м³.

Плотность потока радона с поверхности грунта: активность радона, проходящего через единицу площади поверхности грунта в единицу времени. Единица измерения – Бк/(м²·с).

Потенциальная радоноопасность территории: состояние территории, обусловленное сочетанием геологических, геодинамических, гидрогеологических условий, геофизических, радиационно-физических характеристик грунтов, способствующим интенсивному выделению (эксхалляции) радона из грунтов, при котором содержание радона в воздухе помещений зданий, расположенных на данной территории и никак технически не защищенных от поступления радона из грунта, может превышать установленные гигиенические нормативы.

Рабочий уровень (РУ): величина используется для определения объемной активности дочерних продуктов распада (ДПР) радона в воздухе. 1 РУ – это такое содержание любых короткоживущих ДПР радона в 1 м³ воздуха, которое обеспечивает выделение скрытой энергии альфа-излучения, равной $1,3 \cdot 10^8$ МэВ. Для перевода величины эквивалентной равновесной объемной активности радона из системных единиц Бк/м³ во внесистемные РУ используется следующее соотношение: $1 \text{ РУ} = 3750 \text{ Бк/м}^3$.

Рабочий уровень за месяц (РУМ): величина используется для определения экспозиции ДПР радона. 1 РУМ – это экспозиция, получаемая при дыхании в

атмосфере с объемной активностью ДПР радона равной 1 РУ в течение условного рабочего месяца продолжительностью 170 часов.

Радиационный риск: вероятность возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта в результате облучения.

Риск пожизненный: вероятность наступления негативных последствий для здоровья человека в течение всей предстоящей жизни в результате облучения.

Риск относительный: отношение частоты появления конкретного стохастического эффекта, наблюдаемого в группе, подвергающейся облучению, к частоте появления этого эффекта у необлученной контрольной группы.

Риск избыточный: разница между частотой появления конкретного стохастического эффекта, наблюдаемого в группе, подвергающейся облучению, и частотой появления этого эффекта у необлученной контрольной группы.

Риск избыточный относительный: отношение избыточного риска конкретного стохастического эффекта к вероятности появления того же самого эффекта у необлученной группы, т.е. относительный риск минус единица.

Эквивалентная равновесная объемная активность радона (торона): взвешенная сумма объемных активностей короткоживущих дочерних продуктов распада радона (торона) в неравновесной смеси, равная объемной активности радона (торона) в состоянии равновесия с его дочерними продуктами распада, при которой суммарная энергия альфа-излучения, выделяемая при распаде всех дочерних продуктов (скрытая энергия), имеет такую же величину, как и для данной неравновесной смеси. Единица измерения – Бк/м³.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авария на АЭС «Фукусима-1»: радиологические последствия и уроки / под ред. акад. РАН Г. Г. Онищенко и проф. А. Ю. Поповой. – СПб. : ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2021. – 388 с. : ил. – 500 экз. – ISBN 978-5-6042964-8-6.
2. Ахматьянова, В. Р. Индуцированные радоном хромосомные aberrации в лимфоцитах крови у детей в связи с полиморфизмом генов ферментов биотрансформации ксенобиотиков / В. Р. Ахматьянова, В. И. Минина, В. Г. Дружинин [и др.] // Медицина в Кузбассе. – 2012. – Т. 11, № 2. – С. 45–49.
3. Барковский, А. Н. Итоги функционирования Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2019 г. / А. Н. Барковский, Р. Р. Ахматдинов, Р. Р. Ахматдинов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 110–119.
4. Барковский, А. Н. Оптимизация радиационного мониторинга, проводимого в субъектах Российской Федерации в рамках радиационно-гигиенической паспортизации / А. Н. Барковский, Н. К. Барышков, К. А. Сапрыкин, Н. В. Титов // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 1. – С. 36–48.
5. Барковский, А. Н. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации в 2021 году: справочник / А. Н. Барковский, Руслан Р. Ахматдинов, Рустам Р. Ахматдинов [и др.]. – СПб: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2022. – 72 с. – URL: http://www.niirg.ru/PDF/inf_sbor/2021.pdf (дата обращения: 23.06.2023).
6. Бердников, П. В. Изучение радоноопасности территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области / П. В. Бердников, А. В. Горький // АНРИ. – 2008. – № 2 (53). – С. 56–59.
7. В 13 школах Якутии превышен уровень радиации // Сетевое изд. SAKHALIFE.RU : официальный сайт. – URL: <https://sakhallife.ru/v-13-shkolah-yakutii-prevyshen-uroven-radiaczii/> (дата обращения: 17.02.2022).
8. В алтайской школе закрыли спортзал из-за превышения уровня радона // Сетевое изд. РИА Новости : официальный сайт. – URL: <https://ria.ru/20191107/1560660296.html> (дата обращения: 17.02.2022).
9. В Кемерове из-за превышения радона в воздухе приостановили деятельность детского сада // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25004892> (дата обращения: 17.02.2022).

10. В Кемерове из-за превышения радона в воздухе частично приостановили деятельность детского сада // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25583878> (дата обращения: 17.02.2022).
11. В Кемеровском районе приостановлена деятельность второго объекта из-за превышения уровня радиации // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document24744762> (дата обращения: 17.02.2022).
12. В Кузбассе судебные приставы приостановили деятельность еще одного объекта из-за превышенного уровня радиации // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25304491> (дата обращения: 17.02.2022).
13. В Кузбасской школе обнаружено превышение радона и торона // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25452808> (дата обращения: 17.02.2022).
14. В поселке Белогорск из-за превышения радона в воздухе приостановили деятельность детского сада // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25925602> (дата обращения: 17.02.2022).
15. В Приморье закрыли две группы детсада из-за превышения содержания радона // Сетевое изд. РИА Новости : официальный сайт. – URL: <https://ria.ru/20180411/1518355125.html> (дата обращения: 17.02.2022).
16. Васильев, А. В. Радоновая безопасность современных многоэтажных зданий различных классов энергетической эффективности / А. В. Васильев, И. В. Ярмошенко, М. В. Жуковский // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 80–84.
17. Васильев, А. С. К вопросу о методике радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий / А. С. Васильев, Т. А. Кормановская, Д. В. Кононенко, И. К. Романович // Радиационно-гигиенические последствия и уроки аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1»: Материалы Международной научно-практической конференции. – СПб., 2021. – С. 33–36.
18. Васильев, А. С. О необходимости изменения подхода к нормированию содержания радона в воздухе помещений детских учреждений / А. С. Васильев, Т. А. Кормановская, Д. В. Кононенко, О. А. Историк // Актуальные вопросы радиационной гигиены: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2023. – С. 71–76.

19. Васильев, А. С. Оценка коэффициента равновесия между радоном и его короткоживущими дочерними продуктами распада в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий / А. С. Васильев, И. К. Романович, Т. А. Кормановская, Д. В. Кононенко // Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора. – Екатеринбург, 2021. – С. 119–121.
20. Васильев, А. С. Обоснование методических подходов к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых зданий с некруглосуточным пребыванием людей / А. С. Васильев, И. К. Романович, Д. В. Кононенко [и др.] // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14, № 3. – С. 29–40.
21. Васильев, А. С. Сравнительная оценка доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников некоторых детских учреждений Ленинградской области в зависимости от методов и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений / А. С. Васильев, И. К. Романович, Т. А. Кормановская [и др.] // Радиационная гигиена. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 6–18.
22. Воронов, К. В кинотеатре зафиксировали повышенный уровень радиации / К. Воронов // Сетевое изд. Коммерсантъ : официальный сайт. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3281599> (дата обращения: 17.02.2022).
23. Выговская, С. Н. Природный радон для профилактики и лечения хронической недостаточности мозгового кровообращения в вертебрально-базилярной системе при цервикальной дорсопатии / С. Н. Выговская, А. В. Дубовской // Вестник восстановительной медицины. – 2020. – № 1 (95). – С. 27–30.
24. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ : официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/400274954/> (дата обращения: 03.04.2023).
25. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2800-10. – М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 40 с.
26. Горбанев, С. А. Основные направления взаимодействия Управления Роспотребнадзора по Ленинградской области и Правительства Ленинградской области по обеспечению радиационной безопасности

- населения / С. А. Горбанев, Л. А. Еремина, Н. Н. Курганов // Радиационная гигиена. – 2008. – Т 1, № 1. – С. 41–46.
27. Горбаткова, Е. Ю. Гигиеническая оценка условий обучения (на примере высших учебных заведений Уфы) / Е. Ю. Горбаткова // Гигиена и санитария. – 2020. – № 99 (4). – С. 405–411.
28. Гулабянц, Л. А. Противорадиационная защита жилых и общественных зданий: монография / Л. А. Гулабянц, А. В. Калайдо; под ред. И. Л. Шубина. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 236 с. – ISBN 978-5-4499-1619-8.
29. Гусаров, И. И. Радонотерапия / И. И. Гусаров. – М. : Медицина, 2000. – 200 с. – 1500 экз. – ISBN 5-225-04200-7.
30. Давыдов, А. А. Изучение общественного мнения о малоизвестном факторе риска: международное сравнительное исследование восприятия риска радона / А. А. Давыдов, А. М. Библин, Д. В. Кононенко // Социология и общество: традиции и инновации в социальном развитии регионов: Сборник докладов VI Всероссийского социологического конгресса. – М: РОС; ФНИСЦ РАН, 2020. – С. 1499–1506.
31. Давыдов, А. А. Проблемы риск-коммуникации по вопросу облучения радоном: результаты всероссийского социологического исследования / А. А. Давыдов, А. М. Библин, Д. В. Кононенко // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 3. – С. 29–41.
32. Деятельность еще одного учреждения приостановлена из-за превышения уровня радона // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document26341181> (дата обращения: 17.02.2022).
33. Дружинин, В. Г. Чувствительность генома и особенности проявления генотоксических эффектов у детей-подростков, подвергающихся воздействию радона в учебных и жилых помещениях школы-интерната / В. Г. Дружинин, В. Р. Ахматьянова, Т. А. Головина [и др.] // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2009. – Т. 49, № 5. – С. 568–573.
34. Еще в одном Кемеровском детсаду обнаружили превышение радона. Судебные приставы уже опечатали комнаты // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25022615> (дата обращения: 17.02.2022).
35. Жуковский, М. В. Прогностическая оценка риска рака легкого при сочетанном действии радона и курения с использованием аддитивно-мультипликативной модели риска / М. В. Жуковский, И. В. Ярмошенко, А. Д. Онищенко, Г. П. Малиновский // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14, № 3. – С. 41–55.

36. Жуковский, М. В. Современные подходы к нормированию облучения радоном и анализ последствий их применения в России / М. В. Жуковский, И. В. Ярмошенко, С. М. Киселёв // АНРИ. – 2011. – № 4. – С. 18–25.
37. Злокачественные новообразования в России в 2015 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А. Д. Каприна, В. В. Старинского, Г. В. Петровой – М. : МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2017. – 250 с.: ил. – 400 экз. – ISBN 978-5-85502-227-8.
38. Злокачественные новообразования в России в 2016 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А. Д. Каприна, В. В. Старинского, Г. В. Петровой – М. : МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2018. – 250 с.: ил. – 400 экз. – ISBN 978-5-85502-234-6.
39. Злокачественные новообразования в России в 2017 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А. Д. Каприна, В. В. Старинского, Г. В. Петровой – М. : МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2018. – 250 с.: ил. – 400 экз. – ISBN 978-5-85502-243-8.
40. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А. Д. Каприна, В. В. Старинского, Г. В. Петровой – М. : МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2019. – 250 с.: ил. – 400 экз. – ISBN 978-5-85502-251-3.
41. Злокачественные новообразования в России в 2019 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А. Д. Каприна, В. В. Старинского, А. О. Шахзадовой – М. : МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2020. – 252 с.: ил. – 250 экз. – ISBN 978-5-85502-260-5.
42. Зуевич, Ф. И. Радиационно-гигиенические проблемы влияния радона на состояние здоровья населения / Ф. И. Зуевич, М. Н. Тихонов, Л. В. Довгуша [и др.]; под ред. акад. РАЕН В. В. Довгуши. – Санкт-Петербург : Полиграф-Ателье, 2011. – 244 с. – 300 экз. – ISBN 5-7691-0694-8.
43. Зыкова, И. А. Радиотревожность населения загрязненных территорий и меры по её снижению / И. А. Зыкова, Г. В. Архангельская // Пособие для специалистов служб Роспотребнадзора. – СПб., 2007. – 24 с.
44. Из-за превышения уровня радиоактивного радона опечатаны 4 кабинета в школе № 3 Облучья ЕАО // Сетевое изд. ЕАОmedia : официальный сайт. – URL: <https://eaomedia.ru/news/770102/> (дата обращения: 17.02.2022).
45. Историк, О. А. К вопросу оценки уровней облучения природными источниками ионизирующего излучения детей в образовательных учреждениях Ленинградской области / О. А. Историк, Л. А. Еремина // Медицина: теория и практика. – 2019. – Т.4. – Спецвыпуск. – С. 235–236.
46. Историк, О. А. Уровни содержания радона в воздухе помещений детских учреждений Волосовского района Ленинградской области / О. А. Историк,

- Л. А. Еремина, Т. А. Кормановская [и др.] // Актуальные вопросы радиационной гигиены: Материалы международной научно-практической конференции. – СПб, 2018. – С. 132–135.
47. Кадука, М. В. Оценка доз облучения населения Северо-Западного региона России за счет потребления питьевой воды / М. В. Кадука, Н. С. Швыдко, В. Н. Шутов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 1. – С. 23–27.
48. Кадука, М. В. Содержание природных радионуклидов в минеральной природной питьевой воде Санкт-Петербурга и Ленинградской области / М. В. Кадука, Л. Н. Басалаева, Т. А. Бекяшева [и др.] // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 20–27.
49. Кайгородов, Е. И. Мониторинг объемной активности радона в детских учреждениях на потенциально радоноопасной территории в Ставропольском крае / Е. И. Кайгородов, Л. Э. Карл, Ю. К. Губанова // Физико-химические методы в междисциплинарных экологических исследованиях: сборник трудов всероссийского симпозиума и школы-конференции молодых ученых. – М.: Издательский дом «Граница», 2021. – С. 207–208.
50. Калайдо, А. В. Оценка облучения радоном в эксплуатируемых многоэтажных зданиях / А. В. Калайдо // Строительство и реконструкция. – 2015. – Т. 5, № 61. – С. 56–62.
51. Карл, Л. Э. Обследование жилых и общественных зданий города Балей Забайкальского края на содержание радона / Л. Э. Карл // Ильинские чтения 2023: сборник материалов международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2023. – С. 27–29.
52. Карпин, В. А. Современные экологические аспекты естественной эманации изотопов радона: обзор литературы / В. А. Карпин // Экология человека. – 2020. – № 6. – С. 34–40.
53. Киселёв, С. М. Обеспечение защиты населения от облучения радоном. Проблемы и пути решения / С. М. Киселёв, И. П. Стамат, А. М. Маренный, Л. А. Ильин // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 2. – С. 101–110.
54. Киселёв, С. М. Оценка качества измерений объемной активности радона в воздухе помещений. Результаты международных сличительных испытаний / С. М. Киселёв, А. М. Маренный, В. Г. Старинский [и др.] // Радиационная гигиена. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 82–92.
55. Киселёв, С. М. Радон: От фундаментальных исследований к практике регулирования / С. М. Киселёв, М. В. Жуковский, И. П. Стамат, И. В. Ярмошенко. – М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2016. – 432 с. – 300 экз. – ISBN 978-5-905926-11-2.

56. Киселёв, С. М. Радон. Современные подходы к регулированию радиационной безопасности населения / С. М. Киселёв, А. М. Маренный, В. В. Романов // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 94–103.
57. Киселёв, С. М. Формирование современной методологии регулирования защиты населения от облучения радоном / С. М. Киселёв // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 1. – С. 52–56.
58. Киселева, М. Е. Измерения содержания радона в помещениях жилых и общественных зданий города Лесной / М. Е. Киселева, Н. А. Нефёдов, Г. И. Сутягина // Медицина экстремальных ситуаций. – 2018. – Т. 20, № 2. – С. 211–216.
59. Климова, Д. В Кемеровской области малыши ходили в радиоактивный детский сад / Д. Климова // Сетевое изд. Readovka News : официальный сайт. – URL: <https://readovka.news/news/41739> (дата обращения: 17.02.2022).
60. Кононенко, Д. В. Анализ возможностей и путей повышения заинтересованности населения в обеспечении собственной радиационной безопасности при облучении радоном / Д. В. Кононенко // Сборник трудов очно-заочной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Радиационная гигиена: Итоги и перспективы», посвященной 60-летию курса «Радиационная гигиена» кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. – СПб.: ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, 2022. – С. 55–57.
61. Кононенко, Д. В. Анализ распределений значений объемной активности радона в воздухе помещений в субъектах Российской Федерации / Д. В. Кононенко // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 85–103.
62. Кононенко, Д. В. Влияние радонозащитных мероприятий в детских образовательных учреждениях на радиационный риск при облучении радоном (на примере одной из школ Санкт-Петербурга) / Д. В. Кононенко, Т. А. Кормановская // Анализ риска здоровью. – 2014. – № 2. – С. 90–96.
63. Кононенко, Д. В. Оценка радиационного риска для населения Санкт-Петербурга при облучении радоном / Д. В. Кононенко // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6, № 1. – С. 31–37.
64. Кононенко, Д. В. Оценка риска для здоровья населения субъектов Российской Федерации при равномерном пожизненном облучении радоном / Д. В. Кононенко, Т. А. Кормановская // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2019. – № 1 (21). – С. 56–61.
65. Кормановская, Т. А. Исследование уровней содержания радона в воздухе помещений зданий детских учреждений / Т. А. Кормановская, О. А.

- Историк, И. К. Романович [и др.] // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 6–20.
66. Кормановская, Т. А. Итоги 20 лет функционирования Федерального банка данных по дозам природного облучения населения Российской Федерации / Т. А. Кормановская, Р. Р. Ахматдинов, Г. А. Горский // Радиационная гигиена. – 2021 – Т. 14, № 3 – С. 112–125.
67. Кормановская, Т. А. Сравнительный анализ российских и международных подходов к вопросам обеспечения радиационной безопасности при облучении природными источниками излучения / Т. А. Кормановская // Радиационная гигиена. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 40–49.
68. Кормановская, Т. А. Уровни содержания радона в воздухе помещений социально-значимых объектов Бузулукского и Бугурусланского районов Оренбургской области / Т. А. Кормановская, И. К. Романович, Н. Е. Вяльцина [и др.] // Сборник трудов очно-заочной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Радиационная гигиена: Итоги и перспективы», посвященной 60-летию курса «Радиационная гигиена» кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. – СПб. : ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, 2022. – С. 58–60.
69. Красноухов, С. В Златоусте закрыли школьный спортзал из-за превышения уровня радона / С. Красноухов // Сетевое изд. РИА Новости : официальный сайт. – URL: <https://ria.ru/20181120/1533160661.html> (дата обращения: 17.02.2022).
70. Крисюк, Э. М. Радиационный фон помещений / Э. М. Крисюк. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с. – 3600 экз. – ISBN 5-283-02992-1.
71. Лосихина, Ю. В Кузбассе снова закрыли детский сад из-за радиации / Ю. Лосихина // Сетевое изд. Readovka News : официальный сайт. – URL: <https://readovka.news/news/48610> (дата обращения: 17.02.2022).
72. Лосихина, Ю. В Тульской области из-за радиации в музыкальной школе закрыли классы / Ю. Лосихина // Сетевое изд. Readovka News : официальный сайт. – URL: <https://readovka.news/news/49432> (дата обращения: 17.02.2022).
73. Малиновский, Г. П. Обзор данных об эффектах облучения радоном в жилищах для здоровья человека / Г. П. Малиновский // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2018. – № 1 (21). – С. 23–32.
74. Малиновский, Г. П. Радон, курение и вирус папилломы человека как факторы риска рака легкого в эпидемиологическом исследовании

- экологического типа / Г. П. Малиновский, И. В. Ярмошенко, М. В. Жуковский // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 2. – С. 106–114.
75. Маренный, А. М. Национальные радоновые программы: Опыт реализации и задачи на перспективу / А. М. Маренный, С. М. Киселёв // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2 (Спецвыпуск). – С. 97–108.
76. Маренный, А. М. О проблеме обеспечения защиты населения России от природных источников ионизирующего излучения. Часть 2. Развитие подходов и практические мероприятия / А. М. Маренный, С. М. Киселёв, С. Ю. Семёнов // Медицина экстремальных ситуаций. – 2019. – Т. 21, № 4. – С. 527–539.
77. Маренный, А. М. Обследование зданий города Лесной на содержание радона в помещениях / А. М. Маренный, М. Е. Киселева, Н. А. Нефёдов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 92–106.
78. Маренный, А. М. Проведение обследований зданий различного назначения на содержание радона на территориях, обслуживаемых ФМБА России / А. М. Маренный, В. В. Романов, В. И. Астафуров [и др.] // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 1. – С. 23–29.
79. Маренный, А. М. Радоновое обследование в Челябинской области в 2008–2011 гг. Анализ территориальной вариабельности объемной активности радона / А. М. Маренный, Д. В. Кононенко, А. Е. Труфанова // Радиационная гигиена. – 2020. – Т. 13, № 3. – С. 51–67.
80. Международное агентство по атомной энергии. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSR Part 3. – Вена: МАГАТЭ, 2015. – 518 с.
81. Меньшикова, Т. Б. Медицинская реабилитация гонартроза на курортном этапе с применением радоновых ванн различной концентрации / Т. Б. Меньшикова, Е. В. Жукова, А. С. Кайсинова // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2017. – № 4. – С. 177.
82. Мирсаидов, У. М. Радоновый мониторинг на территории Северного Таджикистана / У. М. Мирсаидов, Х. М. Назаров, Ш. Г. Шосафарова, М. М. Махмудова // Радиационная гигиена. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 68–73.
83. Муминов, С. В. Изучение уровней содержания радона в зданиях дошкольных и школьных учреждений г. Душанбе Республики Таджикистан / С. В. Муминов, Б. Б. Баротов, М. М. Махмудова [и др.] // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 124–132.
84. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.

85. О мероприятиях по профилактике гриппа и острых респираторных вирусных инфекций в эпидемическом сезоне 2022 - 2023 годов : постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.07.2022 № 20 // Правовой сайт КонсультантПлюс : официальный сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_424857/ (дата обращения: 03.06.2023).
86. О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: постановление Правительства РФ от 17.08.2016 № 806 (с изменениями и дополнениями) // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ : официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/71473944/> (дата обращения: 01.06.2023).
87. О работе органов Роспотребнадзора в связи с принятием Федерального Закона Российской Федерации «О внесении изменений в Градостроительный Кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации» : Письмо Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 14.02.2007 № 0100/1541-07-32 // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс» : официальный сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/607124306> (дата обращения: 03.04.2021).
88. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ // Правовой сайт КонсультантПлюс : официальный сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481 (дата обращения: 03.06.2023).
89. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 368 с. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=25076 (дата обращения: 23.06.2023).
90. Об образовании в Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ // Правовой сайт КонсультантПлюс : официальный сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/ (дата обращения: 03.06.2023).
91. Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу: Указ Президента РФ от 13.10.2018 №

- 585 // Правовой сайт КонсультантПлюс : официальный сайт. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_308884 (дата обращения: 03.04.2023).
92. Об утверждении перечня социально значимых заболеваний и перечня заболеваний, представляющих опасность для окружающих: постановление Правительства РФ от 01.12.2004 № 715 (с изменениями и дополнениями) // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ : официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/12137881> (дата обращения: 01.06.2023).
93. Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований в РФ на долгосрочный период (2021 – 2030 гг.): распоряжение Правительства РФ от 31.12.2020 № 3684-р // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ : официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400070256/> (дата обращения: 01.06.2023).
94. Онищенко, А. Д. Влияние строительных характеристик зданий на накопление радона в детских дошкольных учреждениях Свердловской области / А. Д. Онищенко, А. В. Васильев, Г. П. Малиновский, М. В. Жуковский // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 28–36.
95. Онищенко, А. Д. Роль искажающих факторов в радоновом эпидемиологическом исследовании / А. Д. Онищенко, М. В. Жуковский // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 65–75.
96. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.
97. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Методические указания МУ 2.6.1.1088-02. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 22 с.
98. Оценка радиационного риска для здоровья населения за счет внутреннего облучения радоном и его дочерними продуктами распада: Методические рекомендации МР 2.6.1.0172-20. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия населения, 2020. – 24 с. – ISBN 978-5-7508-1785-6.
99. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований: Методические указания МУ 2.6.1.0215-20. – М.: Центрмаг, 2023. – 32 с. – ISBN 978-5-203080-65-3.

100. Павленко, Т. А. Уровни облучения дошкольников за счет радона в воздухе помещений / Т. А. Павленко, М. И. Костенецкий, А. В. Куцак [и др.] // Гигиена и санитария. – 2015. – № 4. – С. 18–21.
101. Панов, С. В. Практическая радонотерапия: монография / С. В. Панов. – Ульяновск : УлГУ, 2014. – 172 с. – 500 экз. – ISBN 978-5-88866-519-0.
102. Ползик, Е. В. Радон и рак / Е. В. Ползик, В. Л. Лежнин, В. С. Казанцев, И. В. Ярмошенко. – Екатеринбург : УрО РАН, 2008. – 131 с.: ил. – 500 экз. – ISBN 5-7691-1573-4.
103. Похияк, А. Российскую школу закрыли из-за радиоактивного газа / А. Похияк // Сетевое изд. Lenta.ru : официальный сайт. – URL: <https://lenta.ru/news/2021/05/12/radon/> (дата обращения: 17.02.2022).
104. Приостановлена деятельность помещения на территории психоневрологического интерната из-за превышенного содержания радона // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25525332> (дата обращения: 17.02.2022).
105. Приставы приостановили деятельность кабинета «химия» // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document22766337> (дата обращения: 17.02.2022).
106. Радиационно-гигиенические аспекты преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС / под редакцией академика РАН Г. Г. Онищенко и профессора А. Ю. Поповой. – СПб. : НИИРГ имени проф. П. В. Рамзаева, 2016. – Т. 1. – 448 с. – 500 экз. – ISBN 978-5-9906974-6-1.
107. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности: Методические указания МУ 2.6.1.2838-11. – М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 26 с.
108. Радиация в школе в ЕАО - из-за превышения опасного радона закрыт спортзал // Сетевое изд. EAOMedia : официальный сайт. – URL: <https://eaomedia.ru/news/759984/> (дата обращения: 17.02.2022).
109. Радиация. Дозы, эффекты, риск / Пер. с англ. Ю. А. Банникова. – М. : Мир, 1988. – 77 с.: ил. – ISBN 5-03-001172-2.
110. Радиологическая защита от облучения радоном. Перевод публикации 126 МКРЗ / под ред. М. В. Жуковского, И. В. Ярмошенко, С. М. Киселёва. – М. : Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России», 2015. – 92 с. – 600 экз. – ISBN 978-5-9035926-06-8.

111. Расчет показателей радиационного риска по данным, содержащимся в радиационно-гигиенических паспортах территорий, для обеспечения комплексной сравнительной оценки состояния радиационной безопасности населения субъектов Российской Федерации: Методические рекомендации МР 2.6.1.0145-19. – М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. – 14 с.
112. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2021 г. (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). – М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. – 132 с.
113. Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите. Публикация 103 МКРЗ / пер. с англ. И. А. Гусева ; под общ. ред. М. Ф. Киселева, Н. К. Шандалы. – М. : Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с. – 1000 экз. – ISBN 978-5-9900350-6-5.
114. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону. Перевод публикации 115 МКРЗ / под ред. М. В. Жуковского, С. М. Киселёва, А. Т. Губина. – М. : Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России», 2013. – 92 с. – 600 экз. – ISBN 978-5- 905926-01-3.
115. Романович, И. К. К обоснованию изменений в нормировании содержания радона в воздухе помещений / И. К. Романович, Т. А. Кормановская, Д. В. Кононенко // Здоровье населения и среда обитания. – 2019. – № 6 (315). – С. 42–48.
116. Романович, И. К. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия / И. К. Романович, И. П. Стамат, Т. А. Кормановская [и др.]; под ред. акад. РАН Г. Г. Онищенко и проф. А. Ю. Поповой. – СПб. : ФБУН НИИРГ им. П. В. Рамзаева, 2018. – 432 с. – 500 экз. – ISBN 978-5-9906975-7-7.
117. Романович, И. К. Результаты выборочного исследования содержания радона в помещениях детских дошкольных и школьных организаций Ленинградской области / И. К. Романович, И. П. Стамат, Т. А. Кормановская [и др.] // Здоровье населения и среда обитания. – 2017. – № 10 (295). – С. 46–49.
118. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10.1920-04. – М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2004. – 143 с.
119. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи: Санитарные правила

- СП 2.4.3648-20 // Правовой сайт КонсультантПлюс : официальный сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_371594/ (дата обращения: 03.04.2023).
120. Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации работы образовательных организаций и других объектов социальной инфраструктуры для детей и молодежи в условиях распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19): Санитарно-эпидемиологические правила СП 3.1/2.4.3598-20 // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ : официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/74336682/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 03.04.2023).
121. Сасевич, Ю. ФАП в алтайском селе закрыли из-за опасной концентрации радона / Ю. Сасевич // Сетевое изд. Коммерсантъ : официальный сайт. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4188410> (дата обращения: 17.02.2022).
122. Стамат, И. П. Радиационная безопасность населения России при облучении природными источниками ионизирующего излучения: современное состояние, направления развития и оптимизации / И. П. Стамат, Т. А. Кормановская, Г. А. Горский // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 1. – С. 54–62.
123. Стамат, И. П. Уровни облучения детей за счет природных источников излучения в детских образовательных учреждениях на территории отдельных субъектов федерации / И. П. Стамат, Т. А. Кормановская, А. В. Световидов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 14–19.
124. Старинский, В. Г. Исследование содержания радона в воздухе детских образовательных учреждений с применением интегральных методов дозиметрии / В. Г. Старинский, Ю. С. Бельских, В. В. Шлыгин, С. М. Киселёв // Техногенные системы и экологический риск : Тезисы докладов III Международной (XVI Региональной) научной конференции. – Обнинск : ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 148–149.
125. Судебные приставы приостановили деятельность Дома культуры // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document24698192> (дата обращения: 17.02.2022).
126. Судебные приставы приостановили деятельность школьной столовой из-за превышения уровня радона // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области : официальный сайт. – URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document27580016> (дата обращения: 17.02.2022).

127. Суриц, О. В. К вопросу изучения содержания радона в воздухе помещений Еврейской автономной области / О. В. Суриц // Радиационная гигиена. – 2012. – Т. 5, № 2. – С. 75–76.
128. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ // Правовой сайт КонсультантПлюс : официальный сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 03.06.2023).
129. Тимин, И. В иркутской школе выявили высокую концентрацию радона / И. Тимин // Сетевое изд. РИА Новости : официальный сайт. – URL: <https://ria.ru/20200220/1565023134.html> (дата обращения: 17.02.2022).
130. Тимофеева, А. А. Цитогенетические эффекты сверхнормативного воздействия радона в зависимости от индивидуальной дозы активных рибосомных генов / А. А. Тимофеева, В. И. Минина, В. Г. Дружинин [и др.] // Экологическая генетика. – 2017. – Т. 15, № 4. – С. 33–40.
131. Усть-Илимский суд приостановил работу школы, где обнаружен радон // Сетевое изд. РИА Новости : официальный сайт. – URL: <https://ria.ru/20130215/923007881.html> (дата обращения: 17.02.2022).
132. Форма федерального статистического наблюдения № 4-ДОЗ. Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона: Методические рекомендации МР 2.6.1.0088-14. – М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2014. – 39 с.
133. Цапалов, А. А. Зависимость объемной активности радона в помещениях от разности внутренней и наружной температур воздуха / А. А. Цапалов, С. И. Кувшинников // АНРИ. – 2008. – № 2 – С. 37–43.
134. Цапалов, А. А. Закономерности поведения радоновой радиоактивности в помещениях зданий и принцип контроля / А. А. Цапалов // Вестник МГСУ. – 2011. – Т. 2, № 3. – С. 15–23.
135. Цапалов, А. А. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 1. Проблема оценки содержания радона и современный принцип контроля / А. А. Цапалов, С. М. Киселёв, А. М. Маренный [и др.] // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 53–63.
136. Цапалов, А. А. Неопределенность результатов контроля радона в помещениях. Часть 2. Экспериментальная оценка неопределенности временных вариаций радона / А. А. Цапалов, С. М. Киселёв, А. М. Маренный [и др.] // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 64–79.
137. Цапалов, А. А. Принцип оценки среднегодовой ЭРОА радона в зданиях по результатам краткосрочных измерений / А. А. Цапалов, А. П.

- Ермилов, Л. А. Гулабянц [и др.] // Радиационная гигиена. – 2010. – Т. 3, № 3. – С. 23–27.
138. Цапалов, А. А. Результаты долговременных исследований закономерностей поведения ОА и ЭРОА радона в зданиях московского региона / А. А. Цапалов // АНРИ. – 2011. – № 3 (66). – С. 52–64.
139. Чунихин, Л. А. Количественная оценка заболеваний раком лёгкого, индуцированным радоном, в Беларуси / Л. А. Чунихин, Д. Н. Дроздов, А. Л. Чеховский // Радиация и риск. – 2018. – Т. 27, № 3. – С. 104–112.
140. ЮНЕСКО и ВОЗ настоятельно призывают страны сформировать благоприятную для здоровья среду в каждой школе // Всемирная организация здравоохранения : официальный сайт. – URL: <https://www.who.int/ru/news/item/22-06-2021-unesco-and-who-urge-countries-to-make-every-school-a-health-promoting-school> (дата обращения: 12.06.2023).
141. Юрченко, С. В. Радонотерапия больных псориатическим артритом : специальность 14.00.51 «Восстановительная медицина, лечебная физкультура и спортивная медицина, курортология и физиотерапия» : диссертация на соискание учёной степени кандидата медицинских наук / Юрченко Светлана Валентиновна ; Пятигорский государственный научно-исследовательский институт курортологии Министерства здравоохранения Российской Федерации. – Пятигорск, 2003. – 135 с.
142. Ярмошенко, И. В. Обобщение онкоэпидемиологических исследований связи рака легкого с радоном / И. В. Ярмошенко, Г. П. Малиновский, А. В. Васильев // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – Т. 59, № 2. – С. 92–96.
143. Ярмошенко, И. В. Проблема облучения радоном в зданиях повышенного класса энергоэффективности / И. В. Ярмошенко, Г. П. Малиновский, А. Д. Онищенко, А. В. Васильев // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 56–65.
144. Ярмошенко, И. В. Проблемы оптимизации защиты от радона и введения референтного уровня в Российской Федерации / И. В. Ярмошенко, А. Д. Онищенко, М. В. Жуковский // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 67–69.
145. Ярмошенко, И. В. Сравнительный анализ накопления радона в зданиях различного класса энергоэффективности на примере пяти российских городов / И. В. Ярмошенко, А. Д. Онищенко, Г. П. Малиновский [и др.] // Радиационная гигиена. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 47–56.

146. Ajrouche, R. Quantitative health risk assessment of indoor radon: A systematic review / R. Ajrouche, G. Ielsch, E. Cléro [et al.] // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2017. – Vol. 177, No 1–2. – Pp. 69–77.
147. Al-Awadi, L. Indoor radon levels in schools and residential dwellings in Kuwait / L. Al-Awadi, A. R. Khan // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2019. – Vol. 16, No 6. – Pp. 2627–2636.
148. Alghamdi, A. S. Influences on indoor radon concentrations in Riyadh, Saudi Arabia / A. S. Alghamdi, K. A. Aleissa // *Radiation Measurements*. – 2014. – Vol. 62. – Pp. 35–40.
149. Antignani, S. A 10-year follow-up study of yearly indoor radon measurements in homes, review of other studies and implications on lung cancer risk estimates / S. Antignani, G. Venoso, M. Ampollini [et al.] // *Science of The Total Environment*. – 2021. – Vol. 762. – Pp.144150. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720376816> (дата обращения: 25.01.2023).
150. Arvela, H. Review of low-energy construction, air tightness, ventilation strategies and indoor radon: results from Finnish houses and apartments / H. Arvela, O. Holmgren, H. Reisbacka, J. Vinha // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2014. – Vol. 162, No 3. – Pp. 351–363.
151. Axelsson, G. Lung cancer risk from radon exposure in dwellings in Sweden: how many cases can be prevented if radon levels are lowered? / G. Axelsson, E. M. Andersson, L. Barregard // *Cancer Causes & Control*. – 2015. – Vol. 26, No 4. – Pp. 541–547.
152. Azara, A. Indoor Radon Exposure in Italian Schools / A. Azara, M. Dettori, P. Castiglia [et al.] // *International journal of environmental research and public health*. – 2018. – Vol. 15, No 4. – Pp. 749. – URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/4/749> (дата обращения: 25.01.2023).
153. Bem, H. Radon concentrations in kindergartens and schools in two cities: Kalisz and Ostrów Wielkopolski in Poland / H. Bem, E. M. Bem, J. Krawczyk [et al.] // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2013. – Vol. 295, No 3. – Pp. 2229–2232.
154. Bican-Brişan, N. First Steps towards a National Approach for Radon Survey in Romanian Schools / N. Bican-Brişan, G.-C. Dobrei, B.-D. Burghеле, A.-L. Cucuş (Dinu) // *Atmosphere*. – 2022. – Vol. 13, No 1. – Pp. 59. – URL: <https://www.mdpi.com/2073-4433/13/1/59> (дата обращения: 25.01.2023).
155. Bilban, M. Chromosome aberrations study of pupils in high radon level elementary school / M. Bilban, J. Vaupotič // *Health physics*. – 2001. – Vol. 80, No 2. – Pp. 157–163.

156. Bochicchio, F. Radon in indoor air of primary schools: a systematic survey to evaluate factors affecting radon concentration levels and their variability / F. Bochicchio, Z. S. Žunić, C. Carpentieri [et al.] // *Indoor air*. – 2014. – Vol. 24, No 3. – Pp. 315–326.
157. Boice, J. D. The linear nonthreshold (LNT) model as used in radiation protection: an NCRP update / J. D. Boice // *International journal of radiation biology*. – 2017. – Vol. 93, No 10. – Pp. 1079–1092.
158. Branco, P. T. B. S. Children's exposure to radon in nursery and primary schools / P. T. B. S. Branco, R. A. O. Nunes, M. C. M. Alvim-Ferraz [et al.] // *International journal of environmental research and public health*. – 2016. – Vol. 13, No 4. – Pp. 386. – URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/13/4/386> (дата обращения: 25.01.2023).
159. Branco, P. T. B. S. Quantifying indoor radon levels and determinants in schools: A case study in the radon-prone area Galicia–Norte de Portugal Euroregion / P. T. B. S. Branco, L. Martin-Gisbert, J. P. Sá [et al.] // *Science of The Total Environment*. – 2023. – Pp. 163566. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972302185X> (дата обращения: 15.06.2023).
160. Bräuner, E. V. Residential radon exposure and skin cancer incidence in a prospective Danish cohort / E. V. Bräuner, S. Loft, M. Sørensen [et al.] // *PLOS ONE*. – 2015. – Vol. 10, No 8. – Pp. e0135642. – URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0135642> (дата обращения: 25.01.2021).
161. Burke, O. Regional variation of seasonal correction factors for indoor radon levels / O. Burke, P. Murphy // *Radiation Measurements*. – 2011. – Vol. 46 (10). – Pp. 1168–1172.
162. Čeliković, I. Outdoor radon as a tool to estimate radon priority areas – a literature overview / I. Čeliković, G. Pantelić, I. Vukanac [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19, No 2. – Pp. 662. – URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/2/662> (дата обращения: 25.06.2023).
163. Chen, J. A review of indoor and outdoor radon equilibrium factors – Part I: ^{222}Rn / J. Chen, N. H. Harley // *Health physics*. – 2018. – Vol. 115, No 4. – Pp. 490–499.
164. Chen, J. Canadian lung cancer relative risk from radon exposure for short periods in childhood compared to a lifetime / J. Chen // *International journal of environmental research and public health*. – 2013. – Vol. 10, No 5. – Pp. 1916–1926.

165. Chen, J. Domestic radon exposure and childhood leukaemia and lymphoma: A population-based study in Canada / J. Chen, L. Xie // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2019. – Vol. 184, No 3–4. – Pp. 486–492.
166. Chen, J. Risk assessment for radon exposure in various indoor environments / J. Chen // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2019. – Vol. 185, No 2. – Pp. 143–150.
167. Cinelli, G. Similarities and differences between radon surveys across Europe: Results from MetroRADON questionnaire / G. Cinelli, F. Bochicchio, P. Bossew [et al.] // *Journal of the European Radon Association*. – 2022. – Vol. 3. – Pp. 7605. – URL: <https://radonjournal.net/index.php/radon/article/view/7605> (дата обращения: 25.06.2023).
168. Conde-Sampayo, A. Exposure to Residential Radon and COPD: A Systematic Review / A. Conde-Sampayo, M. Lorenzo-González, A. Fernández-Villar [et al.] // *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*. – 2020. – Vol. 15. – Pp. 939–948.
169. Csordás, A. Indoor radon levels in Hungarian kindergartens / A. Csordás, K. Z. Szabó, Z. Sas [et al.] // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. – 2021. – Vol. 328. – Pp. 1375–1382.
170. Cucu, A. Decrease of markers related to bone erosion in serum of patients with musculoskeletal disorders after serial low-dose radon spa therapy / A. Cucu, K. Shreder, D. Kraft [et al.] // *Frontiers in immunology*. – 2017. – Vol. 8. – Pp. 882. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fimmu.2017.00882/full> (дата обращения: 25.06.2023).
171. Curguz, Z. Long-term measurements of radon, thoron and their airborne progeny in 25 schools in Republic of Srpska / Z. Čurguz, Z. Stojanovska, Z. S. Žunić [et al.] // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2015. – Vol. 148. – Pp. 163–169.
172. Curguz, Z. Spatial variability of indoor radon concentration in schools: implications on radon measurement protocols / Z. Curguz, G. Venoso, Z. S. Zunic [et al.] // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2020. – Vol. 191, No 2. – Pp. 133–137.
173. Daraktchieva, Z. Validation Scheme for Organisations Making Measurements of Radon in UK buildings: 2018 revision / Z. Daraktchieva, C. B. Howarth, T. D. Gooding [et al.]. – Public Health England, 2018. – 25 p. – URL: <https://www.gov.uk/government/publications/radon-in-dwellings-validation-scheme-for-measurements> (дата обращения: 25.12.2022).
174. Darby, S. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies / S. Darby, D. Hill, A. Auvinen [et al.] // *BMJ*. – 2005. – Vol. 330, No 7485. – Pp. 223–227.

175. Darby, S. Residential radon and lung cancer: detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 subjects with lung cancer and 14208 subjects without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe / S. Darby, D. Hill, H. Deo [et al.] // *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*. – 2006. – Vol. 32. – Pp. 1–83.
176. Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II: Scientific Annexes C, D and E. Annex E: Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces. – New York: United Nations, 2009. – 142 p. – ISBN 978-92-1-142270-2.
177. Erickson, B. E. Toxin or medicine? Explanatory models of radon in Montana health mines / B. E. Erickson // *Medical Anthropology Quarterly*. – 2007. – Vol. 21, No 1. – Pp. 1–21.
178. European Union, 2013. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/ Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom // *Official Journal of the European Union*, OJ L13. – 73 p. – URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj> (дата обращения: 11.01.2022).
179. Fojtikova, I. Influence of energy-saving measures on the radon concentration in some kindergartens in the Czech Republic / I. Fojtikova, K. Navratilova Rovenska // *Radiation protection dosimetry*. – 2014. – Vol. 160, No 1–3. – Pp. 149–153.
180. George, A. C. The history, development and the present status of the radon measurement programme in the United States of America / A. C. George // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2015. – Vol. 167, No 1–3. – Pp. 8–14.
181. Global Health Observatory (GHO). Reference level for buildings with high public occupancy (Bq/m³) (PHE: Radon database) // World Health Organization : официальный сайт. – URL: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/gho-phe-radon-database-reference-level-for-buildings-with-high-public-occupancy-bq-m3> (дата обращения: 12.06.2023).
182. Gordon, K. Radon in Schools: A Brief Review of State Laws and Regulations in the United States / K. Gordon, P. Terry, X. Liu [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2018. – Vol. 15, No 10. – Pp. 2149. – URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/10/2149> (дата обращения: 25.01.2021).
183. Guide for Radon Measurements in Public Buildings (Workplaces, Schools, Day Cares, Hospitals, Care Facilities, Correctional Centres). – Health Canada, 2021. – 19 p. – URL: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental->

- workplace-health/reports-publications/radiation/guide-radon-measurements-public-buildings-schools-hospitals-care-facilities-detention-centres.html (дата обращения: 12.12.2022).
184. Ha, M. Geographical Correlations between Indoor Radon Concentration and Risks of Lung Cancer, Non-Hodgkin's Lymphoma, and Leukemia during 1999-2008 in Korea / M. Ha, S. S. Hwang, S. Kang [et al.] // 165 International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2017. – Vol. 14, No 4. – Pp. 344–353.
 185. Harley, N. H. Outdoor radon and thoron in the USA, Canada, Finland and Thailand / N. H. Harley, P. Chittaporn, M. Heikkinen [et al.] // Radioactivity in the Environment. – 2005. – Vol. 7. – Pp. 670–677.
 186. Health Risk of Radon // United States Environmental Protection Agency : официальный сайт. – URL: <https://www.epa.gov/radon/radon-schools> (дата обращения: 21.04.2023).
 187. Indoor air quality research: report on a WHO meeting, 27-31 August 1984, Stockholm. – Copenhagen : World Health Organization, Regional Office for Europe ; Albany, NY : WHO Publications Center, USA, 1986. – 64 p. – URL: <https://lscn.loc.gov/86222121> (дата обращения: 21.04.2023).
 188. Ionizing radiation: sources and biological effects. UNSCEAR 1982 Report to the General Assembly, with annexes. – New York : United Nations, 1982. – 773 p. – ISBN 92-1-142200-0.
 189. ISO 11665-1:2019. Measurement of radioactivity in the environment – Air : radon-222 – Part 1 : Origins of radon and its short-lived decay products and associated measurement methods. – Genève : International Organization for Standardization, 2019. – 42 p.
 190. ISO 11665-4:2021. Measurement of radioactivity in the environment – Air : radon-222 – Part 4 : Integrated measurement method for determining average activity concentration using passive sampling and delayed analysis. – Genève : International Organization for Standardization, 2021. – 38 p.
 191. ISO 11665-5:2020. Measurement of radioactivity in the environment – Air : radon-222 – Part 5 : Continuous measurement method of the activity concentration. – Genève : International Organization for Standardization, 2020. – 20 p.
 192. ISO 11665-8:2019. Measurement of radioactivity in the environment – Air : radon-222 – Part 8 : Methodologies for initial and additional investigations in buildings. – Genève : International Organization for Standardization, 2019. – 26 p.

193. Ivanova, K. Measurement of indoor radon concentration in kindergartens in Sofia, Bulgaria / K. Ivanova, Z. Stojanovska, M. Tsenova [et al.] // Radiation protection dosimetry. – 2014. – Vol. 162, No 1–2. – Pp. 163–166.
194. Kaur, M. Study of radon/thoron exhalation rate, soil-gas radon concentration, and assessment of indoor radon/thoron concentration in Siwalik Himalayas of Jammu & Kashmir / M. Kaur, A. Kumar, R. Mehra, R. Mishra // Human and Ecological Risk Assessment : An International Journal. – 2018. – Vol. 24, No 8. – Pp. 2275–2287.
195. Kim, W.-H. Background Level of Atmospheric Radon-222 Concentrations at Gosan Station, Jeju Island, Korea in 2011 / W.-H. Kim, H.-J. Ko, C.-G. Hu [et al.] // Bulletin of the Korean Chemical Society. – 2014. – Vol. 35 (4). – Pp. 1149–1153.
196. Kitto, M. Radon testing in schools in New York State : A 20-year summary / M. Kitto // Journal of environmental radioactivity. – 2014. – Vol. 137. – Pp. 213–216.
197. Kojo, K. Indoor Radon Measurements in Finnish Daycare Centers and Schools – Enforcement of the Radiation Act / K. Kojo, P. Kurttio // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Vol. 17, No 8. – Pp. 2877. – URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/8/2877> (дата обращения: 25.01.2021).
198. Kojo, K. Radon Exposure Concentrations in Finnish Workplaces / K. Kojo, T. Turtiainen, O. Holmgren, P. Kurttio // Health Physics. – 2023. – Pp. 10.1097. – URL: https://journals.lww.com/health-physics/Fulltext/9900/Radon_Exposure_Concentrations_in_Finnish.80.aspx (дата обращения: 21.07.2023).
199. Kpordzro, R. Comparison and review of CR-39 and DOSIRAD LR-115 in terms of indoor radon measurements in Ghana. – 2021 / R. Kpordzro // IAEA : официальный сайт. – URL: http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:52070289 (дата обращения: 21.12.2022).
200. Kulich, M. Incidence of non-lung solid cancers in Czech uranium miners : a casecohort study / M. Kulich, V. Reřicha, R. Reřicha [et al.] // Environmental Research. – 2011. – Vol. 111, No 3. – Pp. 400–405.
201. Labidi, S. Radon in elementary schools in Tunisia / S. Labidi, D. Al-Azmi, H. Mahjoubi, R. B. Salah // Radioprotection. – 2010. – Vol. 45, No 2. – Pp. 209–217.
202. Lee, C. M. Distribution of radon concentrations in child-care facilities in South Korea / C. M. Lee, M. H. Kwon, D. R. Kang [et al.] // Journal of environmental radioactivity. – 2017. – Vol. 167. – Pp. 80–85.

203. Lee, E. R. Radon Survey in school and estimation of effective dose using corrected radon concentration / E. R. Lee, B. U. Chang, Y. J. Kim // *Radiation protection dosimetry*. – 2018. – Vol. 179, No 2. – Pp. 101–107.
204. Lorenzo-González, M. Radon exposure: a major cause of lung cancer / M. Lorenzo-González, M. Torres-Durán, R. Barbosa-Lorenzo [et al.] // *Expert review of respiratory medicine*. – 2019. – Vol. 13, No 9. – Pp. 839–850.
205. Lubin, J. H. Case-control study of childhood acute lymphoblastic leukemia and residential radon exposure / J. H. Lubin, M. S. Linet, J. D. Jr. Boice [et al.] // *Journal of the National Cancer Institute*. – 1998. – Vol. 90, No 4. – Pp. 294–300.
206. Madureira, J. Radon in indoor air of primary schools: determinant factors, their variability and effective dose / J. Madureira, I. Paciência, J. Rufo [et al.] // *Environ Geochem Health*. – 2016. – Vol. 38, No 2. – Pp. 523–533.
207. Malinovsky, G. Meta-analysis of case–control studies on the relationship between lung cancer and indoor radon exposure / G. Malinovsky, I. Yarmoshenko, A. Vasilyev // *Radiation and Environmental Biophysics*. – 2019. – Vol. 58, No 1. – Pp. 39–47.
208. Management of radioactivity in drinking-water. – Geneva : WHO Press, 2018. – 104 p. – ISBN 978-92-4-151374-6.
209. Man-made fibres and radon. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans, Volume 43. – Lyon : International Agency for Research on Cancer, 1988. – 309 p. – ISBN 92-832-1243-6.
210. Marennyy, A. M. New track interval radon exposure meters (operating principle and design) / A. M. Marennyy, S. G. Lukyanov, M. A. Marennyy [et al.] // *Applied Radiation and Isotopes*. – 2022. – Vol. 184. – Pp. 110176. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969804322000756> (дата обращения: 21.06.2023).
211. Mc Laughlin, J. P. Dosimetric and epidemiological approaches to radon lung cancer risk assessment / J. P. Mc Laughlin // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2019. – Vol. 184, No 3–4. – Pp. 285–289.
212. Meyer, W. Impact of constructional energy saving measures on radon levels indoors / W. Meyer // *Indoor Air*. – 2019. – Vol. 29, No 4. – Pp. 680–685.
213. Mitchell, A. L. Lung cancer risk from radon in Marcellus shale gas in northeast US homes / A. L. Mitchell, W. M. Griffin, E. A. Casman // *Risk Analysis*. – 2016. – Vol. 36, No 11. – Pp. 2105–2119.
214. Müllerová, M. Preliminary results of radon survey in the kindergartens of V4 countries / M. Müllerová, J. Mazur, A. Csordás [et al.] // *Radiation protection dosimetry*. – 2017. – Vol. 177, No 1–2. – Pp. 95–98.
215. Müllerová, M. Radon survey in the kindergartens of three Visegrad countries (Hungary, Poland and Slovakia) / M. Müllerová, J. Mazur, A. Csordás [et al.] //

- Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2019. – Vol. 319. – Pp. 1045–1050.
216. National Research Council. Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI. – Washington, D.C. : National Academy Press, 1999. – 516 p. – ISBN 978-0-309-05645-8.
217. Nikkilä, A. Predicting residential radon concentrations in Finland: Model development, validation, and application to childhood leukemia / A. Nikkilä, H. Arvela, J. Mehtonen [et al.] // Scandinavian journal of work, environment & health. – 2020. – Vol. 46, No 3. – Pp. 278–292.
218. Onishchenko, A. Radon measurements in kindergartens in Ural region (Russia) / A. Onishchenko, G. Malinovsky, A. Vasilyev, M. Zhukovsky // Radiation Protection Dosimetry. – 2017. – Vol. 177, No 1–2. – Pp. 112–115.
219. Protection of the public against exposure indoors due to radon and other natural sources of radiation. IAEA Safety Standards Series No. SSG-32. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2015. – 90 p. – ISBN 978-92-0-102514-2.
220. Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay products in Schools and Large Buildings. – ANSI/AARST MALB-2014 (with 1/21 revisions), 2021. – 82 p. – URL: <http://standards.aarst.org/MALB-2014/index.html> (дата обращения: 01.02.2023).
221. Protocol for radon measurements in schools and kindergartens. – The Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA), 2015. – 21 p. – URL: <https://dsa.no/en/radon/radon-in-schools-and-kindergartens> (дата обращения: 21.12.2022).
222. Raaschou-Nielsen, O. Indoor radon and childhood leukaemia / O. Raaschou-Nielsen // Radiation Protection Dosimetry. – 2008. – Vol.132, No 2. – Pp. 175–181.
223. Radiation and Nuclear Safety Authority Regulation on Practices that Cause Exposure to Natural Radiation // STUK : официальный сайт. – URL: <https://www.stuklex.fi/en/maarays/stuk-s-6-2022> (дата обращения: 12.04.2023).
224. Radon in Schools // United States Environmental Protection Agency : официальный сайт. – URL: <https://www.epa.gov/radon/radon-schools> (дата обращения: 21.04.2023).
225. Radon Measurements in Schools. Revised Edition. – Washington : United States Environmental Protection Agency, 1993. – 44 p. – URL: <https://nepis.epa.gov/Exec/ZyPDF.cgi/910188F5.PDF?Dockey=910188F5.PDF> (дата обращения: 18.01.2022).
226. Radon Mitigation Standards for Schools and Large Buildings. – ANSI/AARST RMS-LB 2018 (with 12/20 revisions), 2020. – 88 p. – URL:

- <http://standards.aarst.org/RMS-LB-2018/index.html> (дата обращения: 01.02.2023).
227. Regulations on Radiation Protection and Use of Radiation (Radiation Protection Regulations), 2016 // Norwegian Radiation and Nuclear Safety Authority : официальный сайт. – URL: <https://dsa.no/en/legislation> (дата обращения: 21.12.2022).
228. Reste, J. Indoor Air Radon Concentration in Premises of Public Companies and Workplaces in Latvia / J. Reste, I. Pavlovskā, Z. Martinsone [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – Vol. 19, No 4. – Pp. 1993. – URL: https://www.mdpi.com/1660-4601/19/4/1993?trk=public_post_main-feed-card_reshare-text (дата обращения: 21.03.2023).
229. Ringer, W. Monitoring trends in civil engineering and their effect on indoor radon / W. Ringer // Radiation Protection Dosimetry. – 2014. – Vol. 160, No 1–3. – Pp. 38–42.
230. Robertson, A. The cellular and molecular carcinogenic effects of radon exposure: a review / A. Robertson, J. Allen, R. Laney, A. Curnow // International journal of molecular sciences. – 2013. – Vol. 14, No 7. – Pp. 14024–14063.
231. Rosenberger, A. Genetic modifiers of radon-induced lung cancer risk: a genome-wide interaction study in former uranium miners / A. Rosenberger, R. J. Hung, D. C. Christiani [et al.] // International archives of occupational and environmental health. – 2018. – Vol. 91. – Pp. 937–950.
232. Ruano-Ravina, A. Analysis of the relationship between p53 immunohistochemical expression and risk factors for lung cancer, with special emphasis on residential radon exposure / A. Ruano-Ravina, R. Pérez-Becerra, M. Fraga [et al.] // Annals of Oncology – 2008. – Vol. 19, No 1. – Pp. 109–114.
233. Ruano-Ravina, A. Genetic susceptibility, residential radon, and lung cancer in a radon prone area / A. Ruano-Ravina, M. F. Pereyra, M. T. Castro [et al.] // Journal of Thoracic Oncology. – 2014. – Vol. 9, No 8. – Pp. 1073–1080.
234. Ruano-Ravina, A. Is there a specific mutation of p53 gene due to radon exposure? A systematic review / A. Ruano-Ravina, M. J. Faraldo-Valles, J. M. Barros-Dios // International Journal of Radiation Biology. – 2009. – Vol. 85, No 9. – Pp. 614–621.
235. Ruano-Ravina, A. Residential radon exposure and esophageal cancer. An ecological study from an area with high indoor radon concentration (Galicia, Spain) / A. Ruano-Ravina, N. Aragonés, M. Pérez-Ríos [et al.] // International Journal of Radiation Biology. – 2014. – Vol. 90, No 4. – Pp. 299–305.
236. Rydock, J. P. Diurnal variations in radon concentrations in a school and office: implications for determining radon exposure in day-use buildings / J. P. Rydock,

- A. Næss-Rolstad, J.T. Brunzell // *Atmospheric Environment*. – 2001. – Vol. 35, No 16. – Pp. 2921–2926.
237. Sá, J. P. Radon in indoor air: towards continuous monitoring / J. P. Sá, P. T. B. S. Branco, M. C. M. Alvim-Ferraz [et al.] // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14, No 3. – Pp. 1529. – URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/3/1529> (дата обращения: 21.03.2023).
238. Schubert, M. Influences of meteorological parameters on indoor radon concentrations (^{222}Rn) excluding the effects of forced ventilation and radon exhalation from soil and building materials / M. Schubert, A. Musolff, H. Weiss // *Journal of environmental radioactivity*. – 2018. – Vol. 192. – Pp. 81–85.
239. Smetsers, R. R. Ingredients for a Dutch radon action plan, based on a national survey in more than 2500 dwellings / R. R. Smetsers, R. O. R. Blaauboer, S. A. J. F. Dekkers // *Journal of environmental radioactivity*. – 2016. – Vol. 165. – Pp. 93–102.
240. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. Annex B: Exposures from natural radiation sources. – New York : United Nations, 2000. – 76 p. – ISBN 92-1-142238-8.
241. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I. – New York : United Nations, 2010. – 323 p. – ISBN 978-92-1-142274-0.
242. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 1988 Report to the General Assembly, with annexes. – New York : United Nations, 1988. – 647 p. – ISBN 92-1-142143-8.
243. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I : Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. – New York : United Nations, 2014. – 17 p. – ISBN 978-92-1-142291-7.
244. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2019 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. – New York : United Nations, 2020. – 301 p. – ISBN 978-92-1-139184-8.
245. Sousa, S. I. V. Radon levels in nurseries and primary schools in Bragança district—Preliminary assessment / S. I. V. Sousa, P. T. B. S. Branco, R. A. O. Nunes [et al.] // *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. – 2015. – Vol. 78, No 13–14. – Pp. 805–813.
246. Stanaway, J. D. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the

- Global Burden of Disease Study 2017 / J. D. Stanaway, A. Afshin, E. Gakidou [et al.] // *Lancet*. – 2018. – Vol. 392, No 10159. – Pp. 1923–1994.
247. Status of radon related activities in member states participating in technical cooperation projects in Europe. Series : IAEA TECDOC-1810. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2017. – 184 p. – ISBN 978-92-0-100617-2.
248. Stojanovska, Z. Results from time integrated measurements of indoor radon, thoron and their decay product concentrations in schools in the Republic of Macedonia / Z. Stojanovska, Z. S. Zunic, P. Bossew [et al.] // *Radiation protection dosimetry*. – 2014. – Vol. 162, No 1–2. – Pp. 152–156.
249. Stojanovska, Z. Variation of indoor radon concentration and ambient dose equivalent rate in different outdoor and indoor environments / Z. Stojanovska, B. Boev, Z. S. Zunic [et al.] // *Radiation and environmental biophysics*. – 2016. – Vol. 55. – Pp. 171–183.
250. Su, C. Indoor exposure levels of radon in dwellings, schools, and offices in China from 2000 to 2020: A systematic review / C. Su, M. Pan, Y. Zhang [et al.] // *Indoor Air*. – 2022. – Vol. 32, No 1. – Pp. e12920. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ina.12920> (дата обращения: 10.07.2023).
251. Su, Z. Quantitative evaluation of radon, tobacco use and lung cancer association in an occupational cohort with 27 follow-up years / Z. Su, X.-H. Jia, Y.-G. Fan [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2022. – Vol. 232. – Pp. 113233. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651322000732> (дата обращения: 10.07.2023).
252. Swedjemark, G. A. The history of radon from a Swedish perspective / G. A. Swedjemark // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2004. – Vol. 109, No 4. – Pp. 421–426.
253. Symonds, P. Home energy efficiency and radon: An observational study / P. Symonds, D. Rees, Z. Daraktchieva [et al.] // *Indoor Air*. – 2019. – Vol. 29, No 5. – Pp. 854–864.
254. Szabados, M. Indoor air quality and the associated health risk in primary school buildings in Central Europe – The InAirQ study / M. Szabados, Z. Csákó, B. Kotlík [et al.] // *Indoor air*. – 2021. – Vol. 31, No 4. – Pp. 989–1003.
255. Tchorz-Trzeciakiewicz, D. E. Factors affecting atmospheric radon concentration, human health / D. E. Tchorz-Trzeciakiewicz, M. Kłós // *Science of the total environment*. – 2017. – Vol. 584. – Pp. 911–920.
256. Tchorz-Trzeciakiewicz, D. E. Radiation in different types of building, human health / D. E. Tchorz-Trzeciakiewicz, S. R. Olszewski // *Science of The Total Environment*. – 2019. – Vol. 667. – Pp. 511–521.

257. Tejamaya, M. An overview of radon concentrations and risk factors in elementary school classrooms: Systematic literature review 2010–2020 / M. Tejamaya // 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. – IEOM Society, 2021. – Pp. 5366–5377.
258. The National Radon Action Plan – A Strategy for Saving Lives // United States Environmental Protection Agency : официальный сайт. – URL: <https://www.epa.gov/radon/national-radon-action-plan-strategy-saving-lives> (дата обращения: 21.04.2023).
259. Tong, J. Environmental radon exposure and childhood leukemia / J. Tong, L. Qin, Y. Cao [et al.] // Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B : Critical Reviews. – 2012. – Vol. 15, No 5. – Pp. 332–347.
260. Trevisi, R. Indoor radon levels in schools of South-East Italy / R. Trevisi, F. Leonardi, C. Simeoni [et al.] // Journal of environmental radioactivity. – 2012. – Vol. 112. – Pp. 160–164.
261. Tryggve, R. Analysis of radon levels in swedish dwellings and workplaces, research report / R. Tryggve. – Swedish Radiation Safety Authority, 2021. – 34 p. – ISSN: 2000–0456.
262. Tsapalov, A. Indoor radon regulation using tabulated values of temporal radon variation / A. Tsapalov, K. Kovler // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – Vol. 183. – Pp. 59–72.
263. Tsapalov, A. Involving schoolchildren in radon surveys by means of the “RadonTest” online system / A. Tsapalov, K. Kovler, M. Shpak [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2020. – Vol. 217. – Pp. 106215. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X19309774> (дата обращения: 23.04.2023).
264. Tsapalov, A. Short-versus long-term tests of indoor radon for risk assessment by Monte-Carlo method towards effective measurement strategy / A. Tsapalov, K. Kovler // Indoor air. – 2022. – Vol. 32, No 11. – Pp. e13166. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ina.13166> (дата обращения: 23.04.2023).
265. Tsapalov, A. Studying temporal variations of indoor radon as a vital step towards rational and harmonized international regulation / A. Tsapalov, K. Kovler // Environmental Challenges. – 2021. – Vol. 4. – Pp. 100204. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021001839> (дата обращения: 23.04.2023).
266. Turtiainen, T. Improving the assessment of occupational exposure to radon in above-ground workplaces / T. Turtiainen, K. Kojo, J. P. Laine [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. – 2021. – Vol. 196, No 1–2. – Pp. 44–52.

267. Vasilyev, A. V. Low air exchange rate causes high indoor radon concentration in energy-efficient buildings / A. V. Vasilyev, I. V. Yarmoshenko, M. V. Zhukovsky // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2015. – Vol. 164, No 4. – Pp. 601–605.
268. Vaupotič, J. Radon and thoron doses in kindergartens and elementary schools / J. Vaupotič, M. Bezek, N. Kávási [et al.] // *Radiation protection dosimetry*. – 2012. – Vol. 152, No 1–3. – P. 247–252.
269. Venoso, G. Impact of temporal variability of radon concentration in workplaces on the actual radon exposure during working hours / G. Venoso, A. Iacoponi, G. Pratesi [et al.] // *Scientific reports*. – 2021. – Vol. 11. – Pp. 16984. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-96207-9> (дата обращения: 21.04.2023).
270. Vogeltanz-Holm, N. Radon and lung cancer: What does the public really know? / N. Vogeltanz-Holm, G. G. Schwartz // *Journal of environmental radioactivity*. – 2018. – Vol. 192. – Pp. 26–31.
271. VoPham, T. Environmental radon exposure and breast cancer risk in the Nurses' Health Study II / T. VoPham, N. DuPré, R. M. Tamimi [et al.] // *Environmental Health*. – 2017. – Vol. 16, No 1. – Pp. 97–110.
272. Vukotic, P. Radon on the ground floor in the buildings of pre-university education in Montenegro / P. Vukotic, R. Zekic, T. Andjelic [et al.] // *Nukleonika*. – 2020. – Vol. 65, No 2. – Pp. 53–58.
273. Wheeler, B. W. Radon and skin cancer in southwest England: an ecologic study / B. W. Wheeler, J. Allen, M. H. Depledge, A. Curnow // *Epidemiology*. – 2012. – Vol. 23. – Pp. 44–52.
274. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. – Geneva : WHO Press, 2009. – 110 p. – ISBN 978-92-4-154767-3.
275. Yarmoshenko, I. Establishing a regional reference indoor radon level on the basis of radon survey data / I. Yarmoshenko, A. Onishchenko, M. Zhukovsky // *Journal of Radiological Protection*. – 2013. – Vol. 33, No 2. – Pp. 329–336.
276. Yarmoshenko, I. Reconstruction of national distribution of indoor radon concentration in Russia using results of regional indoor radon measurement programs / I. Yarmoshenko, G. Malinovsky, A. Vasilyev, M. Zhukovsky // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2015. – Vol. 150. – Pp. 99–103.
277. Zaballa, I. Mechanistic study on lung cancer mortality after radon exposure in the Wismut cohort supports important role of clonal expansion in lung carcinogenesis / I. Zaballa, M. Eidemüller // *Radiation and environmental biophysics*. – 2016. – Vol. 55. – Pp. 299–315.
278. Zhukovsky, M. Review of indoor radon concentrations in schools and kindergartens / M. Zhukovsky, A. Vasilyev, A. Onishchenko, I. Yarmoshenko // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2018. – Vol. 181, No 1. – Pp. 6–10.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Таблица 1.1 – Средние значения ОА радона в воздухе помещений ДУ некоторых зарубежных странах.....	16
Рисунок 1.1 – Распределение субъектов РФ в зависимости от среднегодовых значений ОА радона, Бк/м ³ (кроме г. Севастополь, Республики Крым, Донецкой народной республики, Луганской народной республики, Запорожской области и Херсонской области).....	17
Таблица 1.2 – Данные о радиационных обследованиях зданий ДУ в некоторых субъектах РФ в 2011–2016 гг.....	18
Таблица 1.3 – Показатели продолжительности проветривания учебных помещений и рекреаций в зависимости от температуры наружного воздуха, мин.....	20
Рисунок 1.2 – Структура годовых коллективных эффективных доз облучения населения РФ в 2021 г., %.....	23
Рисунок 1.3 – Структура средней индивидуальной годовой эффективной дозы природного облучения населения РФ за 2001–2021 гг.....	24
Таблица 2.1 – Программа исследования.....	44
Таблица 2.2 – Условные обозначения обследованных ДУ Ленинградской области.....	45
Рисунок 2.1 – Карта Ленинградской области с отмеченными населенными пунктами, в которых были проведены измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ.....	46
Рисунок 2.2 – Проведение интегральных (слева) и квазиинтегральных (справа) измерений ОА радона в воздухе помещений 12С.....	52
Рисунок 2.3 – Проведение экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений 5С после 12-часовой ночной выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11.....	53
Рисунок 2.4 – Проведение экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений 10Ш в режиме нормальной эксплуатации здания.....	53

Рисунок 2.5 – Проведение непрерывного мониторинга ОА радона в воздухе помещений 8С.....	55
Таблица 2.3 – Сравнительная характеристика методов измерения содержания радона в воздухе.....	56
Таблица 2.4 – Источники медико-демографических данных, использованных для расчета показателей риска по многофакторной модели.....	63
Таблица 2.5 – Значения параметра β_C для многофакторной модели.....	65
Рисунок 3.1 – Результаты серий экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ (1 – 8С; 2 – 9С; 3 – 10Ш; 4 – 11С; 5 – 12С; 6 – 13Ш; а – в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; б – после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами; — – медиана; □ – нижний и верхний квартили; I – минимальное и максимальное значения; ○ – выброс; * – экстремальное значение).....	70
Рисунок 3.2 – Результаты серий экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ г. Кингисепп (1 – 5С; 2 – 6Ш; 3 – 7Ш; а – в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; б – после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами; — – медиана; □ – нижний и верхний квартили; I – минимальное и максимальное значения; ○ – выброс).....	71
Таблица 3.1 – Обобщенные результаты измерений содержания радона в воздухе помещений обследованных ДУ.....	73
Рисунок 3.3 – Временная серия результатов измерений ОА радона с помощью монитора радона в 8С (разновозрастная группа 3-5 лет, 14–18 марта 2022 г.).....	75
Рисунок 3.4 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 9 4Ш (25 февраля – 11 марта 2021 г.).....	76
Рисунок 3.5 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 5 4Ш (11–25 марта 2021 г.).....	77
Рисунок 3.6 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 15 3Ш (25 февраля – 11 марта 2021 г.).....	77
Рисунок 3.7 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 1 3Ш (11–25 марта 2021 г.).....	78

Рисунок 3.8 – Динамика медианных значений ОА радона в разновозрастной группе 8С (в будние дни, 14–18 марта 2022 г.).....	78
Рисунок 3.9 – Динамика медианных значений ОА радона в спортивном зале 5С (в будние дни, 04–06 апреля 2022 г.).....	79
Рисунок 3.10 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 1 11С (в будние дни, 18–20 апреля 2022 г.).....	79
Рисунок 3.11 – Динамика медианных значений ОА радона в спальне группы «Колокольчик» 12С (28 ноября – 05 декабря 2022 г.).....	80
Рисунок 3.12 – Динамика медианных значений ОА радона в кабинете № 3 12С (28 ноября – 05 декабря 2022 г.).....	80
Таблица 3.2 – Сопоставление средних результатов измерений содержания радона в воздухе помещений обследованных ДУ.....	82
Таблица 3.3 – Сопоставление результатов измерений содержания радона в воздухе помещений обследованных ДУ с помощью монитора радона в дневное время с другими методами.....	83
Таблица 3.4 – Сопоставление результатов измерений содержания радона в воздухе помещений обследованных ДУ с помощью монитора радона в ночное время с другими методами.....	84
Таблица 3.5 – Обобщенные результаты измерений содержания радона в воздухе помещений жилых домов и на открытой местности.....	85
Таблица 3.6 – Результаты измерений УА радионуклидов в грунтах, ППР с поверхности грунта и экспрессных измерений ЭРОА радона в подвальных помещениях ДУ.....	86
Таблица 4.1 – Дозы облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ (на основе результатов измерений содержания радона в воздухе помещений экспрессным, квазиинтегральным и интегральным методами), мЗв/год.....	91
Рисунок 4.1 – Структура доз облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР.....	94

Таблица 4.2 – Уровни среднего индивидуального пожизненного риска смерти от индуцированного синергическим влиянием радона и курения рака легкого для обучающихся и сотрудников ДУ (на основе результатов измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным, квазиинтегральным и интегральным методами).....	97
Таблица 4.3 – Классификации уровней риска.....	100
Рисунок 4.2 – График зависимости значения избыточного относительного риска (ИОР) от достигнутого возраста.....	101

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Строительно-конструкционные характеристики обследованных зданий

Таблица А.1 – Строительно-конструкционные характеристики обследованных зданий ДУ

ДУ	Год постройки	Количество этажей	Наличие подвала	Материал стен	Тип окон	Отопление
1С	1977	2	есть	кирпич	С	Ц
2С	1968	2	нет	кирпич	С	Ц
3Ш	1968	3	есть	кирпич	С, Д	Ц
4Ш	1964	1	нет	кирпич	С	Ц
5С	1983	2	есть	кирпич	С	Ц
6Ш	1985	3	есть	панели	С	Ц
7Ш	1975	3	есть	панели	С, Д	Ц
8С	1972	2	есть	кирпич	С	Ц
9С	1963	2	нет	панели	С	Ц
10Ш	1953*/ 2019**	2*/3**	нет*/ есть**	кирпич	С	Ц
11С	1960	2	нет	кирпич	С	Ц
	1971	1	нет	кирпич	С	Ц
12С	1982	2	есть	панели	С	Ц
13Ш	1966*/ 1990**	3	нет*/ есть**	кирпич*/ панели**	С	Ц

Примечание: С – стеклопакеты, Д – деревянные, Ц – централизованное, * – старое здание ДУ, ** – новая пристройка к зданию ДУ.

Первичные измерительные данные содержания радона в воздухе помещений

Таблица Б.1 – Результаты измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ Кингисеппского района Ленинградской области экспрессным и интегральным методами в 2021 г.

Помещение	Этаж	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод*), Бк/м ³					ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³
		25.02	03.03	11.03	18.03	25.03	25.02–25.03
1С							
Группа «Буратино», спальня	1	18	5	10	6	11	50
Группа «Буратино», игровая	1	31	7	11	18	20	50
Группа «Аленушка», игровая	1	14	3	27	16	3	106
Группа «Теремок», игровая	2	16	10	7	6	9	21
Группа «Чебурашка», игровая	2	11	7	6	10	22	22
2С							
Группа «Елочка», игровая	1	27	7	16	23	13	59
Группа «Тополек», игровая	2	10	17	8	29	11	61
Группа «Березка», игровая	2	23	12	15	13	9	77
Спортивный зал	2	30	22	16	35	62	81
Кабинет № 5	1	6	8	21	10	24	24
3Ш							
Кабинет № 1	1	123	145	167	142	70	415
Кабинет № 5	1	30	266	233	304	368	395
Кабинет № 7	2	244	274	211	83	245	331
Кабинет № 10	1	170	149	243	245	323	473
Кабинет № 15	3	345	276	247	236	365	476
4Ш							
Кабинет № 3	1	249	35	92	155	349	288
Кабинет № 5	1	271	179	49	264	599	784
Кабинет № 6	1	325	14	42	179	369	592
Кабинет № 9	1	328	61	72	278	389	556
Кабинет № 11	1	607	12	223	180	476	1300

Примечание: * – экспрессные измерения ЭРОА радона были выполнены в режиме нормальной эксплуатации здания (в присутствии обучающихся и сотрудников, при соблюдении кратности и времени проветривания, предписанных санитарными правилами).

Таблица Б.2 – Результаты измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ Волосовского района Ленинградской области экспрессным и интегральным методами в 2022 г.

Помещение	Этаж	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³									ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³
		14.03	15.03		16.03		17.03		18.03		14.03–26.05
		Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	
8С											
Разновозрастная группа (3-5 лет)	1	210	870	224	909	117	799	289	902	30	1200
Разновозрастная группа (5-7 лет)	1	40	770	20	772	192	737	130	802	140	1228
Группа раннего возраста	2	94	161	80	137	43	167	74	178	13	430
Музыкальный (спортивный) зал	2	72	171	26	196	115	224	55	193	14	313
9С											
Первая младшая группа «Солнышко»	1	37	385	43	126	48	360	86	460	155	680
Ясельная группа «Умка»	1	30	46	26	121	22	88	4	115	65	75
Вторая раннее группа «Зайчата»	1	24	146	15	48	9	80	17	90	20	245
Средняя группа	2	43	240	47	136	21	80	28	64	32	133
Старшая группа «Непоседы»	2	12	86	34	116	11	68	17	97	9	80
Подготовительная группа	2	59	77	41	79	46	76	39	81	42	85
Спортивный зал	2	–	–	61	116	73	64	34	116	45	118
10Ш											
Кабинет школы искусств (№111)	1*	898***	1030	333	405	148	657	69	294	–	1150
Кабинет начальных классов (№110)	1*	23	447	11	468	4	490	5	469	–	725
Кабинет начальных классов (№112)	1*	74	434	17	557	18	481	7	865	–	785
Кабинет технологии (№113)	1**	49	50	11	74	2	99	61	75	–	10
Кабинет иностранных языков (№114)	1**	37	79	15	67	6	146	7	77	–	165

Продолжение таблицы Б.2

Помещение	Этаж	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³									ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³
		14.03	15.03		16.03		17.03		18.03		14.03–26.05
		Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	
Кабинет информатики (№202)	2**	57	53	19	35	14	54	23	38	–	45
Кабинет начальных классов (№206)	2*	46	157	56	164	18	131	11	41	–	73
Кабинет математики (№321)	3**	47	42	6	28	1	77	21	21	–	–****

Примечание: Н/э – значение ЭРОА радона в режиме нормальной эксплуатации здания (в присутствии обучающихся и сотрудников, при соблюдении кратности и времени проветривания, предписанных санитарными правилами); 12-ч выд. – значение ЭРОА радона после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами (согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11); * – старое здание школы (левое крыло); ** – новая пристройка к зданию школы (правое крыло); *** – на момент обследования занятия в кабинете школы искусств еще не начались, измерение выполнено в отсутствие обучающихся и сотрудников, поэтому данное значение ЭРОА радона отнесено к «12-ч выд.», **** – ИТРР был утерян.

Таблица Б.3 – Результаты измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ г. Кингисепп Кингисеппского района Ленинградской области экспрессным и интегральным методами в 2022 г.

Помещение	Этаж	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³				ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³
		04.04	05.04		06.04	04(05).04–01.06
		Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	
5С						
Группа «Капелька», игровая	1	3	4	–	–	15
Группа «Якорек», игровая	1	1	1	–	–	–
Музыкальный зал	1	1	8	–	–	15
Группа «Бережок», спальня	2	6	4	–	–	7
Группа «Волна», игровая	2	1	2	–	–	–

Продолжение таблицы Б.3

Помещение	Этаж	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³				ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³
		04.04	05.04		06.04	04(05).04–01.06
		Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	
Группа «Золотая рыбка», игровая	2	3	1	–	–	40
Группа «Родничок», спальня	1	5	2	–	–	45
Группа «Морячок», игровая	1	3	6	–	–	9
Спортивный зал	1	1	2	–	–	–
Медицинский кабинет	1	3	15	–	–	–
Кабинет логопеда	1	3	16	–	–	–
Группа «Кораблик», игровая	2	3	5	–	–	–
Группа «Росинка», игровая	2	1	3	–	–	–
6Ш						
Кабинет начальных классов (№1)	1	–	4	1	–	–
Кабинет начальных классов (№2)	1	–	5	1	–	5
Кабинет начальных классов (№3)	1	–	7	2	–	–
Кабинет начальных классов (№4)	1	–	3	1	–	–
Кабинет начальных классов (№5)	1	–	1	1	–	–
Кабинет информационных технологий №1	1	–	1	2	–	15
Кабинет информационных технологий №2	1	–	3	3	–	–
Кабинет технологии мальчиков (№9)	1	–	5	2	–	–
Кабинет технологии девочек (№10)	1	–	4	4	–	5
Кабинет иностранных языков (№11)	1	–	1	2	–	10
Спортивный зал	2	–	1	2	–	–
Гимнастический зал	2	–	2	1	–	–
Кабинет иностранных языков (№13)	2	–	2	4	–	–
Медицинский кабинет	2	–	11	7	–	24
Кабинет биологии (№14)	2	–	4	4	–	–
Кабинет химии (№15)	2	–	4	1	–	–

Продолжение таблицы Б.3

Помещение	Этаж	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³				ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³
		04.04	05.04		06.04	04(05).04–01.06
		Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	
Кабинет начальных классов (№22)	2	–	1	1	–	–
Кабинет начальных классов (№23)	2	–	1	2	–	10
Кабинет начальных классов (№24)	2	–	5	1	–	–
Кабинет музыки (№26)	2	–	10	1	–	5
Библиотека	3	–	3	4	–	5
Кабинет математики (№38)	3	–	3	1	–	–
Кабинет русского языка и литературы (№34)	3	–	1	1	–	–
Кабинет физики (№29)	3	–	3	3	–	5
Кабинет ОБЖ	3	–	3	1	–	–
Учительская	3	–	9	5	–	109
Тир	0	–	6	5	–	5
7Ш						
Кабинет начальных классов (№6)	1	–	–	1	4	–
Кабинет начальных классов (№8)	1	–	–	5	3	6
Кабинет технологии девочек (№11)	1	–	–	4	4	–
Кабинет технологии мальчиков (№15)	1	–	–	2	6	–
Кабинет «Точка роста» (№16)	1	–	–	8	5	55
Кабинет начальных классов (№17)	1	–	–	1	6	5
Кабинет начальных классов (№18)	1	–	–	10	12	8
Мультимедийный класс	1	–	–	13	15	–
Кабинет «Точка роста» (№20)	1	–	–	10	6	19
Кабинет математики (№25)	2	–	–	1	4	–
Кабинет иностранных языков (№28)	2	–	–	1	4	–
Кабинет биологии и географии (№30)	2	–	–	1	1	–
Кабинет химии (№31)	2	–	–	4	8	15

Продолжение таблицы Б.3

Помещение	Этаж	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³				ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³
		04.04	05.04		06.04	04(05).04–01.06
		Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	
Кабинет иностранных языков (№32)	2	–	–	1	1	–
Кабинет физики (№34)	2	–	–	1	5	–
Кабинет начальных классов (№40)	2	–	–	1	2	–
Кабинет начальных классов (№41)	2	–	–	3	4	–
Кабинет начальных классов (№42)	2	–	–	5	2	–
Кабинет начальных классов (№46)	2	–	–	2	1	8
Кабинет начальных классов (№48)	2	–	–	2	2	11
Кабинет русского языка и литературы (№51)	3	–	–	5	5	–
Кабинет истории (№52)	3	–	–	3	10	5
Кабинет иностранных языков (№56)	3	–	–	4	4	–
Кабинет русского языка и литературы (№58)	3	–	–	5	3	–
Медицинский кабинет (№62)	3	–	–	3	2	8
Кабинет ОБЖ (№65)	3	–	–	1	1	–
Кабинет географии (№74)	3	–	–	1	1	13

Таблица Б.4 – Результаты измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ Приозерского района Ленинградской области экспрессным и интегральным методами в 2022 г.

Помещение	Этаж	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³					ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³
		18.04	19.04		20.04		18.04–03.06
		Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	
11С							
Музыкальный зал	1*	5	55	33	48	32	90
Кабинет № 1	1*	39	128	21	97	6	168
Спортивный зал	1*	7	64	5	30	9	–
Кабинет № 2	2*	10	34	1	34	6	–
Младшая группа	2*	1	38	13	36	5	50
Старшая группа	2*	1	40	14	37	5	45
Средняя группа	2*	3	40	10	36	2	25
Группа раннего возраста, игровая	1**	14	152	83	145	10	–
Группа раннего возраста, спальная	1**	9	150	14	98	13	147
Подготовительная группа, игровая	1**	5	85	2	34	18	65
Подготовительная группа, спальная	1**	7	81	4	27	11	–
Кабинет логопеда	1**	15	138	49	116	5	333
Кабинет № 3	1**	10	69	37	43	21	–

Примечание: Н/э – значение ЭРОА радона в режиме нормальной эксплуатации здания (в присутствии обучающихся и сотрудников, при соблюдении кратности и времени проветривания, предписанных санитарными правилами); 12-ч выд. – значение ЭРОА радона после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами (согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11); * – здание № 1 ДУ; ** – здание № 2 ДУ.

Таблица Б.5 – Результаты измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ Гатчинского района Ленинградской области экспрессным, квазиинтегральным и интегральным методами в 2022 г.

Помещение	Этаж	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³									ЭРОА _{Rn} (квази- интегральный метод), Бк/м ³	ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³	
		28.11		29.11		30.11		01.12		02.12			
		Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э			12-ч выд.
12С													
Кабинет № 1	1	227	184	154	258	158	244	164	313	230	184	330	
Музыкальный (спортивный) зал	1	92	383	151	182	41	395	146	140	70	125	455	
Кабинет № 2	1	124	375	222	295	177	370	145	556	215	170	395	
Кабинет № 3	1	289	648	306	376	368	405	92	814	287	351	705	
Группа раннего возраста «Непоседы», игровая	1	160	488	322	346	130	455	37	402	47	210	750	
Группа раннего возраста «Непоседы», спальня	1	140	473	382	494	71	397	45	507	63	–	–	
Младшая группа «Колокольчик», игровая	1	70	213	36	267	53	235	167	378	62	117	425	
Младшая группа «Колокольчик», спальня	1	38	426	37	410	24	403	64	380	26	–	–	
Подготовительная группа «Сказка», игровая	2	262	396	286	435	141	588	49	445	131	231	658	
Подготовительная группа «Сказка», спальня	2	153	624	50	350	210	365	32	559	261	–	–	
Средняя группа «Семицветик», игровая	2	192	333	254	402	105	464	164	734	210	258	643	
Средняя группа «Семицветик», спальня	2	176	392	184	365	86	512	152	611	282	–	–	
Старшая группа «Рябинушка», игровая	2	38	338	41	218	66	270	127	765	162	200	553	

Продолжение таблицы Б.5

Помещение	Этаж	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³									ЭРОА _{Rn} (квази- интегральный метод), Бк/м ³	ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³
		28.11	29.11		30.11		01.12		02.12			
		Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э		
Старшая группа «Рябинушка», спальня	2	35	361	60	158	76	322	129	571	64	–	–
Подготовительная группа «Солнышко», игровая	2	202	152	105	392	151	543	50	387	135	206	635
Подготовительная группа «Солнышко», спальня	2	101	228	68	360	99	177	25	492	14	–	–
13Ш												
Спортивный зал малый	1	393*	401	403*	556	213	455	161	352	174	164	460
Кабинет начальных классов (№1)	1	10	191	36	190	3	80	5	260	15	108	340
Кабинет начальных классов (№2)	1	79	218	167	166	10	194	23	252	16	104	255
Кабинет начальных классов (№3)	1	59	298	138	249	63	351	138	295	33	156	368
Кабинет начальных классов (№4)	1	79	190	170	404	57	437	116	472	85	197	520
Медицинский кабинет	1	152	327	9	357	10	413	12	388	142	198	555
Кабинет биологии (№32)	1	94	117	201	147	229	90	247	120	103	65	255
Спортивный зал большой	1	857	1586	1104	1391	1020	1224	1087	1331	1106	710	2450
Кабинет технологии девочек	1	95	121	125	106	89	111	60	127	53	52	180
Кабинет технологии мальчиков	1	92	133	107	135	96	134	28	174	75	96	258
Кабинет ОБЖ	2	163	433	382	332	164	238	186	454	151	147	485
Кабинет физики (№25)	2	154	236	76	191	81	172	102	136	106	97	123

Продолжение таблицы Б.5

Помещение	Этаж	ЭРОА _{Rn} (экспрессный метод), Бк/м ³									ЭРОА _{Rn} (квази- интегральный метод), Бк/м ³	ЭРОА _{Rn} (интегральный метод), Бк/м ³
		28.11	29.11		30.11		01.12		02.12			
		Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э	12-ч выд.	Н/э		
Кабинет начальных классов (№10)	2	94	170	139	174	33	156	19	125	50	45	100
Кабинет начальных классов (№13)	2	16	183	15	99	48	172	115	129	118	–	225
Кабинет русского языка и литературы (№17)	3	129	214	184	176	150	188	135	182	113	–	150
Кабинет математики (№19)	3	222	277	238	294	215	247	237	272	171	156	418
Кабинет химии (№29)	3	201	208	182	263	196	273	228	183	104	108	300
Холл у кабинета биологии	1	–	–	–	–	–	–	212	–	–	–	–

Примечание: Н/э – значение ЭРОА радона в режиме нормальной эксплуатации здания (в присутствии обучающихся и сотрудников, при соблюдении кратности и времени проветривания, предписанных санитарными правилами); 12-ч выд. – значение ЭРОА радона после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами (согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11); * – на момент обследования занятия в малом спортивном зале не проводились из-за временной нетрудоспособности учителя, измерение выполнено в отсутствие обучающихся и сотрудников, поэтому данное значение ЭРОА радона отнесено к «12-ч выд.»

Результаты расчета избыточного относительного риска по многофакторной модели

Таблица В.1 – Результаты расчета ИОР по многофакторной модели при неравномерном пожизненном облучении радоном и его ДПР (вариант №1 сценария облучения)

АА, лет	w_a , РУМ/год	W_a , РУМ	Медиана W_a , РУМ	АЕ, лет	ТЕ, лет	ИОР
1	0,42	0	0,00	0	0	0,000
2	0,42	0	0,00	0	0	0,000
3	2,41	0	0,00	0	0	0,000
4	2,02	0	0,00	0	0	0,000
5	2,27	0	0,00	0	0	0,000
6	1,79	0,42	0,42	6,0	0,0	0,216
7	2,00	0,83	0,62	6,5	0,5	0,397
8	1,17	3,25	0,83	7,0	1,0	1,427
9	1,17	5,26	2,04	7,5	1,5	2,130
10	1,17	7,53	3,25	8,0	2,0	2,804
11	1,17	9,33	4,25	8,5	2,5	3,193
12	0,93	11,32	5,26	9,0	3,0	3,566
13	0,93	12,49	6,40	9,5	3,5	3,620
14	0,93	13,67	7,53	10,0	4,0	3,642
15	0,93	14,84	8,43	10,5	4,5	3,638
16	0,93	16,01	9,33	11,0	5,0	3,611
17	0,93	16,95	10,32	11,5	5,5	3,515
18	0,93	17,88	11,32	12,0	6,0	3,412
19	0,42	18,81	11,91	12,5	6,5	3,303
20	0,42	19,75	12,49	13,0	7,0	3,189
21	0,42	20,68	13,08	13,5	7,5	3,073
22	0,42	21,62	13,67	14,0	8,0	2,954
23	0,42	22,55	14,25	14,5	8,5	2,835
24	0,42	22,97	14,84	15,0	9,0	2,656
25	0,42	23,38	15,42	15,5	9,5	2,487
26	0,42	23,80	16,01	16,0	10,0	2,329
27	0,42	24,22	16,48	16,5	10,5	2,180
28	0,42	24,63	16,95	17,0	11,0	2,039
29	0,42	25,05	17,41	17,5	11,5	1,908
30	0,42	25,46	17,88	18,0	12,0	1,784
31	0,42	25,88	18,35	18,5	12,5	1,668
32	0,42	26,29	18,81	19,0	13,0	1,559
33	0,42	26,71	19,28	19,5	13,5	1,457
34	0,42	27,12	19,75	20,0	14,0	1,361
35	0,42	27,54	20,22	20,5	14,5	1,271
36	0,42	27,95	20,68	21,0	15,0	1,187
37	0,42	28,37	21,15	21,5	15,5	1,108
38	0,42	28,78	21,62	22,0	16,0	1,034
39	0,42	29,20	22,09	22,5	16,5	0,965

Продолжение таблицы В.1

AA, лет	w_a , РУМ/год	W_a , РУМ	Медиана W_a , РУМ	AE, лет	TE, лет	ИОР
40	0,42	29,61	22,55	23,0	17,0	0,900
41	0,42	30,03	22,76	23,5	17,5	0,840
42	0,42	30,44	22,97	24,0	18,0	0,783
43	0,42	30,86	23,18	24,5	18,5	0,730
44	0,42	31,27	23,38	25,0	19,0	0,681
45	0,42	31,69	23,59	25,5	19,5	0,635
46	0,42	32,11	23,80	26,0	20,0	0,591
47	0,42	32,52	24,01	26,5	20,5	0,551
48	0,42	32,94	24,22	27,0	21,0	0,513
49	0,42	33,35	24,42	27,5	21,5	0,478
50	0,42	33,77	24,63	28,0	22,0	0,445
51	0,42	34,18	24,84	28,5	22,5	0,415
52	0,42	34,60	25,05	29,0	23,0	0,386
53	0,42	35,01	25,25	29,5	23,5	0,359
54	0,42	35,43	25,46	30,0	24,0	0,335
55	0,42	35,84	25,67	30,5	24,5	0,311
56	0,42	36,26	25,88	31,0	25,0	0,290
57	0,42	36,67	26,08	31,5	25,5	0,270
58	0,42	37,09	26,29	32,0	26,0	0,251
59	0,42	37,50	26,50	32,5	26,5	0,233
60	0,42	37,92	26,71	33,0	27,0	0,217
61	0,42	38,33	26,91	33,5	27,5	0,202
62	0,42	38,75	27,12	34,0	28,0	0,188
63	0,42	39,17	27,33	34,5	28,5	0,174
64	0,42	39,58	27,54	35,0	29,0	0,162
65	0,42	40,00	27,75	35,5	29,5	0,151
66	0,42	40,41	27,95	36,0	30,0	0,140
67	0,42	40,83	28,16	36,5	30,5	0,130
68	0,42	41,24	28,37	37,0	31,0	0,121
69	0,42	41,66	28,58	37,5	31,5	0,112
70	0,42	42,07	28,78	38,0	32,0	0,104
71	0,42	42,49	28,99	38,5	32,5	0,097
72	0,42	42,90	29,20	39,0	33,0	0,090
73	0,42	43,32	29,41	39,5	33,5	0,084
74	0,42	43,73	29,61	40,0	34,0	0,078
75	0,42	44,15	29,82	40,5	34,5	0,072
76	0,42	44,56	30,03	41,0	35,0	0,067
77	0,42	44,98	30,24	41,5	35,5	0,062
78	0,42	45,39	30,44	42,0	36,0	0,058
79	0,42	45,81	30,65	42,5	36,5	0,054
80	0,42	46,22	30,86	43,0	37,0	0,050
81	0,42	46,64	31,07	43,5	37,5	0,046
82	0,42	47,06	31,27	44,0	38,0	0,043
83	0,42	47,47	31,48	44,5	38,5	0,040
84	0,42	47,89	31,69	45,0	39,0	0,037
85	0,42	48,30	31,90	45,5	39,5	0,034
86	0,42	48,72	32,11	46,0	40,0	0,032

Продолжение таблицы В.1

АА, лет	w_a , РУМ/год	W_a , РУМ	Медиана W_a , РУМ	АЕ, лет	ТЕ, лет	ИОР
87	0,42	49,13	32,31	46,5	40,5	0,030
88	0,42	49,55	32,52	47,0	41,0	0,027
89	0,42	49,96	32,73	47,5	41,5	0,025
90	0,42	50,38	32,94	48,0	42,0	0,024
91	0,42	50,79	33,14	48,5	42,5	0,022
92	0,42	51,21	33,35	49,0	43,0	0,020
93	0,42	51,62	33,56	49,5	43,5	0,019
94	0,42	52,04	33,77	50,0	44,0	0,017
95	0,42	52,45	33,97	50,5	44,5	0,016
96	0,42	52,87	34,18	51,0	45,0	0,015
97	0,42	53,28	34,39	51,5	45,5	0,014
98	0,42	53,70	34,60	52,0	46,0	0,013
99	0,42	54,11	34,80	52,5	46,5	0,012
100	0,42	54,53	35,01	53,0	47,0	0,011

Примечание: АА – достигнутый возраст на момент оценки риска; w_a – годовая мощность экспозиции; W_a – кумулятивная экспозиция ДПР радона, накопленная при ОА ДПР радона категории С до возраста t ; АЕ – возраст на момент медианной экспозиции; ТЕ – время, прошедшее с возраста на момент медианной экспозиции; ИОР – избыточный относительный риск.

Таблица В.2 – Результаты расчета ИОР по многофакторной модели при неравномерном пожизненном облучении радоном и его ДПР (вариант №2 сценария облучения)

АА, лет	w_a , РУМ/год	W_a , РУМ	Медиана W_a , РУМ	АЕ, лет	ТЕ, лет	ИОР
1	0,42	0	0,00	0	0	0,000
2	0,42	0	0,00	0	0	0,000
3	0,73	0	0,00	0	0	0,000
4	0,47	0	0,00	0	0	0,000
5	1,09	0	0,00	0	0	0,000
6	0,56	0,42	0,42	6,0	0,0	0,216
7	0,72	0,83	0,62	6,5	0,5	0,397
8	0,50	1,56	0,83	7,0	1,0	0,685
9	0,50	2,03	1,19	7,5	1,5	0,821
10	0,50	3,12	1,56	8,0	2,0	1,162
11	0,50	3,68	1,79	8,5	2,5	1,261
12	0,80	4,40	2,03	9,0	3,0	1,387
13	0,80	4,90	2,58	9,5	3,5	1,420
14	0,80	5,40	3,12	10,0	4,0	1,440
15	0,80	5,90	3,40	10,5	4,5	1,447
16	0,80	6,40	3,68	11,0	5,0	1,443
17	0,80	7,20	4,04	11,5	5,5	1,493
18	0,80	7,99	4,40	12,0	6,0	1,525
19	0,42	8,79	4,65	12,5	6,5	1,542
20	0,42	9,58	4,90	13,0	7,0	1,547

Продолжение таблицы В.2

АА, лет	w_a , РУМ/ГОД	W_a , РУМ	Медиана W_a , РУМ	АЕ, лет	ТЕ, лет	ИОР
21	0,42	10,38	5,15	13,5	7,5	1,541
22	0,42	11,17	5,40	14,0	8,0	1,527
23	0,42	11,97	5,65	14,5	8,5	1,504
24	0,42	12,38	5,90	15,0	9,0	1,432
25	0,42	12,80	6,15	15,5	9,5	1,361
26	0,42	13,21	6,40	16,0	10,0	1,293
27	0,42	13,63	6,80	16,5	10,5	1,227
28	0,42	14,04	7,20	17,0	11,0	1,163
29	0,42	14,46	7,59	17,5	11,5	1,101
30	0,42	14,87	7,99	18,0	12,0	1,042
31	0,42	15,29	8,39	18,5	12,5	0,985
32	0,42	15,70	8,79	19,0	13,0	0,931
33	0,42	16,12	9,18	19,5	13,5	0,879
34	0,42	16,54	9,58	20,0	14,0	0,830
35	0,42	16,95	9,98	20,5	14,5	0,782
36	0,42	17,37	10,38	21,0	15,0	0,737
37	0,42	17,78	10,77	21,5	15,5	0,694
38	0,42	18,20	11,17	22,0	16,0	0,654
39	0,42	18,61	11,57	22,5	16,5	0,615
40	0,42	19,03	11,97	23,0	17,0	0,578
41	0,42	19,44	12,18	23,5	17,5	0,544
42	0,42	19,86	12,38	24,0	18,0	0,511
43	0,42	20,27	12,59	24,5	18,5	0,480
44	0,42	20,69	12,80	25,0	19,0	0,450
45	0,42	21,10	13,01	25,5	19,5	0,423
46	0,42	21,52	13,21	26,0	20,0	0,396
47	0,42	21,93	13,42	26,5	20,5	0,372
48	0,42	22,35	13,63	27,0	21,0	0,348
49	0,42	22,76	13,84	27,5	21,5	0,326
50	0,42	23,18	14,04	28,0	22,0	0,306
51	0,42	23,60	14,25	28,5	22,5	0,286
52	0,42	24,01	14,46	29,0	23,0	0,268
53	0,42	24,43	14,67	29,5	23,5	0,251
54	0,42	24,84	14,87	30,0	24,0	0,235
55	0,42	25,26	15,08	30,5	24,5	0,219
56	0,42	25,67	15,29	31,0	25,0	0,205
57	0,42	26,09	15,50	31,5	25,5	0,192
58	0,42	26,50	15,70	32,0	26,0	0,179
59	0,42	26,92	15,91	32,5	26,5	0,167
60	0,42	27,33	16,12	33,0	27,0	0,156
61	0,42	27,75	16,33	33,5	27,5	0,146
62	0,42	28,16	16,54	34,0	28,0	0,136
63	0,42	28,58	16,74	34,5	28,5	0,127
64	0,42	28,99	16,95	35,0	29,0	0,119
65	0,42	29,41	17,16	35,5	29,5	0,111
66	0,42	29,82	17,37	36,0	30,0	0,103
67	0,42	30,24	17,57	36,5	30,5	0,096

Продолжение таблицы В.2

AA, лет	w_a , РУМ/ГОД	W_a , РУМ	Медиана W_a , РУМ	AE, лет	TE, лет	ИОР
68	0,42	30,65	17,78	37,0	31,0	0,090
69	0,42	31,07	17,99	37,5	31,5	0,084
70	0,42	31,49	18,20	38,0	32,0	0,078
71	0,42	31,90	18,40	38,5	32,5	0,073
72	0,42	32,32	18,61	39,0	33,0	0,068
73	0,42	32,73	18,82	39,5	33,5	0,063
74	0,42	33,15	19,03	40,0	34,0	0,059
75	0,42	33,56	19,23	40,5	34,5	0,055
76	0,42	33,98	19,44	41,0	35,0	0,051
77	0,42	34,39	19,65	41,5	35,5	0,048
78	0,42	34,81	19,86	42,0	36,0	0,044
79	0,42	35,22	20,07	42,5	36,5	0,041
80	0,42	35,64	20,27	43,0	37,0	0,038
81	0,42	36,05	20,48	43,5	37,5	0,036
82	0,42	36,47	20,69	44,0	38,0	0,033
83	0,42	36,88	20,90	44,5	38,5	0,031
84	0,42	37,30	21,10	45,0	39,0	0,029
85	0,42	37,71	21,31	45,5	39,5	0,027
86	0,42	38,13	21,52	46,0	40,0	0,025
87	0,42	38,54	21,73	46,5	40,5	0,023
88	0,42	38,96	21,93	47,0	41,0	0,022
89	0,42	39,38	22,14	47,5	41,5	0,020
90	0,42	39,79	22,35	48,0	42,0	0,019
91	0,42	40,21	22,56	48,5	42,5	0,017
92	0,42	40,62	22,76	49,0	43,0	0,016
93	0,42	41,04	22,97	49,5	43,5	0,015
94	0,42	41,45	23,18	50,0	44,0	0,014
95	0,42	41,87	23,39	50,5	44,5	0,013
96	0,42	42,28	23,60	51,0	45,0	0,012
97	0,42	42,70	23,80	51,5	45,5	0,011
98	0,42	43,11	24,01	52,0	46,0	0,010
99	0,42	43,53	24,22	52,5	46,5	0,010
100	0,42	43,94	24,43	53,0	47,0	0,009

Примечание: AA – достигнутый возраст на момент оценки риска; w_a – годовая мощность экспозиции; W_a – кумулятивная экспозиция ДПР радона, накопленная при ОА ДПР радона категории C до возраста t ; AE – возраст на момент медианной экспозиции; TE – время, прошедшее с возраста на момент медианной экспозиции; ИОР – избыточный относительный риск.