

На правах рукописи

Васильев Алексей Серафимович

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

3.2.1. Гигиена

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Казань – 2024

Работа выполнена в Федеральном бюджетном учреждении 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

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор,
академик РАН

Романович Иван Константинович

Официальные оппоненты:

Балтрукова Татьяна Борисовна – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Тутельян Ольга Евгеньевна – кандидат медицинских наук, заведующий-врач по радиационной гигиене лабораторией радиационного контроля и физических факторов отдела лабораторного дела федерального государственного учреждения здравоохранения «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» Федерального медико-биологического агентства.

Защита диссертации состоится «__» _____ 2025 г. в ____ часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.061.02 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации и федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (420012, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России (420012, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49б) и на сайте организации (<https://kazan-gmu.ru>)

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор медицинских наук, доцент

Тaufеева Елена Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования.

Наибольший вклад в индивидуальную годовую эффективную дозу внутреннего облучения населения вносят изотопы радона (Барковский А.Н. и др., 2022; Киселёв С.М. и др., 2019). В Указе Президента Российской Федерации (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».*

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

Вынужденное использование для этих целей 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», в соответствии с п. 6.5 которых в помещениях перед измерением необходимо закрыть все окна и двери не менее чем на 12 ч, приводило к получению более высоких результатов измерений и закрытию ДУ, что, в свою очередь, сопровождалось ростом уровня радиотревожности среди населения.

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.

Задачи исследования:

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 объемной активности (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 РФ 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 (ЛО).

Методология и методы исследования организованы 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 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.

Апробация результатов исследования. Апробация диссертации проведена на заседании ученого совета ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева (протокол № 6 от 25.09.2024). Результаты исследования, 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» (Н. Новгород, 2023).

Материалы диссертационной работы представлены в конкурсе «Лучшая работа молодого ученого» 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 выводы и практические рекомендации.

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

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений, словаря

терминов, списка литературы из 278 источников (145 отечественных и 133 зарубежных), 3 приложений. Работа изложена на 170 страницах, содержит 25 таблиц и проиллюстрирована 22 рисунками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** представлен обзор литературы по теме диссертационного исследования.

Во **второй главе** изложены методологические аспекты работы.

С 2021 по 2022 гг. было обследовано 152 помещения 13 ДУ: 6 школ (Ш) и 7 детских садов (С) ЛО. Выполнено более 750 измерений ЭРОА изотопов радона экспрессным методом (после 12-часовой ночной выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 и в режиме нормальной эксплуатации ДУ в присутствии обучающихся), 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. Проведены 40 интегральных измерений ОА радона в воздухе жилых домов сотрудников обследованных ДУ и 7 – на открытой местности.

Для комплексной оценки радиационной обстановки и установления основного источника поступления радона в воздух помещений ДУ были проведены дополнительные измерения: плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта; мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения на открытой местности и в помещениях ДУ; удельной активности (УА) радона в пробах питьевой воды, а также суммарных показателей удельной альфа- и бета- активности; УА природных радионуклидов (ПРН) в пробах почвы с дальнейшим расчетом эффективной удельной активности ($A_{эфф}$) ПРН.

Индивидуальные годовые эффективные дозы внутреннего облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР рассчитывались согласно МУ 2.6.1.1088-02 и МР 2.6.1.0088-14.

Расчет показателей радиационного риска для здоровья обучающихся ДУ при ингаляции радона осуществлялся согласно МР 2.6.1.0145-19. Расчет абсолютного числа смертельных случаев радон-индуцированного рака легкого по многофакторной модели был осуществлен согласно МР 2.6.1.0172-20 на примере Гатчинского района ЛО с разработкой детального сценария неравномерного пожизненного облучения.

Статистический анализ данных проведен с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2016, Statistica 10 и включал: медианное, минимальное и максимальное значения (Med (min–max)), среднее геометрическое с 95%

доверительным интервалом (GM (CI95)), геометрическое стандартное отклонение (GSD) и среднее арифметическое (AM). 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.

В третьей главе представлены результаты радиационно-гигиенических обследований.

Результаты серий экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ, выполненных в будние дни после ночной 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами, оказались статистически значимо в 2–7 раз выше результатов аналогичных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ (Рисунок 1).

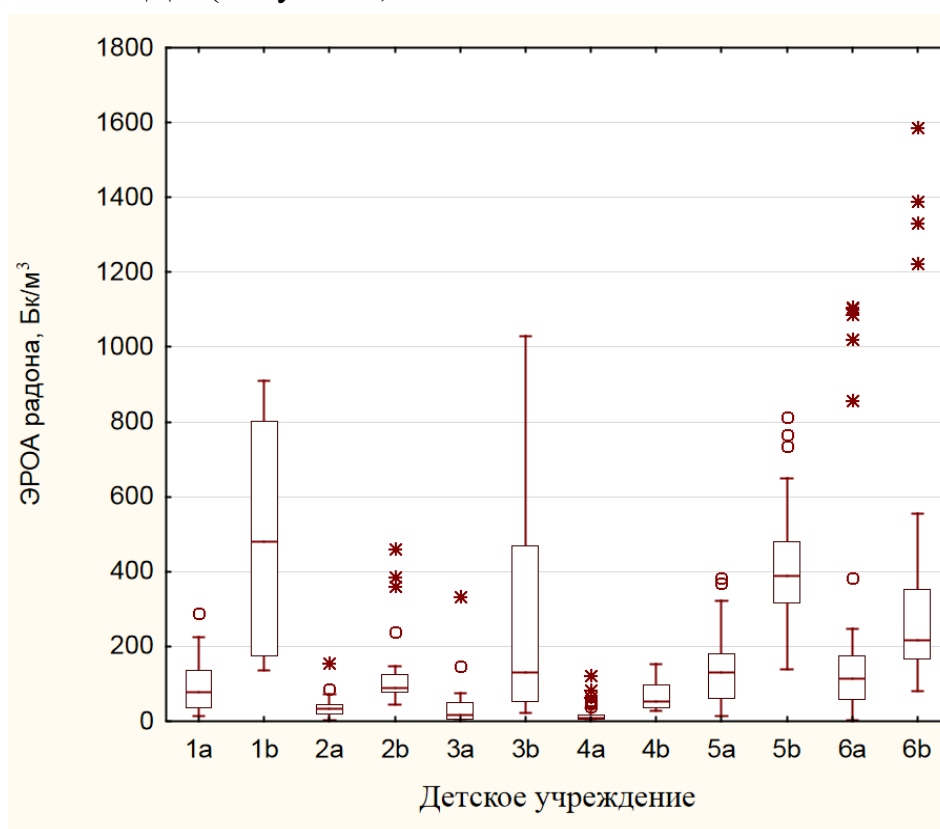


Рисунок 1 – Результаты серий экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ (а – в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; b – после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами; — — медиана; □ – нижний и верхний квартили; I – минимальное и максимальное значения; ○ – выброс; * – экстремальное значение)

Во всех обследованных помещениях результаты экспрессных измерений ЭРОА торона не превысили $0,5 \text{ Бк/м}^3$.

Медианные значения результатов интегральных измерений ЭРОА радона превышают соответствующие медианные значения результатов многократных экспрессных измерений ЭРОА радона, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания, от 2 до 10 раз (Таблица 1).

Таблица 1 – Обобщенные результаты измерений ЭРОА радона в воздухе помещений обследованных ДУ, Бк/м^3

ДУ	Экспрессный метод (н/э)				Интегральный метод				$R_{L/I \text{ norm.}}$, отн. ед.
	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
2С	16 (6–62)	16 (13–20)	1,8	19	61 (24–81)	56 (40–78)	1,6	60	3,8
3Ш	243 (30–368)	195 (157– 242)	1,8	220	415 (331–476)	414 (374–460)	1,2	418	1,7
4Ш	223 (12– 607)	154 (101– 232)	3,0	232	592 (288–1300)	627 (428–916)	1,7	704	2,7
8С	77 (13–289)	70 (46–104)	2,5	99	815 (313–1228)	667 (431–1032)	2,0	793	10,6
9С	34 (4–155)	30 (23–38)	2,1	38	118 (75–680)	145 (88–237)	2,2	202	3,5
10Ш	18 (1–333)	19 (12–29)	3,5	39	165 (10–1150)	166 (56–496)	5,8	422	9,2
5С	3 (1–6)	2 (2–3)	2,0	3	15 (7–45)	17 (10–27)	2,2	22	5,0
6Ш	2 (1–7)	2 (2–2)	1,9	2	5 (5–109)	10 (6–16)	2,6	18	2,5
7Ш	3 (1–13)	3 (2–4)	2,4	4	8 (5–55)	10 (7–15)	2,0	14	2,7
11С	9 (1–123)	9 (7–12)	3,2	17	78 (25–333)	85 (48–151)	2,3	115	8,7
12С	130 (14–382)	105 (89–124)	2,1	135	594 (330–750)	537 (451–638)	1,3	555	4,6
13Ш	113 (3–1106)	92 (71–118)	3,3	168	300 (100–2450)	316 (240–416)	2,1	438	2,7

Для 12С и 13Ш медианные значения результатов квазиинтегральных измерений ЭРОА радона составили 203 и 108 Бк/м^3 соответственно.

На временных сериях результатов измерений с помощью мониторов радона выявлялись выраженные паттерны суточного изменения ОА радона в воздухе помещений, обусловленные, в первую очередь, режимом эксплуатации помещений (Рисунок 2).

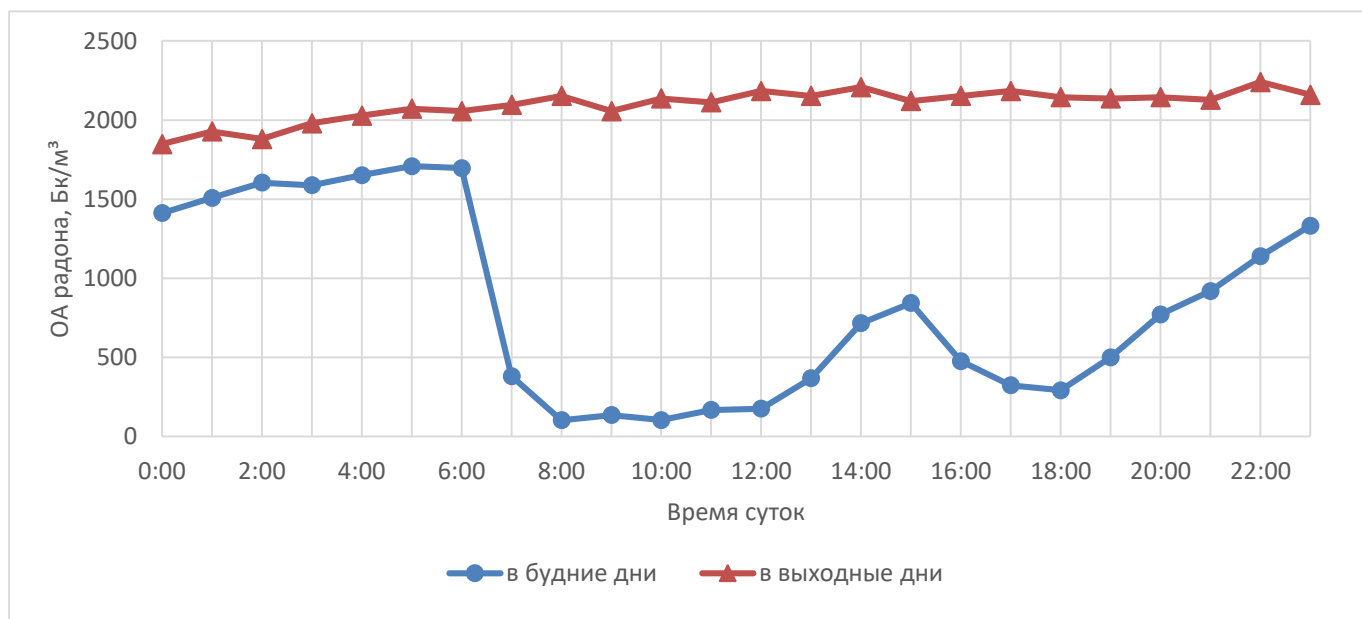


Рисунок 2 – Динамика медианных значений ОА радона в спальне группы «Колокольчик» 12С (28 ноября – 05 декабря 2022 г.)

Учитывая временную вариабельность содержания радона в воздухе помещений, а также принимая во внимание отсутствие мониторов радона во многих субъектах РФ, более корректной является оценка содержания радона по результатам многократных экспрессных измерений ЭРОА радона, проведенных спустя полчаса после проветривания в течение нескольких рабочих дней, а не по результатам единичного измерения в случайный момент времени.

Диапазон полученных значений ЭРОА радона в воздухе жилых домов обследованных населенных пунктов составил от 5 до 1170 Бк/м³, на открытой местности – от 4 до 18 Бк/м³.

Все обследованные помещения ДУ по МАЭД гамма-излучения в полной мере соответствуют требованиям нормативных документов к эксплуатируемым общественным зданиям. Значения удельной суммарной альфа- и бета-активности питьевой воды были ниже контрольных уровней, а УА ²²²Rn – ниже уровня вмешательства. $A_{эфф}$ ПРН в грунтах составила от 85 до 144 Бк/кг, ППР с поверхности грунта достигала 1790 мБк/(м²·с), а максимальная ЭРОА радона в подвале составила 2039 Бк/м³. Таким образом, результаты дополнительных исследований позволили установить источник поступления радона в воздух помещений ДУ – грунт под зданием. Из чего следует, что при обследовании ДУ

объем радиационного контроля обязательно должен включать все помещения с длительным пребыванием обучающихся первого этажа.

В четвертой главе представлены результаты гигиенической оценки доз облучения и радиационного риска для здоровья обучающихся в зависимости от метода контроля содержания радона в воздухе помещений ДУ.

Дозы облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Дозы облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ, мЗв/год

ДУ	Экспрессный метод		Квази-интегральный метод	Интегральный метод	$R_{I 12-h/l}$ норм., отн. ед.	$R_{S/l}$ норм., отн. ед.	$R_{L/l}$ норм., 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

На Рисунке 3 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).

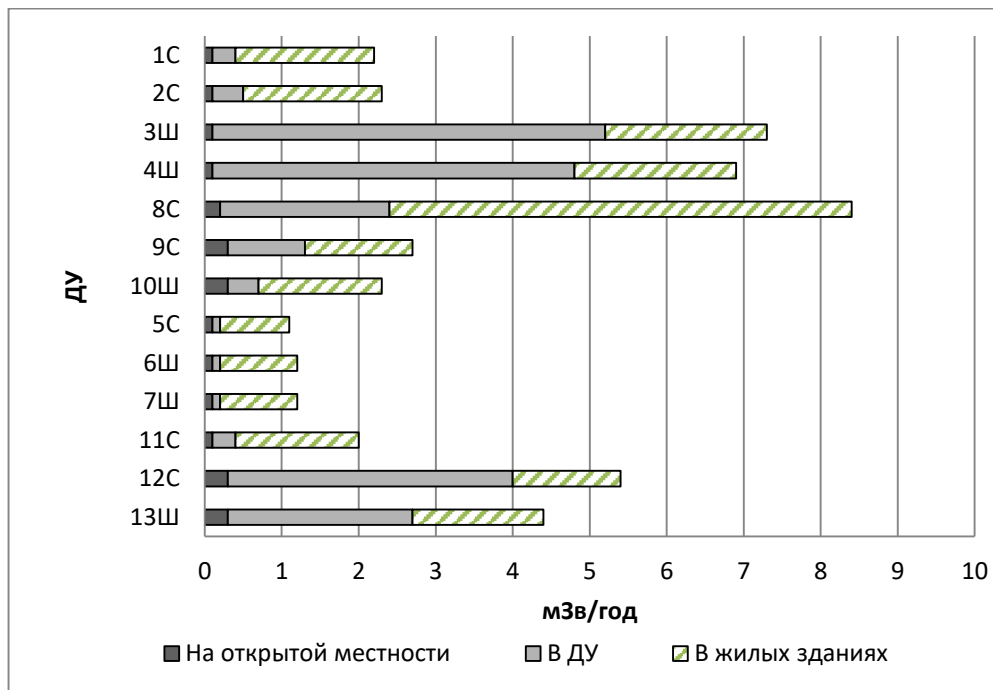


Рисунок 3 – Структура доз облучения обучающихся за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР

Уровни среднего индивидуального пожизненного риска смерти от индуцированного синергическим влиянием радона и курения рака легкого для обучающихся и сотрудников ДУ представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Уровни среднего индивидуального пожизненного риска смерти от индуцированного синергическим влиянием радона и курения рака легкого для обучающихся и сотрудников ДУ

ДУ	Экспрессный метод		Квази-интегральный метод	Интегральный метод	$R_{I12-h/l}$ 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
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

На Рисунке 4 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 – вариант № 2 и без проветривания – вариант № 1), оказывает существенное влияние на величину избыточного относительного риска (ИОР).

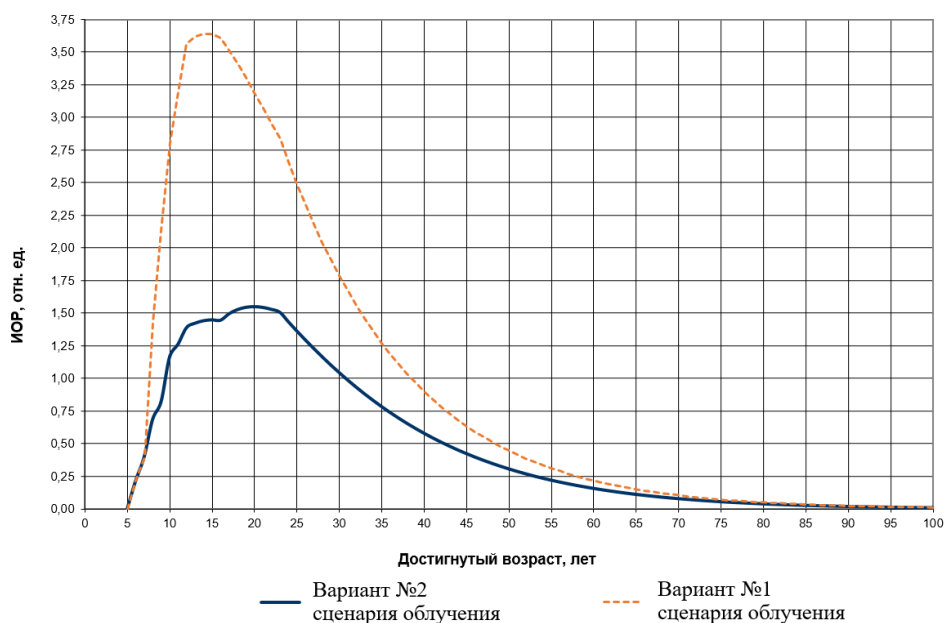


Рисунок 4 – График зависимости значения ИОР от достигнутого возраста

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.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

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»).

Испытательным лабораториям, проводящим радиационный контроль общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей:

1. Проводить измерения содержания радона в воздухе эксплуатируемых ДУ во всех помещениях первого и цокольного (при наличии) этажа с длительным

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.

пробыванием 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 (1):

$$\bar{C}_{CF} = \frac{C_{ХП} \cdot T_{ХП} + C_{ТП} \cdot T_{ТП}}{365}, \text{ Бк/м}^3, \quad (1)$$

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}_{CF} по формуле (1) суммарную неопределенность $U(\bar{C}_{CF})$ рассчитывать по формуле (2):

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

³ Продолжительность холодного периода года в субъектах РФ 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).

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 (3):

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

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}_{CR} .

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 (4):

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

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),

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».

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 (3), 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).

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 НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. Обоснование методических подходов к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных 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.

5. Васильев, А.С. Уровни содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий при различных условиях проведения измерений экспрессным методом / А.С. Васильев // Радиационная гигиена: итоги и перспективы : сборник трудов очно-заочной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – СПб. : ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, 2022. – С. 28–31.

6. 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.

7. Васильев, А.С. Важность выбора метода измерений содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий для корректной оценки доз / А.С. Васильев // Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены : материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора. – М. : ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 2022. – С. 51–52.

8. Васильев, А.С. Методические особенности проведения радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений детских учреждений / А.С. Васильев // Развивая вековые традиции, обеспечивая «Санитарный щит» страны : материалы XIII Всероссийского съезда гигиенистов, токсикологов и санитарных врачей с международным участием. – М. : ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 2022. – С. 144–148.

9. Васильев, А.С. Облучение обучающихся и сотрудников детских учреждений Ленинградской области природными источниками излучения. Часть 1: Результаты комплексного радиационного обследования / А.С. Васильев // Радиационная гигиена. – 2023. – Т. 16, № 2. – С. 65–77.

10. Васильев, А.С. Оценка доз облучения обучающихся и сотрудников детских учреждений за счет ингаляции изотопов радона / А.С. Васильев // Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены : сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора. – Н. Новгород : Медиаль, 2023. – С. 459–462.

11. Васильев, А.С. Облучение обучающихся и сотрудников детских учреждений Ленинградской области природными источниками излучения. Часть 2: Гигиеническая оценка доз облучения и радиационных рисков в зависимости от средств и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений / А.С. Васильев // Радиационная гигиена. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 56–66.

12. 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.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

12-ч выд. – экспрессное измерение после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами (п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11);

$A_{эфф}$ – эффективная удельная активность;

ДПР – дочерние продукты распада;

ДУ – детские учреждения;

ИОР – избыточный относительный риск;

ЛО – Ленинградская область;

МАЭД – мощность амбиентного эквивалента дозы;

МР – методические рекомендации;

МУ – методические указания;

н/э – экспрессное измерение в режиме повседневной эксплуатации здания;

ОА – объемная активность;

ППР – плотность потока радона;

ПРН – природные радионуклиды;

С – детский сад;

СИ – средство измерения;

УА – удельная активность;

Ш – школа;

ЭРОА – эквивалентная равновесная объемная активность;

AM – среднее арифметическое значение;

GM (CI95) – среднее геометрическое значение (95% доверительный интервал);

GSD – геометрическое стандартное отклонение;

min, max, med – минимальное, максимальное и медианное значения;

$R_{I\ 12\text{-h}/I\ \text{norm.}}$ – отношение значения *12-ч выд.*, к значению *н/э*;

$R_{L/I\ \text{norm.}}$ – отношение значения по результатам интегральных измерений к значению *н/э*;

$R_{S/I\ \text{norm.}}$ – отношение значения по результатам квазиинтегральных измерений к значению *н/э*.