

## 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

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

*На протяжении многих лет основным дозообразующим фактором для населения является внутреннее облучение за счет ингаляции изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе помещений. В статье приведены результаты гигиенической оценки доз внутреннего облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников некоторых детских учреждений Ленинградской области за счет ингаляции изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада в различных сценариях облучения, а также предложена методика радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий. Индивидуальные годовые эффективные дозы внутреннего облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона при нахождении в здании детского учреждения, рассчитанные на основе результатов экспрессных измерений эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона, выполненных в режиме нормальной эксплуатации зданий, составили от 0,1 до 3,7 мЗв/год для разных учреждений. Однако при расчете аналогичных доз облучения на основе результатов интегральных измерений объемной активности радона были получены значения до 10 раз выше (от 0,2 до 22,9 мЗв/год), а при использовании результатов экспрессных измерений эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона, выполненных после предварительной 12-часовой выдержки помещений при закрытых окнах и дверях при вынужденном использовании МУ 2.6.1.2838-11, — до 7 раз выше (от 0,1 до 13,5 мЗв/год), что не соответствует реальному сценарию облучения. Таким образом, при неправильном выборе средств или подходов к измерению содержания радона в воздухе облучение обучающихся и сотрудников некоторых обследованных детских учреждений, даже без учета вклада других природных источников ионизирующего излучения, может классифицироваться согласно ОСПОРБ 99/2010 не как приемлемое, а как повышенное (свыше 5 до 10 мЗв/год) или даже как высокое (более 10 мЗв/год). Значение среднего индивидуального пожизненного риска смерти от радон-индуцированного рака легкого (на основе результатов измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе помещений детских учреждений экспрессным методом, выполненных в режиме нормальной эксплуатации зданий) для обучающихся и сотрудников обследованных детских учреждений составило от  $1,6 \cdot 10^{-4}$  до  $1,4 \cdot 10^{-3}$ , а использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений детских учреждений с помощью других методов или подходов, как правило, не приводило к существенному увеличению показателей риска, однако в некоторых случаях сопровождалось изменением в ранжировании показателя риска. Полученные данные могут быть использованы для совершенствования методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий в Российской Федерации, что в дальнейшем позволит получать корректные значения доз облучения и радиационных рисков для здоровья населения.*

**Ключевые слова:** радон, дочерние продукты распада, внутреннее облучение, индивидуальные годовые эффективные дозы, радиационные риски, общественные здания, детские учреждения.

Васильев Алексей Серафимович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева  
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: a.vasilev@niirg.ru

**Введение**

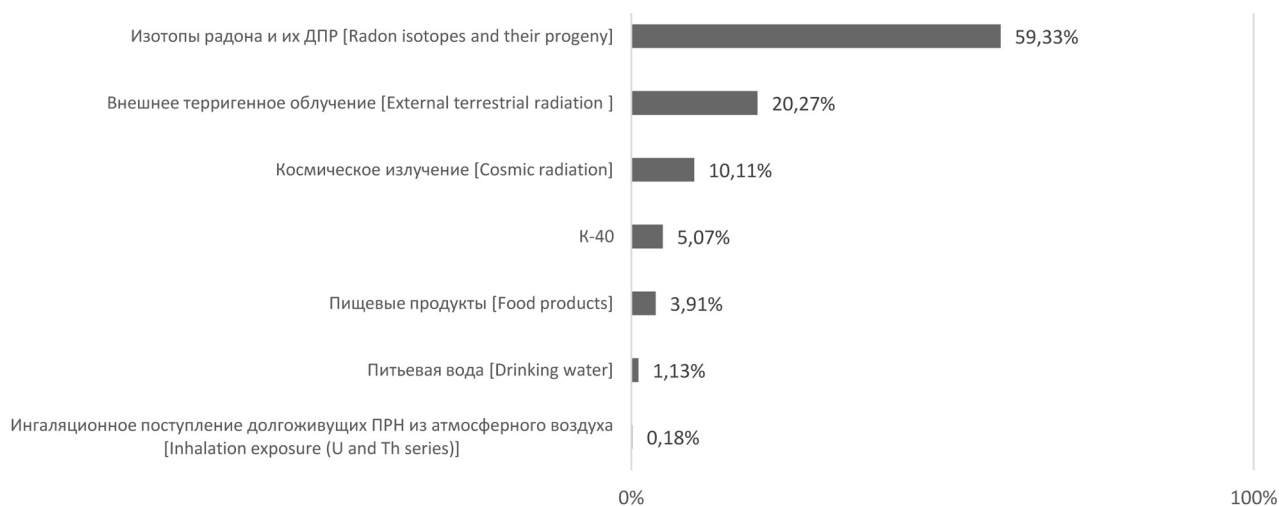
В Указе Президента<sup>1</sup> РФ от 2018 г. ставится задача по «совершенствованию государственного контроля (надзора) за воздействием на здоровье человека природных источников ионизирующего излучения, в том числе радона и продуктов его распада, в жилых домах, детских учреждениях, общественных и производственных зданиях».

Как авторитетные международные организации (ВОЗ, МКРЗ, МАГАТЭ), так и российские уделяют большое внимание радоновой проблеме, поскольку наибольший вклад в индивидуальную годовую эффективную дозу внутреннего облучения (далее – дозу облучения) населения, которую люди получают от всех источников ионизирующего излучения (ИИИ), включая медицинские и техногенные (при отсутствии радиационных аварий и инцидентов), вносят изотопы радона [1–5]. В структуре доз облучения населения РФ за счет всех природных источников иони-

зирующего излучения (ПИИИ) вклад изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада (ДПР) составляет почти 60% (рис. 1) [5].

Средние дозы облучения населения Санкт-Петербурга и Ленинградской области за счет ингаляции изотопов радона по данным измерений за период с 2001 по 2021 г., составляют 1,73 и 1,92 мЗв/год соответственно [5].

Дозы облучения обучающихся и сотрудников детских учреждений (ДУ), как правило, больше зависят от уровня содержания радона в воздухе помещений ДУ, которые сильно варьируются в течение дня. Суточный ход содержания радона в ДУ напрямую связан в том числе с кратностью и длительностью проведения проветриваний помещений (учебных кабинетов, зон рекреации и т.д.), закрепленных в санитарном законодательстве РФ<sup>2,3,4</sup>. Кроме того, необходимость соблюдения режима проветривания помещений ДУ в осенне-зимний период обусловлена проведением ежегодного комплекса меро-



**Рис. 1.** Структура средней индивидуальной годовой эффективной дозы природного облучения населения РФ за 2001–2021 гг.

[Fig. 1. The structure of the average individual annual effective dose from natural sources of radiation to the population of the Russian Federation in 2001–2021]

<sup>1</sup> Указ Президента РФ от 13.10.2018 г. № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» [Decree of the President of the Russian Federation on 13.10.2018 No. 585 “On the establishment of the Principles of the governmental policy in the field of the provision of the nuclear and radiation safety of the Russian Federation up to 2025 and for the later perspective”. (In Russ.)]

<sup>2</sup> Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 2 [Hygienic norms and requirements to ensure the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. Sanitary rules and norms SanPiN 1.2.3685-21. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 28.01.2021 No. 2. (In Russ.)]

<sup>3</sup> 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): Санитарные правила СП 3.1/2.4.3598-20. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 30.06.2020 г. № 16 (ред. от 02.11.2021) [Sanitary and epidemiological requirements for the design, maintenance and organization of work of educational organizations and other social infrastructure facilities for children and youth in the conditions of the spread of a new coronavirus infection (COVID-19). Sanitary rules SP 3.1/2.4.3598-20. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 30.06.2020 No. 16 (as amended on 02.11.2021). (In Russ.)]

<sup>4</sup> Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи: Санитарные правила СП 2.4.3648-20. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.09.2020 г. № 28 [Sanitary and epidemiological requirements for organizations providing education and training, recreation and health improvement of children and youth. Sanitary rules SP 2.4.3648-20. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 28.09.2020 No. 28. (In Russ.)]

приятный по профилактике гриппа и острых респираторных вирусных инфекций<sup>5</sup>.

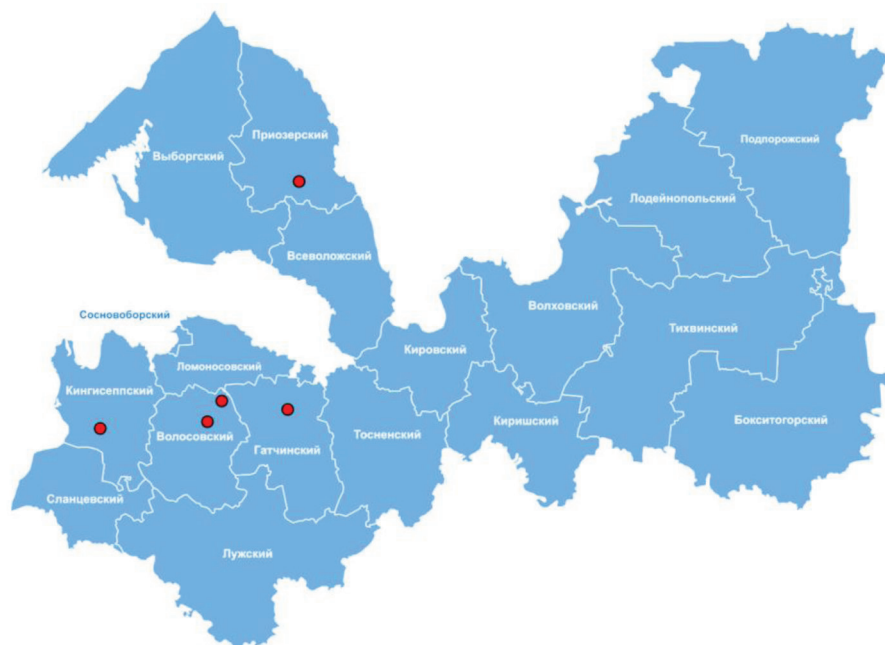
Использование в рамках контрольно-надзорных мероприятий существующей методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений зданий после окончания их строительства, капитального ремонта или реконструкции<sup>6</sup> из-за отсутствия других утвержденных методических указаний (рекомендаций) при радиационном контроле содержания радона в воздухе эксплуатируемых общественных зданий приводит 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 [6–7].

Сложившаяся ситуация серьезно затрудняет организацию и проведение обследований эксплуатируемых ДУ, снижает качество и достоверность получаемой информации как о реальных уровнях содержания радона в воздухе помещений, так и о дозах облучения и радиационных рисках.

**Цель исследования** – дать гигиеническую оценку дозам облучения и радиационным рискам у обучающихся и сотрудников ДУ за счет ингаляции изотопов радона на основании результатов собственных обследований ДУ с применением различных средств и подходов к измерению содержания радона в воздухе для разработки методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий.

### Материалы и методы

Расчет доз облучения за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР, а также показателей радиационного риска осуществлялся для обучающихся и сотрудников ДУ, расположенных на территориях некоторых районов Ленинградской области, являющихся радоноопасными по геологическим и геофизическим причинам [3, 8–9], с использованием измерительных данных, опубликованных в первой части статьи [10]. На рисунке 2 приведена карта Ленинградской области, на которой отмечено рас-



**Рис. 2.** Карта Ленинградской области с отмеченными населенными пунктами, в которых были проведены измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ в 2022 г.

**[Fig. 2.** Map of the Leningrad region with marks indicating settlements where radon surveys were conducted in 2022]

<sup>5</sup> Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.07.2022 г. № 20 «О мероприятиях по профилактике гриппа и острых респираторных вирусных инфекций в эпидемическом сезоне 2022–2023 годов» (Зарегистрировано в Минюсте России 22.08.2022 г. № 69712) [Decree of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 28.07.2022 No. 20 “About measures for the prevention of influenza and acute respiratory viral infections in the epidemic season of 2022-2023” (Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 22.08.2022 No. 69712). (In Russ.)]

<sup>6</sup> 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. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2011 г. (далее – МУ 2.6.1.2838-11). [Radiation control and sanitary-epidemiological evaluation of residential, public and industrial buildings and facilities after finishing their construction, capital repair, reconstruction. Guidelines MU 2.6.1.2838-11. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 28.01.2011 (hereinafter – MU 2.6.1.2838-11). (In Russ.)]

<sup>7</sup> Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Методические указания МУ 2.6.1.1088-02. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 04.01.2002 г. [Assessment of individual effective doses to the population due to natural sources of ionizing radiation. Guidelines MU 2.6.1.1088-02. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 04.01.2002. (In Russ.)]

положение обследованных ДУ, в которых были проведены измерения содержания радона в воздухе помещений различными методами в 2022 г.

Дозы облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР рассчитывались согласно методическим указаниям МУ 2.6.1.1088-02<sup>7</sup> и рекомендациям МР 2.6.1.0088-14<sup>8</sup> с использованием дозового коэффициента  $9,0 \cdot 10^{-6}$  мЗв/(Бк·ч/м<sup>3</sup>) [11, 12]. 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) [11, 12], значение итогового дозового коэффициента составило  $9,45 \cdot 10^{-6}$  мЗв/(Бк·ч/м<sup>3</sup>). Показатели радиационного риска были рассчитаны согласно методическим рекомендациям МР 2.6.1.014519<sup>9</sup>. Детальное описание расчетов и формулы представлены в более ранней публикации [7]. Поскольку дозы облучения и радиационные риски были рассчитаны не для всех жителей обследованных населенных пунктов или районов, а для конкретной когорты населения (обучающихся и сотрудников ДУ), в расчетах для получения консервативной оценки 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.

Для перехода от измеренных значений ОА радона к ЭРОА радона использовалось значение коэффициента радиоактивного равновесия между радонем и его ДПР  $F_{Pn}=0,5$  для воздуха помещений и  $F_{Pn}=0,6$  для атмосферного воздуха.

### Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены результаты расчета доз облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ.

Таблица 1

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

[Table 1

**Doses to students (pupils) and employees from exposure to radon and its progeny in the rooms of some educational institutions (based on the results of instant, short-term and long-term measurements), mSv/year]**

Детское учреждение, населенный пункт [Educational institution, settlement]	Экспрессный метод [Instant measurements]		Квазиинтегральный метод [Short-term measurements]	Интегральный метод [Long-term measurements]	$R_{12-h/l}$ норм. ед. [rel. un.]	$R_{S/l}$ норм. ед. [rel. un.]	$R_{L/l}$ норм. ед. [rel. un.]
	12-ч выд. [12-h]	Н/э [Norm.]					
Детский сад, д. Клопицы [Kindergarten, Klopitsy]	13,5	2,2	–	22,9	6	–	10
Детский сад, п. Сельцо [Kindergarten, Sel'tso]	2,6	1,0	–	3,4	3	–	3
Школа, п. Сельцо [School, Sel'tso]	2,8	0,4	–	3,5	7	–	9
Детский сад № 3, г. Кингисепп [Kindergarten No. 3, Kingisepp]	0,2	0,1	–	0,5	2	–	5
Школа № 5, г. Кингисепп [School No. 5, Kingisepp]	0,1	0,1	–	0,2	1	–	2
Школа № 6, г. Кингисепп [School No. 6, Kingisepp]	0,1	0,1	–	0,2	1	–	2
Детский сад № 2, п. Сосново [Kindergarten, Sosnovo]	1,5	0,3	–	2,2	5	–	7

<sup>8</sup> 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. Утверждены врио Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 18.03.2014 г. (далее – МР 2.6.1.0088-14) [Federal statistical form No. 4-DOZ. Data on doses of public exposure to natural and technologically enhanced radiation background. Guidelines MR 2.6.1.0088-14. Approved by the acting Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 18.03.2014 (hereinafter – MR 2.6.1.0088-14). (In Russ.)]

<sup>9</sup> 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. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 23.04.2019 г. [Calculation of radiation risk indicators based on the data contained in the radiation and hygienic passports of the territories to provide a comprehensive comparative assessment of the radiation safety status of the population of the subjects of the Russian Federation. Guidelines MR 2.6.1.0145-19. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 23.04.2019. (In Russ.)]



Детское учреждение, населенный пункт [Educational institution, settlement]	Экспрессный метод [Instant measurements]		Квазиинтегральный метод [Short-term measurements]	Интегральный метод [Long-term measurements]	$R_{12-h/l}$ <sup>norm.</sup> отн. ед. [rel. un.]	$R_{S/l}$ <sup>norm.</sup> отн. ед. [rel. un.]	$R_{L/l}$ <sup>norm.</sup> отн. ед. [rel. un.]
	12-ч выд. [12-h]	Н/э [Norm.]					
Детский сад, д. Большие Колпаны [Kindergarten, Bol'shie Kolpany]	11,0	3,7	5,8	16,7	3	2	5
Школа, д. Большие Колпаны [School, Bol'shie Kolpany]	4,6	2,4	2,3	6,4	2	1	3

12-ч выд. – экспрессное измерение после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверями и окнами; н/э – экспрессное измерение в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ;  $R_{12-h/l}^{norm.}$  – отношение значения средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверями и окнами, к значению средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ;  $R_{S/l}^{norm.}$  – отношение значения средней дозы облучения по результатам остальных ДУ квазиинтегральных измерений к значению средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ;  $R_{L/l}^{norm.}$  – 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.  
[12-h – instant measurements after 12 hours with closed doors and windows; Norm. – instant measurements in the normal operation mode of the building of educational institution;  $R_{12-h/l}^{norm.}$  – ratio of average dose calculated from the results of instant measurements taken after 12 hours with closed doors and windows to average dose calculated from the results of instant measurements taken in the normal operation mode of the building of educational institution;  $R_{S/l}^{norm.}$  – ratio of average dose calculated from the results of short-term measurements to average dose calculated from the results of instant measurements taken in the normal operation mode of the building of educational institution;  $R_{L/l}^{norm.}$  – ratio of average dose calculated from the results of long-term measurements to average dose calculated from the results of instant measurements taken in the normal operation mode of the building of educational institution.]

Из таблицы 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 и сотрудников ДУ, за исключением ДУ г. Кингисеппа, в которых были зарегистрированы очень низкие значения ЭРОА радона независимо от режима эксплуатации помещений (от 1 до 13 Бк/м<sup>3</sup>). Для остальных ДУ дозы облучения обучающихся и сотрудников 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 3,7 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<sup>10</sup> не как приемлемое (менее 5 мЗв/год), а как повышенное (свыше 5 до 10 мЗв/год) и даже как высокое (более 10 мЗв/год), например, для воспитанников и сотрудников детского сада

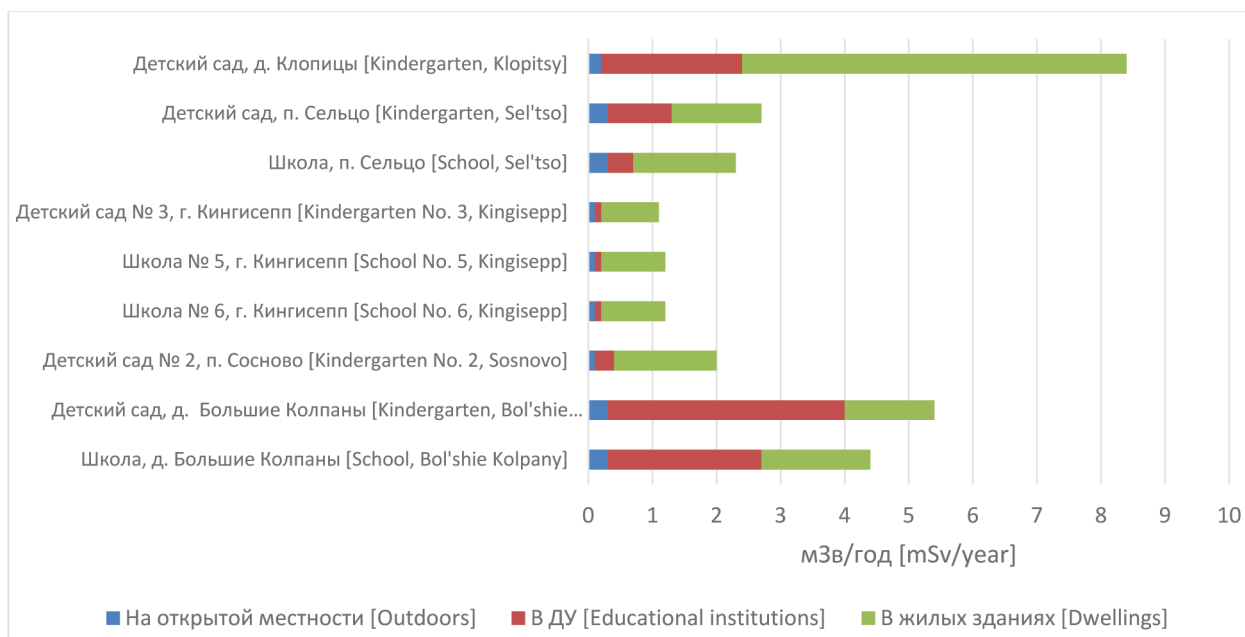
д. Клопицы Волосовского района Ленинградской области и детского сада д. Большие Колпаны Гатчинского района Ленинградской области.

Дозы облучения 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 и сотрудников ДУ, 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 или высокому.

При использовании в расчетах результатов квазиинтегральных измерений ОА радона, дозы облучения обучающихся и сотрудников ДУ д. Большие Колпаны 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. Однако результатов квазиинтегральных измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ было получено не так много, в связи с чем целесообразно продолжить исследование с применением данного метода.

На рисунке 3 представлена структура доз облучения за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР, учитывающая не только нахождение людей в помещениях ДУ (на основе результатов измерения ЭРОА изотопов радона в воздухе

<sup>10</sup> Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): Санитарные правила и нормы СП 2.6.1.2612-10. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26.04.2010 г. № 40. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 11 августа 2010 г., регистрационный № 18115 [Basic sanitary rules for the provision of radiation safety (OSPORB 99/2010). Sanitary rules and norms SP 2.6.1.2612-10. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 26.04.2010 No. 40. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on August 11, 2010, registration No. 18155. (In Russ.)]



**Рис. 3.** Структура доз облучения обучающихся и сотрудников ДУ за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР  
**[Fig. 3.** Structure of doses to students (pupils) and employees of educational institutions from exposure to radon and its progeny]

помещений экспрессным методом в режиме нормальной эксплуатации здания), но также пребывание в жилых зданиях и вне помещений (на открытой местности).

Как видно из рисунка 3, наибольшая суммарная доза облучения за счет ингаляции изотопов радона была получена для обучающихся и сотрудников в д. Клопицы (8,4 мЗв/год) и д. Большие Колпаны (5,4 и 4,4 мЗв/год). В структуре доз облучения обучающихся и сотрудников в д. Клопицы наибольший вклад вносит пребывание дома, а не в помещениях ДУ, в связи с чем целесообразно уточнить уровни содержания радона в воздухе жилых домов жителей данного населенного пункта с вовлечением большего количества желающих (в данном исследовании было обследовано только 6 жилых домов сотрудников детского сада д. Клопицы). 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.

Сравнительный анализ показал, что доза облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР в детском саду д. Клопицы выше средней дозы облучения у населения Ленинградской области (1,92 мЗв/год [5]) и у населения Российской Федерации в целом (1,99 мЗв/год [5]) в 4 раза, в детском саду д. Большие Колпаны – в 3 раза, в школе д. Большие Колпаны – в 2 раза.

Вклад остальных ПИИИ в дозу облучения населения в Ленинградской области значительно меньше и составляет в сумме 1,54 мЗв/год (за счет 40К – 0,17 мЗв/год, космического излучения – 0,335 мЗв/год, внешнего терригенного облучения – 0,81 мЗв/год, ингаляции долгоживущих природных радионуклидов с пылью из атмосферного воздуха – 0,006 мЗв/год, перорального поступления природных радионуклидов при потреблении продуктов

питания и питьевой воды – 0,150 мЗв/год и 0,064 мЗв/год соответственно) [5].

Значения среднего индивидуального пожизненного риска смерти от радон-индуцированного 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 2.

Традиционно индивидуальные пожизненные риски смерти от радониндуцированного рака легкого остаются наиболее значимыми по сравнению с другими радиационными рисками для населения за счет различных ИИИ. Так, например, средний индивидуальный пожизненный риск от перорального поступления природных радионуклидов при потреблении продуктов питания и питьевой воды и средний риск за счет медицинского облучения на 1–2 порядка величины ниже и составляют  $1,2 \cdot 10^{-5}$  и  $1,4 \cdot 10^{-5}$  соответственно [7].

Использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным методом, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверями 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 ДУ г. Кингисепп), 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 рисков показали, что, согласно классификации, принятой для оценки уровней риска при воздействии химических веществ и радона [3], облучение обучающихся и сотрудников ДУ п. Сельцо,

Таблица 2

Средние индивидуальные пожизненные риски смерти от радон-индуцированного рака легкого для обучающихся и сотрудников ДУ (на основе результатов измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным, квазиинтегральным и интегральным методами)

[Table 2

Average individual lifetime risks of radon-induced lung cancer death for students (pupils) and employees of educational institutions (based on the results of instant measurements of radon EEC, short-term and long-term measurements of radon concentration)]

Детское учреждение, населенный пункт [educational institution, settlement]	Экспрессный метод [Instant measurements]		Квазиинтегральный метод [Short-term measurements]	Интегральный метод [Long-term measurements]
	12-ч выд. [12-h]	Н/э [Norm.]		
Детский сад, д. Клопицы [Kindergarten, Klopitsy]	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	–	$4,9 \cdot 10^{-3}$
Детский сад, п. Сельцо [Kindergarten, Sel'tso]	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	–	$8,1 \cdot 10^{-4}$
Школа, п. Сельцо [School, Sel'tso]	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	–	$8,7 \cdot 10^{-4}$
Детский сад № 3, г. Кингисепп [Kindergarten No. 3, Kingisepp]	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	–	$2,1 \cdot 10^{-4}$
Школа № 5, г. Кингисепп [School No. 5, Kingisepp]	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	–	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Школа № 6, г. Кингисепп [School No. 6, Kingisepp]	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	–	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Детский сад № 2, п. Сосново [Kindergarten № 2, Sosnovo]	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	–	$6,3 \cdot 10^{-4}$
Детский сад, д. Большие Колпаны [Kindergarten, Bol'shie Kolpany]	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$
Школа, д. Большие Колпаны [School, Bol'shie Kolpany]	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$

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.

[12-h – instant measurements after 12 hours with closed doors and windows; Norm. – instant measurements in the normal operation mode of the building of educational institutions.]

г. Кингисеппа и п. Сосново 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 и сотрудников ДУ д. Клопицы – неприемлемым ни для населения, ни для персонала (IV уровень,  $R_i > 10^{-3}$ ). В данном исследовании наблюдается изменение в ранжировании показателя риска для обучающихся и сотрудников д. Большие Колпаны 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 детском саду), 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.

### Заключение

Неправильный выбор средств и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений ДУ из-за отсутствия утвержденного методического документа, регламентирующего процедуру радиационного контроля таких зданий, может приводить к получению некорректной измерительной информации и принятию на ее основе ошибочных управленческих решений.

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, возможные эффективные дозы обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях обследованных ДУ составили от 0,1 до 3,7 мЗв/год. Однако при использовании в расчетах результатов экспрессных измерений, выполненных после предварительной 12-часовой выдержки помещений при закрытых окнах и дверях, дозы облучения были бы завышены до 7 раз и составили бы от 0,1 до 13,5 мЗв/год для разных ДУ, а при использо-

вании результатов интегральных измерений – до 10 раз и составили бы от 0,2 до 22,9 мЗв/год для разных ДУ. То есть даже без учета вклада других ПИИИ, облучение некоторой когорты населения могло бы классифицироваться согласно ОСПОРБ 99/2010 не как приемлемое (менее 5 мЗв/год), а как повышенное (свыше 5 до 10 мЗв/год) и даже как высокое (более 10 мЗв/год), что, в свою очередь, могло стать причиной необоснованного проведения радонозащитных мероприятий в зданиях ДУ (согласно п. 5.1.2 ОСПОРБ 99/2010), требующих, как правило, существенных финансовых затрат.

Традиционно индивидуальные пожизненные риски смерти от радон-индуцированного рака легкого остаются наиболее значимыми в сравнении с рисками от прочих вредных факторов окружающей среды как ионизирующей, так и неионизирующей природы, являющихся причинами легочного канцерогенеза. Использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным методом, выполненных после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверями и окнами вместо результатов экспрессных измерений, выполненных в часы работы ДУ, приводит к незначительному увеличению показателей радиационного риска до 2,4 раз, а использование результатов измерения интегральным методом – до 3,5 раз. В некоторых случаях (например, в ДУ д. Большие Колпаны) 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.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, с целью получения наиболее приближенных к реальному сценарию облучения населения значений содержания радона в воздухе помещений, доз облучения и радиационных рисков, а также дальнейшего принятия эффективных управленческих решений, радиационный контроль содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых ДУ необходимо проводить с использованием многократных экспрессных измерений в режиме нормальной эксплуатации здания в будние дни в присутствии обучающихся и/или сотрудников (не менее чем через 1 ч после окончания проветривания помещений согласно штатному графику) или измерений с помощью мониторов радона при условии, что для расчета средней ОА радона будут использованы только результаты, полученные в рабочее время. При этом при использовании непрерывного метода для расчета нормируемого показателя (среднегодового значения ЭРОА изотопов радона) необходимо обязательно проводить измерение ЭРОА торона с помощью экспрессного метода в начале и конце пробоотбора. Пассивный интегральный метод ввиду его особенностей может быть использован при наличии соответствующих СИ лишь как скрининговый инструмент (первичный этап), позволяющий одновременно проводить массовые обследования эксплуатируемых ДУ в различных населенных пунктах (регионах), даже в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки на территории, что соответствует сделанному ранее выводу [6], а также согласуется с подходами зарубежных коллег [13–16].

Предложенная двухступенчатая методика радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий (школ, детских садов) основана на рекомендациях международных организаций, анализе научной литературы, а также стандартизированных 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.

МУ 2.6.1.2838-11, разработанные более 10 лет назад, не предназначены для обследования эксплуатируемых ДУ и подразумевают 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 корректной оценки доз облучения и радиационных рисков для здоровья населения.

#### Благодарности

Автор выражает благодарность руководству Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ленинградской области за помощь в организации проведения измерений.

Автор также благодарен рецензентам за конструктивные замечания и предложения, которые позволили существенно улучшить качество статьи.

#### Информация о конфликте интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### Источники финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### Литература

1. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva: WHO Press, 2009. 110 p.
2. Радиологическая защита от облучения радоном. Перевод публикации 126 МКРЗ. Под ред. М.В. Жуковского, И.В. Ярмошенко, С.М. Киселева. М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2015. 92 с.
3. Романович И.К., Стамат И.П., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия. Под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. 432 с.
4. Киселев С.М., Жуковский М.В., Стамат И.П., Ярмошенко И.В. Радон. От фундаментальных исследований к практике регулирования. М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2016. 432 с.
5. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р., др. Радиационная обстановка на территории Российской Федерации в 2021 году: справочник. СПб., 2022. 72 с.
6. Васильев А.С., Романович И.К., Кононенко Д.В., и др. Обоснование методических подходов к контролю содержания радона в воздухе помещений экс-



- плуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 29–40. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-29-40.
7. Васильев А.С., Романович И.К., Кормановская Т.А., и др. 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 // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 6–18. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-6-18
  8. Бердников П.В., Горский А.В. Изучение радоноопасности территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области // АНРИ. 2008. № 2(53). С. 56–59.
  9. Горбанев С.А., Еремина Л.А., Курганов Н.Н. Основные направления взаимодействия Управления Роспотребнадзора по Ленинградской области и Правительства Ленинградской области по обеспечению радиационной безопасности населения // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1, № 1. С. 41–46.
  10. Васильев А.С. Облучение обучающихся и сотрудников детских учреждений Ленинградской области природными источниками излучения. Часть 1: Результаты комплексного радиационного обследования // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 2. С. 65–77. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-65-77.
  11. 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.
  12. 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.
  13. 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: 01.02.2023).
  14. Bican-Brişan N., Dobrei G.-C., Burgehele B.-D., Cucos (Dinu) A.-L. First Steps towards a National Approach for Radon Survey in Romanian Schools // Atmosphere. 2022. Vol. 13, No 1. P. 59. DOI: 10.3390/atmos13010059
  15. Kojo K., Turtiainen T., Holmgren O., Kurttio P. Radon Exposure Concentrations in Finnish Workplaces // Health Physics. 2023. Vol. 0, No 0. – P. 10.1097. DOI: 10.1097/HP.0000000000001692.
  16. 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: 01.02.2023).

Поступила: 19.04.2023 г.

---

**Васильев Алексей Серафимович** – аспирант, исполняющий обязанности младшего научного сотрудника лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: a.vasilev@niirg.ru  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1277-3807>

**Для цитирования:** 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 // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 56-66. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-56-66

## Exposure of students (pupils) and employees of educational institutions in the Leningrad region to natural sources of radiation Part 2: Hygienic assessment of doses and health risks depending on methods and approaches to measuring indoor radon concentration

Alexey S. Vasilyev

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

*For many years internal exposure to radon has been the main contributor to the annual dose to the population. The paper presents results of a hygienic assessment of doses and health risks for students (pupils) and employees of several educational institutions of the Leningrad region due to exposure to radon and its progeny, and also suggests the protocol for conducting measurements of indoor radon concentration in existing operated public buildings. Individual annual effective doses to students (pupils) and employees due to exposure to radon while in the building of an educational institution calculated on the basis of the results of instant measurements of radon EEC obtained in the normal operation mode of buildings ranged from 0.1 to 3.7 mSv/year for different institutions. However, calculation on the basis of the results of long-term measurements of radon concentration resulted in the dose values up to 10 times higher (from 0.2 to 22.9 mSv/year). Moreover, calculation on the basis of the results of instant measurements of radon EEC after leaving the premises for 12 hours with closed windows and doors according to the requirements of paragraph 6.5 of MU 2.6.1.2838-11 resulted in the dose values up to 7 times higher (from 0.1 to 13.5 mSv/year). Nevertheless, these high dose values do not reflect the real exposure scenario. According to the classification established in sanitary rules and norms OSPORB 99/2010, the exposure of students (pupils) and employees of several educational institutions can be classified as "increased" (from 5 to 10 mSv/year) or as "high" (more than 10 mSv/year) depending on methods and approaches to measuring indoor radon concentration. The average individual lifetime risk of radon-induced lung cancer death (based on the results of instant measurements of radon EEC obtained in the normal operation mode of buildings) for students (pupils) and employees of surveyed educational institutions ranged from  $1.6 \cdot 10^{-4}$  to  $1.4 \cdot 10^{-3}$ . However, the usage of the results obtained with other methods and approaches to measuring indoor radon concentration, as a rule, did not lead to a significant increase in risk value, but in some cases it led to a change in the risk level category. The results of the assessment can be used to improve the method for indoor radon concentration monitoring in existing operated public buildings in the Russian Federation, which in turn will make it possible to obtain correct values of public doses and health risks.*

**Key words:** radon, progeny, internal exposure, annual effective dose, radiation risk, public building, educational institution.

### Acknowledgements

The author would like to thank the management of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Leningrad Region for assistance in organizing measurements.

The author is also grateful to the reviewers for constructive comments and suggestions that have significantly improved the quality of the manuscript.

### Information on the conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### Sources of funding

The study had no sponsorship.

### References

1. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva: WHO Press; 2009. 110 p.
2. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43. 2014;3. 73 p.
3. Romanovich IK, Stamat IP, Kormanovskaya TA, Kononenko DV. Natural sources of ionizing radiation: radiation doses, radiation risks, preventive measures. Saint-Petersburg: FBUN NIIRG im. P.V. Ramzaeva; 2018. 432 p. (In Russian).
4. Kiselev SM, Zhukovsky MV, Stamat IP, Yarmoshenko IV. Radon. From fundamental research to regulatory practice. Moscow: Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical-Biological Agency; 2016. 432 p. (In Russian).
5. Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Akhmatdinov RR, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Information packet: Radiation situation on the territory of the Russian Federation in 2021. St. Petersburg; 2022. 72 p. (In Russian).
6. Vasilyev AS, Romanovich IK, Kononenko DV, Kormanovskaya TA, Saprykin KA, Balabina TA. Substantiation of methodical approaches to the control of indoor radon concentration in existing public buildings with non-round-the-clock stay of people. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*.

Alexey S. Vasilyev

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101; Russian Federation. E-mail: a.vasilev@niirg.ru

- 2021;14(3): 29–40. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-29-40. (In Russian).
7. Vasilyev AS, Romanovich IK, Kormanovskaya TA, Kononenko DV, Istorik OA, Eremina LA. Comparative assessment of doses and health risks for students (pupils) and employees of several educational institutions in the Leningrad region, depending on methods and approaches to measuring indoor radon concentration. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022; 15(2): 6–18. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-6-18. (In Russian).
  8. Berdnikov PV, Gorky VA. Study of the radon hazard on the territory of St. Petersburg and the Leningrad region. *Association of science editors and publishers*. 2008;2(53): 56–59. (In Russian).
  9. Gorbanev SA, Eremina LA, Kurganov NN. The Main Trends of Interaction between the Administration of Rospotrebnadzor in the Leningrad Region and the Government of Leningrad Region in the field of population radiation protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2008;1(1): 41–46. (In Russian).
  10. Vasilyev AS. Exposure of students (pupils) and employees of educational institutions in the Leningrad region to natural sources of radiation. Part 1: Results of a comprehensive survey. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(2): 65–77. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-65-77. (In Russian).
  11. 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.
  12. 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.
  13. Protocol for radon measurements in schools and kindergartens. The Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA); 2015. 21 p. Available from: <https://dsa.no/en/radon/radon-in-schools-and-kindergartens> [Accessed 01 Feb 2023].
  14. Bican-Brişan N, Dobrei G-C, Burgehele B-D, Cucuș (Dinu) A-L. First Steps towards a National Approach for Radon Survey in Romanian Schools. *Atmosphere*. 2022;13(1): 59. DOI: 10.3390/atmos13010059.
  15. Kojo K, Turtiainen T, Holmgren O, Kurttio P. Radon Exposure Concentrations in Finnish Workplaces. *Health Physics*. 2023;0(0): 10.1097. DOI: 10.1097/HP.0000000000001692.
  16. Guide for Radon Measurements in Public Buildings (Workplaces, Schools, Day Cares, Hospitals, Care Facilities, Correctional Centres). Health Canada, 2021. 19 p. Available from: <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> [Accessed 02 Feb 2023].

Received: April 19, 2023

**For correspondence: Alexey S. Vasilyev** – Postgraduate student, acting junior researcher, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: a.vasilev@niirg.ru)

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1277-3807>

**For citation: Vasilyev A.S. Exposure of students (pupils) and employees of educational institutions in the Leningrad region to natural sources of radiation. Part 2: Hygienic assessment of doses and health risks depending on methods and approaches to measuring indoor radon concentration. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 3. P. 56-66. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-56-66**