

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. Васильев¹, И.К. Романович¹, Т.А. Кормановская¹, Д.В. Кононенко¹, О.А. Историк², Л.А. Еремина²

¹ 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

² Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ленинградской области, Санкт-Петербург, Россия

По данным ежегодного информационного сборника «Дозы облучения населения Российской Федерации», в течение многих лет основным дозообразующим фактором для населения является внутреннее облучение за счет ингаляции изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада. В статье приведены результаты сравнительной оценки доз внутреннего облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников 4 детских учреждений Кингисеппского района Ленинградской области за счет ингаляции изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада в различных сценариях облучения, основанные на опубликованных ранее результатах измерений содержания радона в воздухе помещений экспрессным и интегральным методами. 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, составляют от 0,34 до 4,87 мЗв/год для разных учреждений. Однако при расчете аналогичных доз облучения на основе результатов интегральных измерений объемной активности радона были получены значения в 2–4 раза выше (от 1,40 до 14,79 мЗв/год), что не соответствует реальному сценарию облучения, поскольку трековые детекторы экспонировались непрерывно, включая ночное время, выходные дни и каникулярный период (т.е. периоды фактического отсутствия людей в зданиях детских учреждений). Вклад изотопов радона и их дочерних продуктов распада в индивидуальную годовую эффективную дозу облучения обучающихся и сотрудников детского сада д. Ополье за счет всех природных источников ионизирующего излучения при использовании результатов экспрессных измерений содержания радона составил 59% (2,21 мЗв/год), детского сада д. Фалилеево – 61% (2,41 мЗв/год), школы д. Фалилеево – 82% (6,81 мЗв/год), школы д. Большая Пустомержа – 82% (7,11 мЗв/год). Таким образом, при использовании результатов экспрессных измерений содержания радона в воздухе помещений детских учреждений облучение учащихся и сотрудников обследованных школ по классификации ОСПОРБ 99/2010 является повышенным, а при использовании результатов интегральных измерений – высоким (более 10 мЗв/год). Значение среднего индивидуального пожизненного риска смерти от радон-индуцированного рака легкого (на основе результатов измерений содержания радона в воздухе помещений детских учреждений экспрессным методом) для обучающихся и сотрудников детского сада д. Ополье составило $3,8 \cdot 10^{-4}$, детского сада д. Фалилеево – $4,1 \cdot 10^{-4}$, школы д. Фалилеево – $1,2 \cdot 10^{-3}$, школы д. Большая Пустомержа – $1,2 \cdot 10^{-3}$, а использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений детских учреждений интегральным методом приводит к увеличению показателей риска от 1,5 до 2,4 раз. 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.

Ключевые слова: индивидуальные годовые эффективные дозы, радиационные риски, внутреннее облучение, радон, дочерние продукты распада, эквивалентная равновесная объемная активность, природные источники ионизирующего излучения, экспрессные измерения, интегральные методы, общественные здания, детские учреждения, Ленинградская область.

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

Природный радиоактивный газ радон может представлять серьезную опасность для здоровья человека, являясь ведущей причиной развития рака легкого у некурящих людей и второй по значимости – у курильщиков [1–4].

Согласно Государственному докладу Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзора) о состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения за 2001–2019 гг., вклад изотопов радона (^{222}Rn , ^{220}Rn) и их короткоживущих дочерних продуктов распада (ДПР) в среднюю индивидуальную годовую эффективную дозу природного облучения населения Российской Федерации является наиболее значимым и составляет примерно 60%, что соответствует 2 мЗв/год [5]. Дозы облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения (ПИИИ) на протяжении многих лет не характеризуются сильной временной вариабельностью и остаются стабильными. Значительно большую озабоченность и интерес представляют отдельные группы населения, которые получают дозу облучения за счет ПИИИ, в разы превышающую среднероссийское и среднерегionalное значения.

Как известно, доза облучения за счет суммарного воздействия ПИИИ для населения не нормируется. В соответствии с НРБ-99/2009¹, «снижение облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников излучения», которые перечислены в п. 5.1.1 ОСПОРБ 99/2010².

Однако в соответствии с п. 5.1.2 ОСПОРБ 99/2010 «степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз облучения от всех основных природных источников излучения:

- менее 5 мЗв/год – приемлемый уровень облучения населения от природных источников излучения;
- свыше 5 до 10 мЗв/год – облучение населения является повышенным;
- более 10 мЗв/год – облучение населения является высоким».

В контексте проведенного обследования детских учреждений (ДУ) наиболее важно отметить, что «мероприятия по снижению уровней облучения природными источниками излучения должны осуществляться в первоочередном порядке для групп населения, подвергающихся облучению в дозах более 10 мЗв/год»².

При проведении радонометрических обследований эксплуатируемых общественных зданий в первую очередь необходимо учитывать фактическое время пребывания людей и требования по кратности воздухообмена, установленные в санитарном законодательстве, что не отражено в действующих методических документах [6]. Отсутствие методического документа, детализирующего процедуру проведения радиационного контроля в эксплуатируемых зданиях, и вынужденное использование методических указаний МУ 2.6.1.2838-11³, регламентирующих радиационный контроль зданий после окончания их строительства, капитального ремонта или реконструкции, приводит к получению завышенных результатов измерений содержания радона в воздухе помещений общественных зданий. Причина этого кроется в том, что соблюдение требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 подразумевает проведение измерений после предварительной 12-часовой выдержки помещений при закрытых окнах и дверях, что, несомненно, искажает реальную ситуацию облучения в общественных зданиях с некруглосуточным пребыванием людей.

Отсутствие единого подхода к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий зачастую приводит к закрытию посреди учебного года всего здания или части помещений ДУ после проведения контрольно-надзорных мероприятий, что, в свою очередь, зачастую ведет к росту уровня радиотрещивности среди населения. В одной лишь Кемеровской области за 2015–2021 гг. районные суды на основании исков должностных лиц Территориальных отделов Управления Роспотребнадзора по Кемеровской области приостановили деятельность не менее 16 учреждений (преимущественно дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений) на срок от 11 до 90 суток из-за повышенного содержания радона в возду-

¹ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. № 47. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 г., регистрационный № 14534. [Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2523-09. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 07.07.2009 No. 47. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on August 14, 2009, registration No. 14534. (In Russ.)]

² Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): Санитарные правила и нормативы 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.)]

³ 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. [Radiation control and sanitary and epidemiological assessment of residential, public and industrial buildings and facilities after their construction, overhaul, reconstruction according to radiation safety indicators. Guidelines MU 2.6.1.2838-11. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 28.01.2011. (In Russ.)]

хе помещений [7–22]. Аналогичные случаи были зарегистрированы и в других субъектах Российской Федерации: в Иркутской области [23, 24], Республике Алтай [25], Челябинской области [26], Приморском крае [27], Тульской области [28], Алтайском крае [29], Республике Саха (Якутия) [30] и Еврейской автономной области [31, 32]. Однако последующие детальные обследования этих зданий с использованием различных методов и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений не выявляли превышения гигиенического норматива.

Цель исследования – сравнительная оценка доз внутреннего облучения и радиационных рисков у обучающихся (воспитанников и учащихся)⁴ и сотрудников ДУ за счет ингаляции изотопов радона, рассчитанных на основе данных, полученных различными методами измерения содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей (школ и детских садов).

Материалы и методы

При расчете и анализе средних и максимальных доз внутреннего облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона при нахождении в помещениях ДУ использовались результаты детального радонометрического обследования 4 эксплуатируемых общественных зданий в Кингисеппском районе Ленинградской области, расположенных на потенциально радоноопасных территориях. В зданиях было выполнено 100 измерений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона экспрессным (мгновенным) методом, 20 измерений объемной активно-

сти (ОА) радона интегральным методом и 4 двухнедельных серий непрерывных измерений ОА радона; характеристики используемых средств измерений, методики измерений и методы обработки полученных результатов детально представлены в [6]. Обследование ДУ проводилось в рамках выполнения отраслевой научно-исследовательской работы «Разработка и научное обоснование рекомендаций по планированию, организации и внедрению программ по снижению уровней облучения населения от природных источников ионизирующего излучения на уровне субъектов Российской Федерации с целью уменьшения рисков заболеваемости населения злокачественными новообразованиями».

Необходимо отметить, что обследованные здания ДУ имели четко регламентированный режим эксплуатации:

- рабочий день (время присутствия обучающихся и/или сотрудников в помещениях) с 7:00 до 19:00 в детских садах и с 8:00 до 17:00 в школах;
- пятидневный режим работы (с понедельника по пятницу);
- обязательное проветривание помещений в соответствии с установленным графиком, согласно требованиям санитарных правил^{5, 6, 7};
- наличие стандартного утвержденного распорядка дня или расписания занятий.

Индивидуальные годовые эффективные дозы внутреннего облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях ДУ рассчитывались согласно методическим указаниям МУ 2.6.1.1088-02⁸ и рекомендациям МР 2.6.1.0088-14⁹. В расчетах был использован дозовый коэффициент $9,0 \cdot 10^{-6}$ мЗв/(Бк·ч/м³), рекомендованный

⁴ Статья 33 Федерального закона от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ (ред. от 30.12.2021 г.) «Об образовании в Российской Федерации». [Article 33 of the Federal Law No. 273-FZ of 29.12.2012 (as amended on 30.12.2021) "On the education in the Russian Federation". (In Russ.)]

⁵ 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 г.). [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.)]

⁶ 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.)]

⁷ 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.)]

⁸ 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.)]

⁹ 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.)]

НКДАР ООН в отчетах 2000 и 2006 гг. [33, 34]. 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) [33, 34], значение итогового дозового коэффициента составило $9,45 \cdot 10^{-6}$ мЗв/(Бк·ч/м³). В данной работе учитывалась доза облучения за счет ингаляции изотопов радона не только при пребывании людей в здании ДУ (средние дозы облучения по зданию, рассчитанные с использованием результатов экспрессных измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений ДУ в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий как наиболее соответствующих реальному сценарию облучения [6]), но и при пребывании в жилых домах и на открытой местности. Индивидуальные годовые эффективные дозы внутреннего облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР были рассчитаны по формуле 1:

$$E_{Rn} = d_{Rn} \cdot (A_{ул} \cdot t_{ул} + A_{ДУ} \cdot t_{ДУ} + A_{дом} \cdot t_{дом}) \quad (1),$$

где d_{Rn} – дозовый коэффициент, мЗв/(Бк·ч/м³); $A_{ул}$ – среднее значение ЭРОА изотопов радона на открытой местности, Бк/м³; $t_{ул}$ – время пребывания на открытой местности, ч/год; $A_{ДУ}$ – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений ДУ, измеренной экспрессным методом, Бк/м³; $t_{ДУ}$ – время пребывания в ДУ, ч/год; $A_{дом}$ – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений жилых домов, Бк/м³; $t_{дом}$ – время пребывания в жилом доме, ч/год.

Показатели радиационного риска были рассчитаны согласно методическим рекомендациям МР 2.6.1.0145-19¹⁰ (пп. 3.5 и 3.6). Значения пожизненного риска смерти от рака легкого, вызванного облучением радоном и его ДПР в течение календарного года, были рассчитаны по формуле 2:

$$\text{Риск}_{Rn} = D_{Rn} \cdot (OA_{ул} \cdot t_{ул} + OA_{ДУ} \cdot t_{ДУ} + OA_{дом} \cdot t_{дом}) \quad (2),$$

где D_{Rn} – номинальный коэффициент риска, равный $8 \cdot 10^{-10}$, м³/(Бк·ч); $OA_{ул}$ – среднее значение ОА радона в воздухе на открытой территории населенных пунктов, равное 10 Бк/м³; $t_{ул}$ – время пребывания на открытой местности, ч/год; $OA_{ДУ}$ – среднее значение ОА радона в воздухе помещений ДУ, Бк/м³; $t_{ДУ}$ – время пребывания в ДУ, ч/год; $OA_{дом}$ – среднее значение ОА радона в воздухе помещений жилых домов, Бк/м³; $t_{дом}$ – время пребывания в жилом доме, ч/год.

При расчетах доз облучения и радиационных рисков принималось, что доля времени, проводимая населением в помещениях, составляет 0,8¹¹ (19,2 ч в день; 7008 ч в год), из которых время пребывания в ДУ составляет в среднем 9 ч для учеников и сотрудников школ (2223

ч в год, учитывая количество рабочих дней согласно Производственному календарю на 2021 г. при пятидневной рабочей неделе) и 12 ч для воспитанников и сотрудников детских садов (2964 ч в год), остальное время – в жилых домах (4785 и 4044 ч в год соответственно). Доля времени, проводимая людьми вне помещений (на улице), составляет, соответственно, 0,2 (4,8 ч в день; 1752 ч в год).

Поскольку данные прямых измерений содержания радона в воздухе жилых домов и в атмосферном воздухе на открытой местности обследованных населенных пунктов, к сожалению, отсутствуют, при расчетах было использовано среднемировое среднее значение ЭРОА изотопов радона в приземном слое атмосферного воздуха, равное 6,5 Бк/м³ [33], и данные Федерального банка данных доз облучения населения Российской Федерации за счет природного и техногенно измененного радиационного фона (ФБДОПИ), согласно которым среднее арифметическое значение ЭРОА изотопов радона в жилых домах (многоэтажных каменных) Ленинградской области за 2016–2020 гг. составило 47 Бк/м³. Остальные компоненты дозы облучения за счет ПИИИ для населения Ленинградской области были взяты из ежегодного информационного сборника «Дозы облучения населения Российской Федерации» [35].

Следует отметить, что при оценке доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников ДУ использовались сильно усредненные значения содержания радона в воздухе жилых домов и на открытой местности, а также других компонентов дозы облучения за счет ПИИИ. Кроме того, реальное соотношение времени пребывания обучающихся и сотрудников в ДУ, дома и на открытом воздухе может отличаться, если учесть периодически вводимые карантинные ограничения из-за пандемии новой коронавирусной инфекции, определенные тенденции изменения образа жизни, период школьных каникул или непосещение ДУ по болезни и иным обстоятельствам.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены результаты расчета индивидуальных годовых эффективных доз внутреннего облучения (далее – доз облучения) обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР при нахождении в помещениях 4 ДУ Кингисеппского района Ленинградской области.

Средние дозы облучения при нахождении в помещении ДУ, рассчитанные на основе результатов интегральных измерений и превышающие 5 мЗв/год, были получены в Фалилеевской СОШ, а превышающие 10 мЗв/год – в Пустомержской СОШ. Таким образом, даже без учета вклада других ПИИИ, облучение учащихся и сотрудников, основанное на результатах интегральных измерений, в Фалилеевской СОШ является повышенным

¹⁰ 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.)]

¹¹ Пункт 4.4.4 МР 2.6.1.0088-14. [Paragraph 4.4.4 of MR 2.6.1.0088-14. (In Russ.)]

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 интегральным и экспрессным методами)

[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 measurements of radon EEC and long-term measurements of radon concentration)]

Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, institution]	Интегральный метод [Long-term measurements]				Экспрессный метод [Instant measurements]				R _{L/I} , отн. ед. [rel. un.]
	ЭРОА _{Rn} , Бк/м ³ [Radon EEC, Bq/m ³]		Доза облучения, мЗв/год [Dose, mSv/year]		ЭРОА _{Rn} , Бк/м ³ [Radon EEC, Bq/m ³]		Доза облучения, мЗв/год [Dose, mSv/year]		
	CA [AM]	Максимальная [Maximum]	Средняя [Mean]	Максимальная [Maximum]	CA [AM]	Максимальная [Maximum]	Средняя [Mean]	Максимальная [Maximum]	
д. Ополе, детский сад [Opol'e, Kindergarten]	50	106	1,40	2,97	12	31	0,34	0,89	4,2
д. Фалилеево, детский сад [Falileevo, Kindergarten]	60	81	1,68	2,27	19	62	0,53	1,74	3,2
д. Фалилеево, школа [Falileevo, School]	418	476	8,78	10,00	220	368	4,62	7,73	1,9
д. Большая Пустомержа, школа [Bol'shaya Pustomerzha, School]	704	1300	14,79	27,31	232	607	4,87	12,75	3,0

CA – среднее арифметическое значение; R_{L/I} – отношение значения средней дозы облучения по результатам интегральных измерений к значению средней дозы облучения по результатам экспрессных измерений.

[AM – arithmetic mean; R_{L/I} – ratio of average dose calculated from the results of long-term measurements to average dose calculated from the results of instant measurements.]

в соответствии с классификацией, установленной в ОСПОРБ 99/2010, а в Пустомержской СОШ – высоким, что при неправильной интерпретации результатов измерений может требовать внимания со стороны администрации или других органов исполнительной власти для проведения мероприятий по снижению уровня облучения данной когорты населения.

Однако при использовании в расчетах результатов экспрессных измерений, выполненных в часы присутствия людей и наиболее объективно отражающих среднее значение содержания радона в воздухе помещений в режиме нормальной эксплуатации ДУ, средние дозы облучения при нахождении в помещениях ДУ оказались в 1,9–4,2 раза ниже и для всех 4 обследованных ДУ составили менее 5 мЗв/год.

На рисунке представлена структура дозы облучения, учитывающая не только нахождение людей в помещениях ДУ (на основе результатов измерения содержания радона в воздухе помещений экспрессным методом), но и пребывание дома и вне помещений (на открытой местности).

Как видно из рисунка, наибольшая доза облучения была получена для учащихся и сотрудников школ д. Фалилеево (6,81 мЗв/год) и д. Большая Пустомержа (7,11 мЗв/год). Во всех случаях наименьший вклад в дозу облучения вносит пребывание на открытом воздухе, так как выделяющийся с поверхности грунта радон быстро

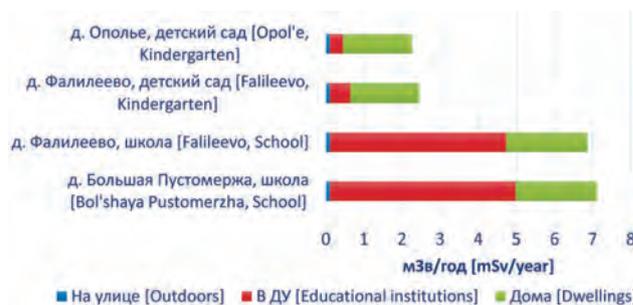


Рис. Структура дозы облучения обучающихся и сотрудников ДУ за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР (на основе результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным методом)

[Fig. Structure of the dose 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 measurements of radon EEC)]

разбавляется атмосферным воздухом, и результирующая ОА невелика. Однако использование единого значения ЭРОА изотопов радона в Ленинградской области (47 Бк/м³) из ФБДОПИ для воздуха помещений жилых домов конкретных обследованных населенных пунктов вместо реальных значений не позволяет пока что однозначно судить о вкладе облучения радоном и его ДПР в жилых домах в суммарную дозу облучения.

Сравнительный анализ показал, что доза облучения обучающихся и сотрудников за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР в детском саду д. Ополе выше средней дозы облучения у населения Ленинградской области (1,83 мЗв/год) на 23% и на 13% выше средней дозы облучения у населения Российской Федерации в целом (2 мЗв/год), в детском саду д. Фалилеево – на 33% и 22% соответственно, в школе д. Фалилеево – в 3,7 раз и 3,4 раза соответственно, в школе д. Большая Пустомержа – в 3,9 раз и 3,6 раз соответственно.

Для учащихся и сотрудников Фалилеевской и Пустомержской СОШ доза облучения только за счет одного природного источника (изотопов радона и их ДПР) превышает 5 мЗв/год. Проведение радонозащитных мероприятий в ДУ и снижение значения ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений до гигиенического норматива (200 Бк/м³) не приведет к существенному снижению дозы облучения, которая составит в этом случае 6,4 мЗв/год. То есть облучение учащихся и сотрудников все равно будет классифицироваться как повышенное в соответствии с ОСПОРБ 99/2010 даже при соблюдении установленного норматива по содержанию радона в воздухе помещений ДУ (по верхней его границе) и без учета других ПИИИ. Данный факт закономерно ведет к выводу о том, что значение гигиенического норматива среднегодовой ЭРОА изотопов радона для существующих зданий (200 Бк/м³) не является в достаточной мере обоснованным целевым значением показателя при планировании радонозащитных мероприятий в таких зданиях.

Вклад остальных ПИИИ в дозу облучения населения в Ленинградской области значительно меньше и составляет в сумме 1,54 мЗв/год (за счет ⁴⁰K – 0,17 мЗв/год, космической компоненты – 0,331 мЗв/год, внешнего

терригенного облучения – 0,82 мЗв/год, продуктов питания – 0,153 мЗв/год, питьевой воды – 0,062 мЗв/год, ингаляции долгоживущих природных радионуклидов с атмосферным воздухом – 0,006 мЗв/год) [35, 36]. Таким образом, суммарная доза облучения за счет всех ПИИИ для обучающихся и сотрудников детского сада д. Ополе составляет 3,75 мЗв/год, детского сада д. Фалилеево – 3,95 мЗв/год, школы д. Фалилеево – 8,35 мЗв/год, школы д. Большая Пустомержа – 8,65 мЗв/год.

Значения среднего индивидуального пожизненного риска смерти от радон-индуцированного рака легкого (на основе результатов измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ экспрессным и интегральным методами) для обучающихся и сотрудников ДУ представлены в таблице 2.

Таким образом, использование в расчетах результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ интегральным методом приводит к увеличению показателей риска от 1,5 до 2,4 раз. С целью наглядного сравнения радиационных рисков у населения за счет различных источников ионизирующего излучения и акцентирования внимания на значимости облучения населения радоном были также рассчитаны значения среднего индивидуального пожизненного риска от потребления пищи и питьевой воды, содержащих природные радионуклиды, и среднего риска за счет медицинского облучения, которые оказались на 1–2 порядка величины ниже и составили $1,2 \cdot 10^{-5}$ и $1,4 \cdot 10^{-5}$ соответственно.

Результаты оценки рисков показали, что, согласно классификации, принятой для оценки уровней риска при воздействии химических веществ и радона [37], облучение воспитанников и сотрудников обследованных дет-

Таблица 2

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

[Table 2

The average individual lifetime risks of radon-induced lung cancer death (based on the results of instant measurements of EEC and long-term measurements of radon concentration) for students (pupils) and employees

Населенный пункт, детское учреждение [Settlement, institution]	Интегральный метод [Long-term measurements]		Экспрессный метод [Instant measurements]		R _{L/I} , отн. ед. [rel. un.]
	CA OA _{Рн} , Бк/м ³ [AM of radon concentration, Bq/m ³]	Риск [Risk]	CA OA _{Рн} , Бк/м ³ [AM of radon concentration, Bq/m ³]	Риск [Risk]	
д. Ополе, детский сад [Opol'e, Kindergarten]	100	5,6·10 ⁻⁴	24	3,8·10 ⁻⁴	1,5
д. Фалилеево, детский сад [Falileevo, Kindergarten]	120	6,0·10 ⁻⁴	38	4,1·10 ⁻⁴	1,5
д. Фалилеево, школа [Falileevo, School]	836	1,9·10 ⁻³	440	1,2·10 ⁻³	1,6
д. Большая Пустомержа, школа [Bol'shaya Pustomerzha, School]	1408	2,9·10 ⁻³	464	1,2·10 ⁻³	2,4

CA – среднее арифметическое значение; R_{L/I} – отношение значения среднего риска по результатам интегральных измерений к значению среднего риска по результатам экспрессных измерений.

[AM – arithmetic mean; R_{L/I} – ratio of average risk calculated from the results of long-term measurements to average risk calculated from the results of instant measurements.]

ских садов радоном и его ДПР (на основе результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ как экспрессным, так и интегральными методами) является приемлемым для персонала и неприемлемым для населения в целом или, согласно классификации, принятой для оценки уровней риска от медицинского облучения¹², – низким. Облучение учащихся и сотрудников обследованных школ является, по классификации [37], неприемлемым ни для населения, ни для персонала (или умеренным по классификации медицинских рисков¹²). Сопоставление двух классификаций уровней риска приведено в таблице 3.

чения¹², – низким. Облучение учащихся и сотрудников обследованных школ является, по классификации [37], неприемлемым ни для населения, ни для персонала (или умеренным по классификации медицинских рисков¹²). Сопоставление двух классификаций уровней риска приведено в таблице 3.

Таблица 3

Классификации уровней риска

[Table 3

Risk level classifications

Номер уровня, диапазон значений индивидуального пожизненного риска R_i [Level number, range of individual lifetime risk values R_i]		
Р 2.1.10.1920-04 ¹³ , моно- графия [37] [R 2.1.10.1920-04 ¹³ , monography [37]]	Описание [37] [Description [37]]	MP 2.6.1.0215-20 ¹² [MR 2.6.1.0215-20 ¹²]
I $R_i \leq 10^{-6}$	Уровень De minimis, который воспринимается населением как пренебрежимо малый, не отличающийся от уровня обычных, повседневных рисков. На этом уровне риски подлежат только периодическому контролю, и не требуется никаких специальных мероприятий по их снижению [De minimis level, which is perceived by the population as negligibly small, not different from the level of ordinary, everyday risks. At this level, risks are only subject to periodic monitoring, and no special measures are required to reduce them]	I. Пренебрежимо малый [I. Negligible] $R_i < 10^{-6}$
II $10^{-6} < R_i \leq 10^{-4}$	Предельно допустимый риск, верхняя граница приемлемого риска для населения в целом. На этом уровне риски подлежат постоянному контролю, а в некоторых случаях могут проводиться специальные мероприятия по их снижению [Maximum permissible risk, the upper limit of acceptable risk for the general population. At this level, risks are subject to continuous monitoring and in some cases special measures may be taken to reduce them]	II. Минимальный [II. Minimal] $10^{-6} < R_i \leq 10^{-5}$ III. Очень низкий [III. Very low] $10^{-5} < R_i \leq 10^{-4}$
III $10^{-4} < R_i \leq 10^{-3}$	Уровень приемлем для персонала и неприемлем для населения в целом. Требуется разработка и проведение плановых оздоровительных мероприятий. Планирование мероприятий по снижению рисков в этом случае должно основываться на результатах более углубленной оценки различных аспектов существующих проблем и установлении степени их приоритетности по отношению к другим гигиеническим, экологическим, социальным и экономическим проблемам на данной территории [The level is acceptable for the staff and unacceptable for the general population. The development and implementation of remedial measures is required. In this case, planning of measures to reduce risks should be based on the results of a more detailed assessment of various aspects of existing problems and establishing the degree of their priority in relation to other hygienic, environmental, social and economic problems in the area]	IV. Низкий [IV. Low] $10^{-4} < R_i \leq 10^{-3}$
IV $R_i > 10^{-3}$	Уровень De manifestis, неприемлемый ни для населения, ни для персонала. Необходимы рекомендации для лиц, принимающих решения о проведении экстренных оздоровительных мероприятий по снижению риска [De manifestis level, unacceptable neither for the population nor for the staff. Recommendations are needed for decision-makers on emergency remedial measures aimed at risk reduction]	V. Умеренный [V. Moderate] $10^{-3} < R_i \leq 3 \cdot 10^{-3}$

¹² Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований: Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 21.09.2020 г. [Radiation risk assessment for patients undergoing X-ray radiological examinations. Guidelines MR 2.6.1.0215-20. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 21.09.2020. (In Russ.)]

¹³ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Руководство Р 2.1.10.1920-04. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 05.03.2004 г. [Guidelines for assessment of public health risk from exposure to chemicals polluting the environment. Guidelines R 2.1.10.1920-04. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 05.03.2004. (In Russ.)]

Заключение

Сравнительный анализ доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников 4 ДУ Ленинградской области за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР показал, что разница между дозами облучения и радиационными рисками, рассчитанными на основе результатов измерения содержания радона в воздухе помещений ДУ интегральными и экспрессными методами, существенна.

Использование результатов интегральных измерений ОА радона для расчета доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников ДУ за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР приводит к их завышению. Таким образом, во избежание искажения реальной картины облучения и оценки состояния радиационной безопасности населения при обследовании эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей целесообразно проводить измерение содержания радона в воздухе помещений экспрессным методом, что соответствует сделанному нами ранее выводу [6].

Некорректный расчет и дальнейшая интерпретация показателей радиационной безопасности может стать причиной принятия необоснованных решений о необходимости проведения радонозащитных мероприятий в зданиях ДУ (согласно п. 5.1.2 ОСПОРБ 99/2010), требующих существенных финансовых затрат, особенно в ситуации, когда дозы облучения близки к пограничному значению в 10 мЗв/год.

В данном конкретном исследовании переход в расчетах радиационных рисков от использования результатов экспрессных измерений содержания радона в воздухе помещений обследованных ДУ к использованию результатов интегральных измерений не приводит к изменению в ранжировании показателя риска (переходу с одного уровня на другой, согласно таблице 3). Но в иной ситуации, при большей разнице в содержании радона в воздухе помещений ДУ в рабочее и нерабочее время возможен переход с одного уровня риска на другой. При этом стабильно высокие значения показателя риска подтверждают важность обеспечения именно радиационной защиты населения при облучении изотопами радона и их ДПР в сравнении с рисками от прочих вредных факторов окружающей среды как ионизирующей, так и неионизирующей природы, являющихся причинами легочного канцерогенеза. Показатель риска, однако, является вспомогательным инструментом при принятии решений о проведении защитных мероприятий, который позволяет отдать приоритет тем зданиям ДУ, в которых реализованные мероприятия будут иметь максимальный эффект. Сам же факт необходимости проведения защитных мероприятий в здании устанавливается по результатам сравнения с нормативом результатов определения среднегодовой ЭРОА изотопов радона, а в список на первоочередное проведение мероприятий здание включается в случае превышения дозы облучения обучающихся и сотрудников порогового значения в 10 мЗв/год.

Результаты проведенной работы представляют определенную ценность 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.

Персональное участие авторов

А.С. Васильев выполнил анализ литературных данных, провел расчет и анализ доз облучения и радиационных рисков, написал черновик рукописи и представил окончательный вариант статьи в редакцию журнала.

И.К. Романович осуществил общее руководство выполнением работы, проанализировал данные и отредактировал промежуточный вариант статьи.

Т.А. Кормановская проанализировала данные и отредактировала промежуточный вариант статьи.

Д.В. Кононенко проанализировал данные, подготовил английский перевод и отредактировал промежуточный вариант статьи.

О.А. Историк организовала проведение исследований в Кингисеппском районе Ленинградской области и отредактировала промежуточный вариант статьи.

Л.А. Еремина организовала проведение исследований в Кингисеппском районе Ленинградской области и отредактировала промежуточный вариант статьи.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам детского сада д. Ополе, детского сада д. Фалилеево, школы д. Фалилеево и школы д. Большая Пустомержа Кингисеппского района Ленинградской области за участие в выполнении работ на этапах проведения измерений содержания радона в воздухе помещений ДУ.

Авторы благодарны рецензентам за конструктивные замечания и предложения, которые позволили существенно улучшить качество статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при выполнении работы и подготовки данной статьи.

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. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону. Перевод публикации 115 МКРЗ. Под ред. М.В. Жуковского, С.М. Киселева, А.Т. Губина. М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2013. 92 с.
3. 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.
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. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 256 с.

6. Васильев А.С., Романович И.К., Кононенко Д.В., и др. Обоснование методических подходов к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых 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. Лосихина Ю. В Кузбассе снова закрыли детский сад из-за радиации. Readovka News: сетевое изд. 2019. 3 сен. URL: <https://readovka.news/news/48610> (дата обращения: 17.02.2022).
8. Климова Д. В Кемеровской области малыши ходили в радиоактивный детский сад. Readovka News: сетевое изд. 2019. 5 фев. URL: <https://readovka.news/news/41739> (дата обращения: 17.02.2022).
9. Похляк А. Росийскую школу закрыли из-за радиоактивного газа. Lenta.ru: сетевое изд. 2021. 12 мая. URL: <https://lenta.ru/news/2021/05/12/radon/> (дата обращения: 17.02.2022).
10. Воронов К. В кинотеатре зафиксировали повышенный уровень радиации. Коммерсантъ: сетевое изд. 2017. 25 апр. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3281599> (дата обращения: 17.02.2022).
11. В Кузбасской школе обнаружено превышение радона и торона. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 11 дек. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25452808/> (дата обращения: 17.02.2022).
12. В поселке Белогорск из-за превышения радона в воздухе приостановили деятельность детского сада. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2018. 11 июля. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25925602> (дата обращения: 17.02.2022).
13. Деятельность еще одного учреждения приостановлена из-за превышения уровня радона. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2018. 6 дек. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document26341181> (дата обращения: 17.02.2022).
14. В Кузбассе судебные приставы приостановили деятельность еще одного объекта из за превышенного уровня радиации. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 17 окт. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25304491> (дата обращения: 17.02.2022).
15. В Кемеровском районе приостановлена деятельность второго объекта из-за превышения уровня радиации. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 24 апр. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document24744762> (дата обращения: 17.02.2022).
16. Судебные приставы приостановили деятельность Дома культуры. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 19 апр. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document24698192> (дата обращения: 17.02.2022).
17. Судебные приставы приостановили деятельность школьной столовой из-за превышения уровня радона. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2020. 28 фев. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document27580016> (дата обращения: 17.02.2022).
18. В Кемерове из-за превышения радона в воздухе частично приостановили деятельность детского сада. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2018. 8 фев. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25583878> (дата обращения: 17.02.2022).
19. Еще в одном Кемеровском детсаду обнаружили превышение радона. Судебные приставы уже опечатали комнаты. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 17 июля. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25022615> (дата обращения: 17.02.2022).
20. В Кемерове из-за превышения радона в воздухе приостановили деятельность детского сада. Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2017. 11 июля. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25004892> (дата обращения: 17.02.2022).
21. Приставы приостановили деятельность кабинета «химия» // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2015. 25 мар. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document22766337> (дата обращения: 17.02.2022).
22. Приостановлена деятельность помещения на территории психоневрологического интерната из-за превышенного содержания радона // Пресс-служба Управления ФССП России по Кемеровской области: сайт. 2018. 18 янв. URL: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25525332> (дата обращения: 17.02.2022).
23. Тимин И. В иркутской школе выявили высокую концентрацию радона // РИА Новости: сетевое изд. 2020. 20 фев. URL: <https://ria.ru/20200220/1565023134.html> (дата обращения: 17.02.2022).
24. Усть-Илимский суд приостановил работу школы, где обнаружен радон // РИА Новости: сетевое изд. 2013. 15 фев. URL: <https://ria.ru/20130215/923007881.html> (дата обращения: 17.02.2022).
25. В алтайской школе закрыли спортзал из-за превышения уровня радона // РИА Новости: сетевое изд. 2019. 7 ноя. URL: <https://ria.ru/20191107/1560660296.html> (дата обращения: 17.02.2022).
26. Красноухов С. В Златоусте закрыли школьный спортзал из-за превышения уровня радона // РИА Новости: сетевое изд. 2018. 20 ноя. URL: <https://ria.ru/20181120/1533160661.html> (дата обращения: 17.02.2022).
27. В Приморье закрыли две группы детсада из-за превышения содержания радона // РИА Новости: сетевое изд. 2018. 11 апр. URL: <https://ria.ru/20180411/1518355125.html> (дата обращения: 17.02.2022).
28. Лосихина Ю. В Тульской области из-за радиации в музыкальной школе закрыли классы // Readovka News: сетевое изд. 2019. 27 сен. URL: <https://readovka.news/news/49432> (дата обращения: 17.02.2022).
29. Сасевич Ю. ФАП в алтайском селе закрыли из-за опасной концентрации радона // Коммерсантъ: сетевое изд. 2019. 10 дек. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4188410> (дата обращения: 17.02.2022).
30. В 13 школах Якутии превышен уровень радиации // SAKHALIFE.RU: сетевое изд. 2020. 24 янв. URL: <https://sakhalfire.ru/v-13-shkolah-yakutii-prevyshen-uroven-radiaczii/> (дата обращения: 17.02.2022).
31. Из-за превышения уровня радиоактивного радона опечатаны 4 кабинета в школе №3 Облучья ЕАО // Информационное агентство EAOmedia: сетевое изд. 2018. 15 дек. URL: <https://eaomedia.ru/news/770102/> (дата обращения: 17.02.2022).
32. Радиация в школе в ЕАО – из-за превышения опасного радона закрыт спортзал // Информационное агентство EAOmedia: сетевое изд. 2018. 15 ноя. URL: <https://eaomedia.ru/news/759984/> (дата обращения: 17.02.2022).
33. 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.
34. 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.
35. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р., и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2019 году: информационный сборник. СПб: ООО «АРКУШ», 2020. 70 с.

36. Кононенко Д.В., Кормановская Т.А. Оценка доз облучения населения субъектов Российской Федерации за счет космического излучения // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 3. С. 78–83. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-78-83.
37. 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.

Поступила: 21.03.2022 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

Романович Иван Константинович – доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Кормановская Татьяна Анатольевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник 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, Санкт-Петербург, Россия

Кононенко Дмитрий Викторович – научный сотрудник 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, Санкт-Петербург, Россия

Историк Ольга Александровна – руководитель Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ленинградской области, Санкт-Петербург, Россия

Еремина Людмила Алексеевна – кандидат медицинских наук, заместитель начальника отдела санитарного надзора Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ленинградской области, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Васильев А.С., Романович И.К., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В., Историк О.А., Еремина Л.А. 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

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

Alexey S. Vasilyev¹, Ivan K. Romanovich¹, Tatyana A. Kormanovskaya¹, Dmitry V. Kononenko¹, Olga A. Istorik², Lyudmila A. Eremina²

¹ 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

² Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Leningrad region, Saint-Petersburg, Russia

According to the annual information packet “Radiation exposure doses to the population of the Russian Federation”, internal exposure to radon has been the main contributor to the annual dose for the population for many years. The paper presents results of a comparative assessment of doses and health risks for students (pupils) and employees of four educational institutions in the Kingiseppsky district of the Leningrad region due to exposure to radon and its progeny. Evaluation of the doses and risks was based on results of instant and long-term measurements of indoor radon concentrations published earlier. 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, ranged from 0.34 to 4.87 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 2–4 times higher (from 1.40 to 14.79 mSv/year). These results do not reflect the real exposure scenario, since solid-state nuclear track detectors were exposed continuously, including nights, weekends and holidays (i.e. periods of actual absence of people in the buildings of the educational institutions). Based on the results of instant measurements of radon EEC, the contribution of radon and its progeny to the individual annual effective dose due to all natural sources of ionizing radiation to students (pupils) and employees was 59% (2.21 mSv/year) in the kindergarten of Opol’e, 61% (2.41 mSv/year) in the kindergarten of Falileevo, 82% (6.81 mSv/year) in the school of Falileevo, and 82% (7.11 mSv/year) in the school of Bol’shaya Pustomerzha. According to the classification established in sanitary rules and norms OSPORB 99/2010, the exposure of students and employees of the surveyed schools is classified as “increased” (from 5 to 10 mSv/year) when using the results of instant measurements of radon EEC, and is classified as “high” when using the results of long-term measurements of radon concentration (more than 10 mSv/year). The average individual lifetime risk of radon-induced lung cancer death (based on the results of instant measurements of radon EEC) for students (pupils) and employees was $3.8 \cdot 10^{-4}$ in the kindergarten of Opol’e, $4.1 \cdot 10^{-4}$ in the kindergarten of Falileevo, $1.2 \cdot 10^{-3}$ in the school of Falileevo, and $1.2 \cdot 10^{-3}$ in the school of Bol’shaya Pustomerzha. However, calculation on the basis of the results of long-term measurements of radon concentration resulted in the risk values from 1.5 to 2.4 times higher. The results obtained can be used to improve the method of monitoring of indoor radon concentration in existing operated public buildings in the Russian Federation, which in turn will make it possible to obtain correct values of doses and health risks.

Key words: annual effective dose, radiation risk, internal exposure, radon, progeny, equilibrium equivalent concentration, natural sources of radiation, instant measurement, long-term measurement, public building, educational institution, Leningrad region.

The individual contributions of authors

A.S. Vasilyev analyzed literature data, calculated and analyzed doses and radiation risks, wrote a draft of the manuscript and arranged the final version of the manuscript for publication in the journal.

I.K. Romanovich provided general management of the project, analyzed the data and edited an intermediate version of the manuscript.

T.A. Kormanovskaya analyzed the data and edited an intermediate version of the manuscript.

D.V. Kononenko analyzed the data, translated the manuscript and edited an intermediate version of the manuscript.

O.A. Istorik organized research in the Kingiseppsky district of the Leningrad region and edited an intermediate version of the manuscript.

L.A. Eremina organized research in the Kingiseppsky district of the Leningrad region and edited an intermediate version of the manuscript.

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

Acknowledgements

The authors would like to thank the employees of four educational institutions in the Kingiseppsky district of the Leningrad region for participating in the project.

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

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflicts of interest when conducting the study and preparing this article.

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. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. Ann. ICRP 40. 2010;1. 64 p.
3. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43. 2014;3. 73 p.
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. On the state of sanitary and epidemiological wellbeing of the population in the Russian Federation in 2020: State report. Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; 2021. 256 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*. 2021;14(3): 29–40. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-29-40. (In Russian)
7. Losikhina Yu. In Kuzbass a kindergarten was closed again due to radiation. Available from: <https://readovka.news/news/48610> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
8. Klimova D. In the Kemerovo region kids went to a radioactive kindergarten. Available from: <https://readovka.news/news/41739> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
9. Pohilyak A. The Russian school was closed due to radioactive gas. Available from: <https://lenta.ru/news/2021/05/12/radon/> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
10. Voronov K. The cinema recorded an increased level of radiation. Available from: <https://www.kommersant.ru/doc/3281599> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
11. Excess of radon and thoron was found in the Kuzbass school. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25452808/> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
12. In the village of Belogorsk, due to the excess of radon in the air, the activities of the kindergarten were suspended. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25925602> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
13. The activity of another institution has been suspended due to exceeding the radon level. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document26341181> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
14. In Kuzbass, bailiffs suspended the activities of another institution due to the exceeded level of radiation. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25304491> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
15. In the Kemerovo region, the activity of the second institution has been suspended due to excess radiation levels. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document24744762> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
16. Bailiffs suspended the activities of the House of Culture. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document24698192> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
17. Bailiffs suspended the activities of the school cafeteria due to excess radon levels. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document27580016> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
18. In Kemerovo, due to the excess of radon in the air, the activities of the kindergarten were partially suspended. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25583878> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
19. An excess of radon was found in another Kemerovo kindergarten. Bailiffs have already sealed the rooms. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25022615> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
20. In Kemerovo, due to the excess of radon in the air, the activities of the kindergarten were suspended. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25004892> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
21. Bailiffs suspended the activity of the chemistry classroom. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document22766337> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
22. The activity of the premises on the territory of the psycho-neurological boarding school has been suspended due to the exceeded radon level. Available from: <https://r42.fssp.gov.ru/news/document25525332> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
23. Timin I. In the Irkutsk school revealed a high concentration of radon. Available from: <https://ria.ru/20200220/1565023134.html> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
24. Ust-Ilimsky court suspended the work of the school where radon was found. Available from: <https://ria.ru/20130215/923007881.html> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
25. In the Altai school, the gym was closed due to excess radon levels. Available from: <https://ria.ru/20191107/1560660296.html> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
26. Krasnoukhov S. In Zlatoust, the school gym was closed due to excess radon levels. Available from: <https://ria.ru/20181120/1533160661.html> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
27. In Primorye, two kindergarten groups were closed due to excess radon levels. Available from: <https://ria.ru/20180411/1518355125.html> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
28. Losikhina Yu. In the Tula region, classes were closed at a music school due to radiation. Available from: <https://readovka.news/news/49432> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
29. Stasevich Yu. The paramedic-obstetric station in the Altai village was closed due to the dangerous concentration of radon. Available from: <https://www.kommersant.ru/doc/4188410> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
30. Radiation levels exceeded in 13 schools of Yakutia. Available from: <https://sakhalife.ru/v-13-shkolah-yakutii-prevyshen-uroven-radiaczii/> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
31. Due to the excess of the level of radioactive radon, 4 classrooms at school No. 3 of the Obluchya in the EAO were sealed. Available from: <https://eaomedia.ru/news/770102/> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
32. Radiation at the school in the EAO – due to the excess of dangerous radon, the gym is closed. Available from: <https://eaomedia.ru/news/759984/> (Accessed: 17.02.2022). (In Russian)
33. 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.

34. 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.
35. Barkovsky AN, Akhmatdinov RR, Akhmatdinov RR, Baryshkov NK, Biblin AM, Bratilova AA, et al. Information packet: Radiation exposure doses to the population of the Russian Federation in 2019. St. Petersburg; 2020. 70 p. (In Russian)
36. Kononenko DV, Kormanovskaya TA. Assessment of the doses to the population of the regions of Russia from exposure to the cosmic radiation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(3): 78–83. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-3-78-83. (In Russian)
37. 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).

Received: March 21, 2022

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)

Ivan K. Romanovich – M.D., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of 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

Tatyana A. Kormanovskaya – Ph.D. in Biological Sciences, Leading 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, Saint-Petersburg, Russia

Dmitry V. Kononenko – 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, Saint-Petersburg, Russia

Olga A. Istorik – Head of the Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Leningrad region, Saint-Petersburg, Russia

Lyudmila A. Eremina – Ph.D., Deputy Head of the sanitary supervision department of the Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Leningrad region, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Vasilyev A.S., Romanovich I.K., Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V., Istorik O.A., Eremina L.A. 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. Vol. 15, No. 2. P. 6-18. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-6-18