

Облучение обучающихся и сотрудников детских учреждений Ленинградской области природными источниками излучения

Часть 1: Результаты комплексного радиационного обследования

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

В настоящее время отсутствуют методические документы по проведению радиационного контроля и санитарно-эпидемиологической оценки как содержания радона в воздухе помещений, так и других параметров радиационной обстановки в эксплуатируемых зданиях. В статье приведен обзор методик радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений детских учреждений некоторых зарубежных стран (США, Норвегия, Финляндия), а также представлены результаты собственного комплексного радиационного обследования 9 детских учреждений в 5 населенных пунктах Ленинградской области, в которых ранее были выявлены высокие уровни объемной активности радона в воздухе помещений интегральным методом. В ходе обследования экспрессным методом в воздухе отдельных помещений были получены высокие значения эквивалентной равновесной объемной активности радона как в режиме нормальной эксплуатации зданий (до 1106 Бк/м³), так и после предварительной 12-часовой выдержки помещений при закрытых окнах и дверях согласно пункту 6.5 МУ 2.6.1.2838-11 (до 1586 Бк/м³). Высокие значения объемной активности радона также были получены с помощью интегральных и квазиинтегральных методов измерений (до 4900 и 1420 Бк/м³ соответственно). Кроме того, были выявлены высокие значения плотности потока радона с поверхности грунта (до 2030 мБк/(м²·с)). Ни в одном из обследованных населенных пунктов не было выявлено превышений установленных нормативов по величине мощности AMBIENTного эквивалента дозы гамма-излучения на открытой местности и в помещениях детских учреждений. Значения удельной суммарной альфа- и бета-активности питьевой воды во всех обследованных детских учреждениях были ниже контрольных уровней, а удельной активности радона в воде — ниже уровня вмешательства. Полученные данные будут использованы для 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 и могут быть использованы для усовершенствования 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, экспрессные измерения, интегральные измерения, квазиинтегральные измерения, общественные здания, детские учреждения.

Введение

Исследование уровней содержания радона в воздухе помещений детских учреждений (ДУ) в последнее время представляет большой интерес как в России [1–4], так и за рубежом [5–10].

Еще в 1989–1990 гг. Агентство по охране окружающей среды США (US EPA) провело широкомасштабное общенациональное радоновое обследование и разработало методику проведения измерений содержания радона в воздухе помещений школ [11]. На официальном сайте

US EPA представлена исчерпывающая информация про измерения содержания радона в школах США [12]. Так, согласно требованиям протокола ANSI/AARST MALB-2014 с изменениями 1/2021 [13], измерения объемной активности (ОА) радона в воздухе помещений эксплуатируемых школ США проводятся в условиях типичной эксплуатации зданий (с включенной системой вентиляции, при закрытых дверях и окнах без выдержки по времени) в 2 этапа: первичное краткосрочное измерение (с использованием 2 детекторов квазиинтегрального типа или 1 монитора радона) и дополнительное долгосрочное измерение (с

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@niirgu

использованием 1 детектора интегрального типа) в помещениях, где выявлены высокие значения ОА радона. При первичном краткосрочном измерении 2 детектора квази-интегрального типа или 1 монитор радона, позволяющий ежечасно получать и аккумулировать информацию об ОА радона, устанавливаются на период не менее 48 ч во всех помещениях, непосредственно контактирующих с подстилающим грунтом (как правило, это помещения цокольного и первого этажа), а также в помещениях последующих этажей (на каждом этаже обследуется не менее 1 помещения с максимальным временем пребывания обучающихся или сотрудников или не менее 10% от всех помещений на этаже). Оценка содержания радона в воздухе помещений проводится на основании среднего результата непрерывного мониторинга или среднего значения двух результатов квазиинтегральных измерений, проведенных одновременно в одном и том же помещении, что позволяет снизить инструментальную погрешность измерения. Если ОА радона не превышает 2 пКи/л (74 Бк/м³), то здание по содержанию радона признается соответствующим требованиям нормативных документов, однако измерение повторяют через каждые 5 лет или каждый раз после проведения работ по ремонту/реконструкции фундамента здания или систем вентиляции/отопления. Если ОА радона в воздухе помещений варьирует от 2 до 4 пКи/л (74–148 Бк/м³), то необходимо задуматься о проведении радонозащитных мероприятий, а если ОА радона в каком-либо помещении равна или больше уровня действия (4 пКи/л или 148 Бк/м³), то проводится дополнительное долгосрочное измерение ОА радона с использованием трековых детекторов. Если результаты второго этапа подтверждают данные первичного краткосрочного измерения ОА радона, то радонозащитные мероприятия, указанные в стандарте ANSI/AARST RMS-LB-2018 с изменениями 12/2020 [14], необходимо провести в безотлагательном порядке.

Подсчитано, что только менее 2% измерений содержания радона в воздухе помещений США проводятся с использованием средств измерений (СИ) для долгосрочного измерения ОА радона [15]. Благодаря особенностям краткосрочных измерений и отлаженной системе коммуникации с населением в США проводится в 30–50 раз больше измерений содержания радона в воздухе помещений на 1000 человек, чем в Европе [16]. Несмотря на это, европейские страны, как правило, отдают предпочтение долгосрочным интегральным измерениям ОА радона, руководствуясь рекомендациями ISO 11665-4 [17], с целью минимизации влияния неопределенности, связанной с временными вариациями радона на конечный результат измерений. Так, в Норвегии в соответствии с Протоколом, утвержденным Норвежским управлением по радиационной защите (NRPA) в 2015 г. [18], измерения ОА радона в школах и детских садах проводятся также в 2 этапа. Первый этап (скрининговый) предназначен для обнаружения любых высоких уровней ОА радона, в то время как уровень ОА радона в часы фактического присутствия обучающихся и/или сотрудников определяется путем измерений на втором этапе. При этом на первом этапе используются интегральные методы измерений ОА радона, которые необходимо проводить не менее 2 месяцев в период с середины октября до середины апреля. Измерения ОА радона обязательно проводятся во всех

помещениях первого этажа с длительным пребыванием обучающихся и/или сотрудников (не менее 3 измерений в одном здании ДУ), при этом помещения должны эксплуатироваться в обычном режиме без изменения графика проветривания, вентиляции и отопления. Расположение трековых детекторов стандартное, согласно ISO 11665-1 [19] и ISO 11665-4 [17]. На основании полученных результатов рассчитываются среднегодовые значения ОА радона в воздухе помещений с применением поправочных коэффициентов в зависимости от типа вентиляции помещений и периода проведения измерений. Если во всех обследованных помещениях рассчитанная среднегодовая ОА радона ниже 100 Бк/м³, то дополнительные измерения не проводятся, здание по содержанию радона признается соответствующим требованиям нормативных документов. Но если ОА радона в одном или нескольких помещениях превышает 100 Бк/м³, то необходимо либо выполнить измерения второго этапа для уточнения содержания радона в периоды эксплуатации здания (в периоды фактического нахождения обучающихся и/или сотрудников в здании ДУ), либо провести радонозащитные мероприятия с последующими контрольными измерениями. Для второго этапа используемое СИ должно обеспечивать возможность регистрации ОА радона в воздухе не реже 1 раза в час, в связи с чем использование мониторов радона предпочтительнее и гарантирует качество измерений в соответствии с ISO 11665-5 [20]. Измерения второго этапа проводятся непрерывно в режиме нормальной эксплуатации здания в течение не менее 3 дней во всех помещениях, где по результатам первого этапа были выявлены высокие значения ОА радона. При увеличении периода обследования, например, до недели, достоверность полученных результатов, соответственно, увеличивается. Конечная оценка ОА радона проводится по формуле 1:

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

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

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

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

Аналогичную методику для измерений ОА радона в воздухе на рабочих местах предлагает коллектив финских специалистов по радиационной безопасности [21]: использовать результаты первичного интегрального измерения ОА радона и результаты дополнительного непрерывного мониторинга ОА радона (в течение недели) с помощью монитора радона, которой позволяет получить как среднюю ОА радона в рабочее время за 7 дней, так и среднее значение ОА радона за всю неделю. Оценка также проводится на основании расчета отношения между этими средними значениями, умноженное на результат первичного интегрального измерения ОА радона. Коэффициент вариации этого метода оценивается

в 19% и увеличивается до 32% при использовании только результатов недельного непрерывного мониторинга ОА радона.

В РФ в настоящее время отсутствуют методические документы по проведению радиационного контроля и санитарно-эпидемиологической оценки параметров радиационной обстановки в эксплуатируемых зданиях, в том числе дошкольных и школьных образовательных учреждениях, в связи с чем не регламентирован выбор и приоритетность использования того или иного метода, длительность и условия проведения измерений содержания радона в воздухе таких помещений, что может приводить к получению недостоверной информации, дальнейшей неправильной интерпретации полученных результатов, принятию на их основе ошибочных управленческих решений [22].

Так, например, проведение измерений содержания радона в воздухе помещений общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей после предварительной 12-часовой выдержки помещений при закрытых окнах и дверях (при вынужденном использовании методических указаний МУ 2.6.1.2838-11¹ [22, 23], не предназначенных для обследования эксплуатируемых зданий и не учитывающих нормальный повседневный режим эксплуатации помещений), искажает реальную ситуацию облучения в таких зданиях и приводит к получению завышенных результатов измерений.

Территориальные органы Роспотребнадзора за последние годы в некоторых субъектах РФ принимали решения о приостановлении учебного/воспитательного

процесса как в отдельных группах/классах в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, так и во всем здании из-за повышенного содержания радона, однако последующие детальные обследования не подтверждали высоких уровней содержания радона в воздухе помещений в часы работы ДУ [22].

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 – определение основных показателей природного облучения обучающихся и сотрудников некоторых ДУ с применением различных средств и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений, необходимых для дальнейшей гигиенической оценки доз облучения и радиационных рисков за счет ингаляции изотопов радона.

Материалы и методы

Измерения содержания радона в воздухе помещений были проведены в 2022 г. только в отопительный (холодный) период года в 9 ДУ Ленинградской области, в которых ранее интегральным методом были выявлены высокие уровни ОА радона в воздухе помещений [4, 24]. Информация о строительно-конструкционных характеристиках обследованных зданий представлена в таблице 1.

Таблица 1

[Table 1

Характеристика зданий ДУ

Characteristics of buildings of educational institutions]

Тип здания, населенный пункт [Type of institution, settlement]	Год постройки [Year of construction]	Количество этажей [Number of floors]	Наличие подвала [Basement]	Материал стен [Building material]	Тип окон [Type of windows]	Отопление [Heating]
Детский сад, д. Клопицы [Kindergarten, Klopitsy]	1972	2	Есть [yes]	Кирпич [brick]	С [DGW]	Ц [C]
Детский сад, п. Сельцо [Kindergarten, Sel'tso]	1963	2	Нет [no]	Панели [sandwich panel]	С [DGW]	Ц [C]
Школа, п. Сельцо [School, Sel'tso]	1953*/ 2019**	2*/3**	Нет*/есть** [no*/yes**]	Кирпич [brick]	С [DGW]	Ц [C]
Детский сад № 3, г. Кингисепп [Kindergarten No. 3, Kingisepp]	1983	2	Есть [yes]	Кирпич [brick]	С [DGW]	Ц [C]
Школа № 5, г. Кингисепп [School No. 5, Kingisepp]	1985	3	Есть [yes]	Панели [sandwich panel]	С [DGW]	Ц [C]
Школа № 6, г. Кингисепп [School No. 6, Kingisepp]	1975	3	Есть [yes]	Панели [sandwich panel]	С, Д [DGW, W]	Ц [C]

¹ 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 and epidemiological assessment of residential, public and industrial buildings and facilities after their construction, overhaul 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.)]

Тип здания, населенный пункт [Type of institution, settlement]	Год постройки [Year of construction]	Количество этажей [Number of floors]	Наличие подвала [Basement]	Материал стен [Building material]	Тип окон [Type of windows]	Отопление [Heating]
Детский сад № 2, п. Сосново [Kindergarten № 2, Sosnovo]	1960	2	Нет [no]	Кирпич [brick]	С [DGW]	Ц [C]
	1971	1	Нет [no]	Кирпич [brick]	С [DGW]	Ц [C]
Детский сад, д. Большие Колпаны [Kindergarten, Bol'shie Kolpany]	1982	2	Есть [yes]	Панели [sandwich panel]	С [DGW]	Ц [C]
Школа, д. Большие Колпаны [School, Bol'shie Kolpany]	1966* / 1990**	3	Нет* / есть** [no* / yes**]	Кирпич* / панели** [brick* / sandwich panel**]	С [DGW]	Ц [C]

С – стеклопакеты, Д – деревянные, Ц – централизованное, * – старое здание школы, ** – новая пристройка к зданию школы.
[DGW – double-glazed windows, W – wooden, C – centralized, * – old school building, ** – new extension to the school building.]

В каждом ДУ были повторно проведены интегральные измерения ОА радона с использованием комплекта аппаратуры «ТРЕК-РЭИ-1М» (ООО «Группа компаний РЭИ», Россия) с длительностью непрерывного экспонирования интегральных трековых радиометров радона (ИТРП) от 30 до 72 сут. На каждое ДУ было установлено от 4 до 17 ИТРП в зависимости от размера ДУ и количества задействованных в образовательном процессе помещений; потери при сборе ИТРП составили 3,6%. ИТРП размещались преимущественно в помещениях с наиболее длительным пребыванием обучающихся: в школах это учебные классы, в детских садах – игровые комнаты и комнаты для дневного сна. В школе и детском саду д. Большие Колпаны Гатчинского района также были проведены измерения ОА радона квазиинтегральным методом с использованием измерительного комплекса «КАМЕРА-01» (ЗАО «НТЦ «НИТОН», Россия) с длительностью экспонирования сорбционных колонок СК-13 с активированным углем от 51 до 53 ч.

Во всех ДУ серии экспрессных измерений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона проводились с применением радиометров «Альфарад плюс А» и «Альфарад плюс АРП» (ООО «НТМ-Защита», Россия) в режиме «ЭРОА 5» несколько раз в день в течение 3–5 последовательных рабочих дней: после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверями и окнами (согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11) и в режиме нормальной эксплуатации здания (в будние дни в часы работы ДУ, в присутствии обучающихся и/или сотрудников, при соблюдении кратности и времени проветривания, предписанных санитарными правилами). В некоторых помещениях ДУ с высокими уровнями ЭРОА радона по результатам экспрессных измерений были установлены радоновые мониторы AlphaGUARD RQ2000PRO (Genitron Instruments GmbH, Германия) с периодом регистрации результата измерения ОА радона 1 ч или 10 мин.

Все измерения были выполнены с помощью СИ, прошедших в установленном порядке поверку. Характеристики используемых СИ и методики измерений содержания радона в воздухе помещений детально представлены в более ранней публикации [25].

Статистический анализ полученных результатов был проведен с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2016, Statistica 10 и включал расчет основных показателей описательной статистики, а именно минимальное, максимальное и медианное значения, среднее геометрическое с 95% доверительным интервалом, геометрическое стандартное отклонение и среднее арифметическое. Для анализа данных были построены гистограммы частотного распределения; анализ характера распределений значений ОА (ЭРОА) радона и натурального логарифма ОА (ЭРОА) радона и степени их соответствия логнормальному и нормальному законам проводился с помощью тестов Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. Непараметрический критерий Вилкоксона использовался для проверки значимости различий между парами выборок.

Всего в 9 ДУ было обследовано 132 помещения с длительным пребыванием обучающихся и/или сотрудников, выполнено более 650 измерений ЭРОА изотопов радона экспрессным методом, более 80 измерений ОА радона интегральным методом, 25 измерений ОА радона квазиинтегральным методом и 5 серий непрерывных измерений ОА радона мониторами радона. Для корректной оценки доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников ДУ за счет ингаляции изотопов радона также были проведены 40 интегральных измерений ОА радона в воздухе жилых домов некоторых сотрудников обследованных ДУ в помещениях с максимальным пребыванием в них жильцов (спальнях или гостиных), расположенных преимущественно на первом этаже и 7 – на открытой местности 5 населенных пунктов Ленинградской области; потери при сборе ИТРП составили 2,4% и 12,5% соответственно.

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

В рамках комплексного радиационного обследования также были проведены: 57 измерений плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта на прилегающей территории ДУ или в подвальных помещениях (при их

наличии) с использованием измерительного комплекса «КАМЕРА-01» (ЗАО «НТЦ «НИТОН», Россия); 40 измерений мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения на открытой местности прилегающей территории 9 ДУ в 5 населенных пунктах Ленинградской области на высоте 1 м от поверхности грунта с применением дозиметра-радиометра МКС-АТ1125 («АТОМТЕХ», Беларусь); 132 измерения МАЭД гамма-излучения в помещениях 9 ДУ на высоте 1 м от поверхности пола в центре помещения с применением дозиметра-радиометра МКС-АТ1125 («АТОМТЕХ», Беларусь); 4 измерения удельной активности (УА) радона в пробах питьевой воды с помощью радиометра AlphaGUARD PQ2000PRO (Genitron Instruments GmbH, Германия), а также суммарных показателей удельной альфа- и бета-активности в пробах питьевой воды 4 населенных пунктов с использованием альфа-бета-радиометра УМФ-2000 (ООО «НПП «Доза», Россия); 5 измерений УА природных радионуклидов (ПРН) и УА техногенного радионуклида ^{137}Cs в пробах почвы с прилегающей территории ДУ или подсыпки в подвальных помещениях с глубины 0–0,1 м с применением спектрометрической установки МКС-01А «Мультирад» (ООО «НТЦ «Амплитуда», Россия) с дальнейшим расчетом эффективной удельной активности ($A_{\text{эфф}}$) ПРН в соответствии с Приложением 7 к СанПиН 2.6.1.2800-10.

Результаты и обсуждение

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

Тесты Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка подтвердили гипотезу о соответствии результатов измерений содержания радона в воздухе помещений логнормальному распределению для всех ДУ, таким образом, устойчивой к выбросам (робастной) мерой центральной тенденции для всех полученных выборок является среднее геометрическое [26, 27].

Обобщенные результаты серий экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ, выполненных в будние дни сначала после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами (согласно п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11), а затем в режиме нормальной эксплуатации здания, представлены на рисунке 1.

Получено, что медианные значения ЭРОА радона по результатам многократных экспрессных измерений, выполненных с соблюдением требований п. 6.5 МУ 2.6.1.2838-11, находились в диапазоне от 52 до 481 Бк/м^3 для разных ДУ. Однако при выполнении измерений в рабочее время в режиме нормальной эксплуатации зданий как наиболее соответствующем реальному сценарию облучения обучающихся и сотрудников ДУ медианные значения ЭРОА радона были ниже в 2–7 раз для разных ДУ и находились в диапазоне от 9 до 130 Бк/м^3 , за исключением ДУ г. Кингисеппа. Расчет Т-критерия Вилкоксона показал, что значения ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ достоверно отличаются в зависимости от подхода к его измерению ($p < 0,05$).

В ДУ г. Кингисеппа в режиме нормальной эксплуатации зданий значения ЭРОА радона варьировались в очень узком диапазоне от НГДИ (1 Бк/м^3) до 13 Бк/м^3 (несмотря на высокие значения ОА радона, полученные интеграль-

ным методом в 2020 г.), а 12-часовая выдержка помещений с закрытыми дверьми и окнами не приводила к существенному накоплению радона в воздухе помещений (рис. 2).

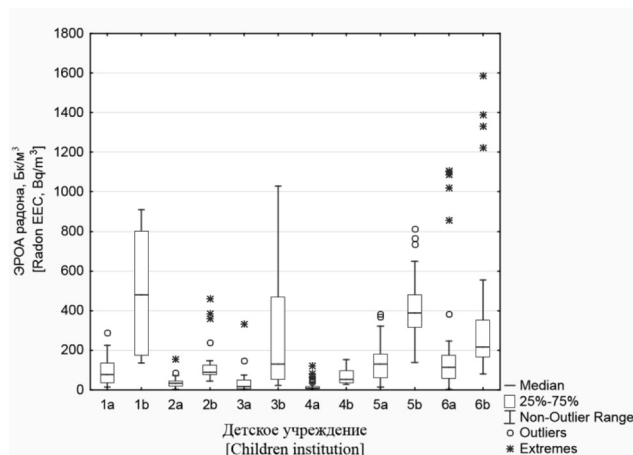


Рис. 1. Диаграммы размаха результатов серий экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ (1 – детский сад, д. Клопицы; 2 – детский сад, п. Сельцо; 3 – школа, п. Сельцо; 4 – детский сад, п. Сосново; 5 – детский сад, д. Большие Колпаны; 6 – школа, д. Большие Колпаны; а – в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; б – после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами) [Fig. 1. Box-and-whisker plot of results of a series of instant measurements of indoor radon EEC in educational institutions (1 – Kindergarten, Klopitsy; 2 – Kindergarten, Sel'tso; 3 – School, Sel'tso; 4 – Kindergarten, Sosnovo; 5 – Kindergarten, Bol'shie Kolpany; 6 – School, Bol'shie Kolpany; a – in the normal operation mode of the building of educational institution; b – after 12 hours with closed doors and windows)]

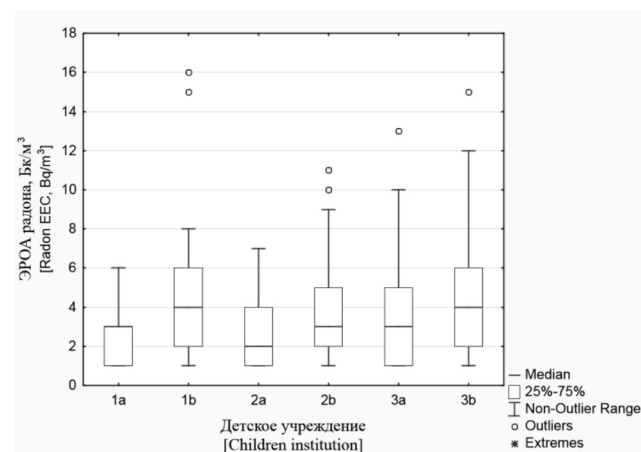


Рис. 2. Диаграммы размаха результатов серий экспрессных измерений ЭРОА радона в воздухе помещений ДУ г. Кингисеппа (1 – детский сад № 3; 2 – школа № 5; 3 – школа № 6; а – в режиме нормальной эксплуатации здания ДУ; б – после 12-часовой выдержки помещений с закрытыми дверьми и окнами) [Fig. 2. Box-and-whisker plot of results of a series of instant measurements of indoor radon EEC in educational institutions of Kingisepp (1 – kindergarten No. 3; 2 – school No. 5; 3 – school No. 6; a – in the normal operation mode of the building of educational institution; b – after 12 hours with closed doors and windows)]

Обобщенные результаты измерений содержания радона в воздухе помещений обследованных ДУ (экспрессный, интегральный и квазиинтегральный методы)
 [Table 2]

Averaged results of measurements of indoor radon EEC in nine surveyed educational institutions (instant, long-term and short-term measurements)]														
Детское учреждение, населенный пункт [educational institution, settlement]	ЭРОА _{ин} (экспрессный метод), Бк/м³ [Radon EEC (instant measurements), Bq/m³]			ЭРОА _{ин} (интегральный метод), Бк/м³ [Radon EEC (long-term measurements), Bq/m³]			ЭРОА _{ин} (квазиинтегральный метод), Бк/м³ [Radon EEC (short-term measurements), Bq/m³]			R _{ср} , отн. ед. [rel. un.]	R _{ср} , отн. ед. [rel. un.]			
	Med (min-max)	GM (CI95)	GSD	AM	Med (min-max)	GM (CI95)	GSD	AM	Med (min-max)			GM (CI95)	GSD	AM
Детский сад, д. Клопицы [Kindergarten, Klopitsy]	77 (13–289)	70 (46–104)	2,5	99	815 (313–1228)	667 (431–1032)	2,0	793	–	–	–	–	10,6 (5,7–9,4)	–
Детский сад, п. Сельцо [Kindergarten, Sel'tso]	34 (4–155)	30 (23–38)	2,1	38	118 (75–680)	145 (88–237)	2,2	202	–	–	–	–	3,5 (2,0–14,4)	–
Школа, п. Сельцо [School, Sel'tso]	18 (1–333)	19 (12–29)	3,5	39	165 (10–1150)	166 (56–496)	5,8	422	–	–	–	–	9,2 (0,9–145,0)	–
Детский сад № 3, г. Кингисепп [Kindergarten No. 3, Kingisepp]	3 (1–6)	2 (2–3)	2,0	3	15 (7–45)	17 (10–27)	2,2	22	–	–	–	–	5,0 (1,1–15,0)	–
Школа № 5, г. Кингисепп [School No. 5, Kingisepp]	2 (1–7)	2 (2–2)	1,9	2	5 (5–109)	10 (6–16)	2,6	18	–	–	–	–	2,5 (1,0–21,7)	–
Школа № 6, г. Кингисепп [School No. 6, Kingisepp]	3 (1–13)	3 (2–4)	2,4	4	8 (5–55)	10 (7–15)	2,0	14	–	–	–	–	2,7 (0,8–12,5)	–
Детский сад № 2, п. Сосново [Kindergarten № 2, Sosnovo]	9 (1–123)	9 (7–12)	3,2	17	78 (25–333)	85 (48–151)	2,3	115	–	–	–	–	8,7 (2,8–22,2)	–
Детский сад, д. Большие Колпаны [Kindergarten, Bol'shie Kolpany]	130 (14–382)	105 (89–124)	2,1	135	594 (330–750)	537 (451–638)	1,3	555	203 (117–351)	196 (160–239)	1,4	205	4,6 (2,0–8,4)	1,6 (1,0–3,0)
Школа, д. Большие Колпаны [School, Bol'shie Kolpany]	113 (3–1106)	92 (71–118)	3,3	168	300 (100–2450)	316 (240–416)	2,1	438	108 (45–710)	125 (89–174)	1,9	160	2,7 (1,1–68,0)	1,0 (0,3–21,5)

min, max, med – минимальное, максимальное и медианное значения; GM (CI95) – среднее геометрическое значение (с 95% доверительным интервалом); GSD – геометрическое стандартное отклонение; AM – среднее арифметическое значение; R_{ср} – отношение медианного значения по результатам интегральных измерений к медианному значению по результатам экспрессных измерений (с диапазоном по отдельным помещениям); R_{ср} – отношение медианного значения по результатам квазиинтегральных измерений к медианному значению по результатам экспрессных измерений (с диапазоном по отдельным помещениям)

[min, max, med – minimum, maximum and median values; GM (CI95) – geometric mean (with 95% confidence interval); GSD – geometric standard deviation; AM – arithmetic mean; R_{ср} – ratio of median value of long-term measurement results to median value of instant measurement results (range for individual premises); R_{ср} – ratio of median value of short-term measurement results to median value of instant measurement results (range for individual premises). Standard Russian value of equilibrium factor F=0.5 is used throughout the paper for conversion of radon concentration into EEC where necessary (long-term, short-term and radon monitor measurement results)].

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

Результаты комплексного статистического анализа данных о содержании радона в воздухе помещений в каждом из обследованных ДУ, а также сопоставление результатов экспрессных измерений ЭРОА радона, выполненных в будние дни в часы работы ДУ, с результатами измерений интегральным и квазиинтегральным методами представлены в таблице 2.

Медианные значения результатов интегральных измерений ОА радона, пересчитанные в значения ЭРОА, составили от 5 до 815 Бк/м³ для разных ДУ, то есть они превышают соответствующие медианные значения результатов многократных экспрессных измерений ЭРОА радона, выполненных в режиме нормальной эксплуатации здания, от 3 до 10 раз из-за непрерывного экспонирования ИТРР, включая периоды фактического отсутствия людей в зданиях ДУ (в ночное время, выходные, праздничные дни). Напротив, медианные значения результатов квазиинтегральных измерений ОА радона в воздухе помещений ДУ д. Большие Колпаны показывают неплохую сходимость с результатами многократных экспрессных измерений ЭРОА радона, выполненных в дневное время в присутствии обучающихся и сотрудников.

На временных сериях результатов измерений с помощью мониторов радона выявлялись выраженные паттерны суточного изменения ОА радона в воздухе помещений, обусловленные, в первую очередь, режимом эксплуатации помещений (рис. 3).

В разновозрастной группе 3–5 лет, расположенной на первом этаже МДОУ «Детский сад № 11» д. Клопицы, медианное значение ОА радона в будние дни в рабочее время (с 7:00 до 19:00) на протяжении всего периода обследования составило 1016 Бк/м³, что в 3,8 раза меньше, чем в ночное время. Аналогичные данные были получены и другими авторами [28]. Однако на рисунке 3 заметно, что из-за интенсивной эксхалляции радона с поверхности подстилающего грунта и невозможности проводить регулярное проветривание помещения в присутствии воспитанников детского сада ОА радона в дневное время имеет выраженные колебания от 360 до 2320 Бк/м³. При экспрессных измерениях (менее 1 ч) в случайные моменты времени другими авторами [29, 30] также описываются суточные вариации ЭРОА радона в воздухе помещений, предварительно выдержанных с закрытыми дверями и окнами, которые могут достигать 400%. Учитывая это, а также принимая во внимание отсутствие мониторов радона во многих ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» в субъектах РФ, более корректной является оценка содержания радона по результатам многократных экспрессных измерений ЭРОА радона (в виде среднего значения), проведенных спустя 1 ч после последнего проветривания в течение нескольких рабочих дней, а не по результатам единичного измерения в случайный момент времени.

Медианные значения ОА радона на каждый час суток, полученные с помощью мониторов радона для некоторых помещений ДУ, представлены на рисунках 4–7.

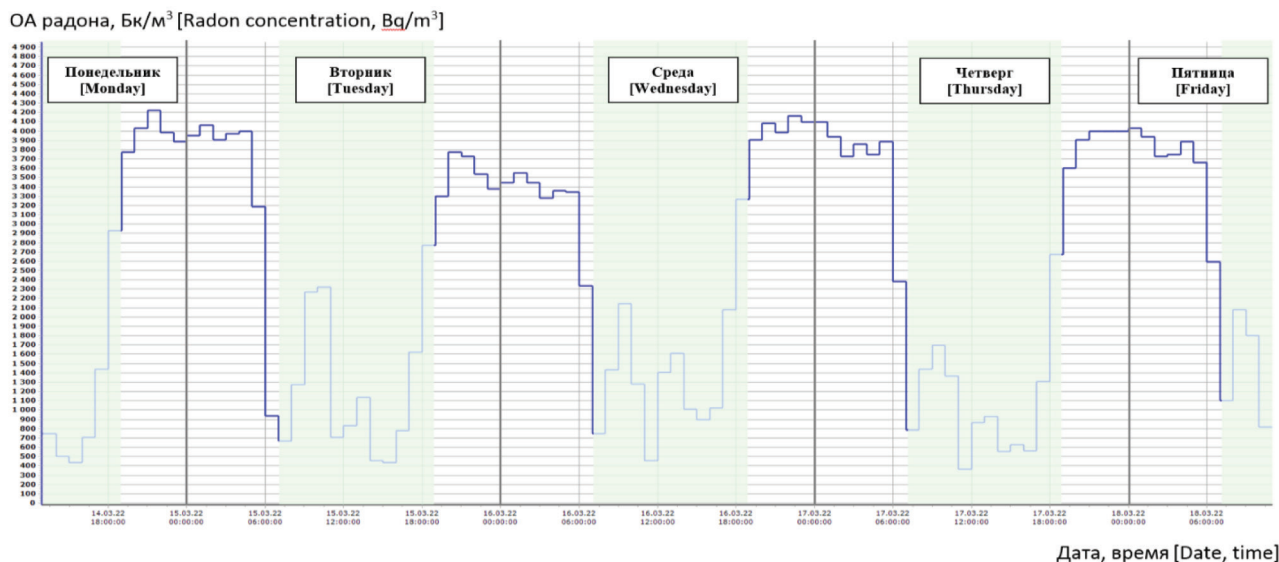


Рис. 3. Временная серия результатов измерений ОА радона с помощью монитора AlphaGUARD в МДОУ «Детский сад № 11» д. Клопицы (разновозрастная группа 3–5 лет, 14–18 марта 2022 г.)

[Fig. 3. Time series of radon concentration measurement results (AlphaGUARD) in Klopitsy kindergarten, age group 3-5 years (March 14–18, 2022)]



Рис. 4. Динамика медианных значений ОА радона в разновозрастной группе детского сада д. Клопицы (в будние дни, 14–18 марта 2022 г.)

[Fig. 4. Radon monitoring median values in the group of different ages of the kindergarten in the Klopitsy (on weekdays, March 14–18, 2022)]



Рис. 5. Динамика медианных значений ОА радона в медицинском кабинете детского сада п. Сосново (в будние дни, 18–20 апреля 2022 г.)

[Fig. 5. Radon monitoring median values in the medical office of the kindergarten in the Sosново (on weekdays, April 18–20, 2022)]

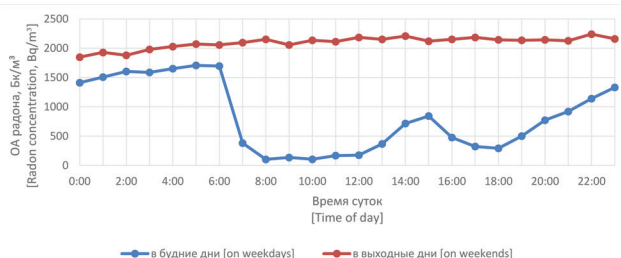


Рис. 6. Динамика медианных значений ОА радона в спальне группы «Колокольчик» детского сада д. Большие Колпаны (28 ноября – 5 декабря 2022 г.)

[Fig. 6. Radon monitoring median values in the bedroom of the "Kolokol'chik" group of the kindergarten in the Bol'shie Kolpany (November 28 – December 05, 2022)]

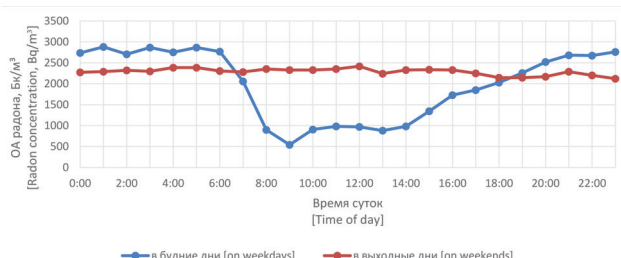


Рис. 7. Динамика медианных значений ОА радона в кабинете методистов детского сада д. Большие Колпаны (28 ноября – 5 декабря 2022 г.)

[Fig. 7. Radon monitoring median values in the methodologists' office of the kindergarten in the Bol'shie Kolpany (November 28 – December 05, 2022)]

На рисунках 4–7 хорошо прослеживается взаимосвязь ОА радона с режимом эксплуатации ДУ и графиком проветривания помещений: уровень содержания радона в воздухе помещений ночью в будние дни (при отсутствии обучающихся и/или сотрудников) значительно превышал соответствующий уровень в часы работы ДУ. В разновозрастной группе детского сада д. Клопицы, в которой нет разделения спальня и игровой зон, отчетливо прослеживается снижение ОА радона после 10 ч во время дневной прогулки воспитанников и к 15 ч к моменту окончания дневного сна (см. рис. 4). В спальне группы «Колокольчик» детского сада д. Большие Колпаны увеличение ОА радона в будние дни регистрировалось после 12 ч к началу тихого часа и уменьшалась после его окончания (см. рис. 6). На рисунках 5 и 7 сложнее описать ход кривой ОА радона в рабочее время, так как проветривание в таких помещениях носит спорадический характер и обусловлено скорее индивидуальными предпочтениями параметров микроклимата работников. Тем не менее, в обоих случаях медианное значение ОА радона в будние дни в рабочее время (с 7:00 до 19:00) было в 2 раза меньше, чем в ночное время.

В таблице 3 представлены результаты интегральных измерений содержания радона в воздухе помещений жилых домов некоторых сотрудников обследованных ДУ, а также результаты измерений на открытой местности.

Территория обследованных ДУ характеризуется достаточно ровным полем гамма-излучения; все измеренные значения МАЭД гамма-излучения находятся в диапазоне от менее 0,10 до 0,15 мкЗв/ч на участках с асфальтобетонным покрытием и с учетом неопределенности результатов измерений не превышают 0,20 мкЗв/ч. Максимальное измеренное значение МАЭД гамма-излучения в помещениях ДУ составляет 0,20 мкЗв/ч (в МДОУ «Детский сад № 11» д. Клопицы) и с учетом неопределенности результатов измерений не превышает 0,27 мкЗв/ч. Значимых различий в результатах измерений в зависимости от типа зданий и этажности ДУ выявлено не было. Ни в одном из обследованных помещений ДУ значение МАЭД гамма-излучения не превышает более чем на 0,3 мкЗв/ч аналогичный показатель для открытой местности на прилегающей территории ДУ, что в полной мере соответствует требованиям нормативных документов к эксплуатируемым общественным зданиям.

Анализ характеристик зданий, распределения уровней содержания радона по этажам и результатов измерения ППР с поверхности грунта на прилегающей территории ДУ или в подвальных помещениях (табл. 4) позволил достоверно установить источник поступления радона в воздух помещений – грунт под зданием, содержащий ^{238}U (^{226}Ra).

Доля контрольных точек в подвале школы и детского сада д. Большие Колпаны, детского сада д. Клопицы, в которых значение ППР было больше значения гигиенического норматива, установленного равным 80 мБк/(м²·с) для участков территорий под строительство зданий жилищного и общественного назначения (п. 5.1.6 ОСПОРБ 99/2010), составило 100%, на прилегающей территории детского сада д. Клопицы – 50%, на прилегающей территории детского сада п. Сельцо – 20%, на прилегающей территории школы п. Сельцо – 10%, на прилегающей территории детского сада п. Сосново – 0%.

Таблица 3

Обобщенные результаты измерений содержания радона в воздухе помещений жилых домов и на открытой местности
[Table 3]

Averaged results of measurements of indoor radon EEC in dwellings and outdoor radon EEC]

Населенный пункт [Settlement]	ЭРОА _{ин} (интегральный метод), Бк/м ³ [Radon EEC (long-term measurements), Bq/m ³]							
	Жилые дома [Dwellings]				Атмосферный воздух [Outdoor air]			
	Med (min–max)	GM (CI95)	GSD	AM	Med (min–max)	GM (CI95)	GSD	AM
д. Клопицы [Klopitsy]	154 (10–223)	99 (48–206)	3,3	140	11 (8–13)	11 (8–13)	1,4	11
п. Сельцо [Sel'tso]	33 (23–1170)	70 (26–193)	5,1	265	15 (13–17)	15 (13–17)	1,2	15
г. Кингисепп [Kingisepp]	20 (5–75)	16 (10–24)	2,4	23	5	–	–	–
п. Сосново [Sosnovo]	38 (7–223)	35 (19–65)	3,5	66	4	–	–	–
д. Большие Колпаны [Bol'shie Kolpany]	34 (20–180)	40 (25–64)	2,1	54	18	–	–	–

min, max, med – минимальное, максимальное и медианное значения; GM (CI95) – среднее геометрическое значение (в скобках – 95% доверительный интервал); GSD – геометрическое стандартное отклонение; AM – среднее арифметическое значение
[min, max, med – minimum, maximum and median values; GM (CI95) – geometric mean (with 95% confidence interval); GSD – geometric standard deviation; AM – arithmetic mean.]

Таблица 4

Результаты измерений УА радионуклидов в грунтах, ППР с поверхности грунта
и экспрессных измерений ЭРОА радона в подвальных помещениях

[Table 4]

Results of measurements of activity concentration of radionuclides in soils, radon flux density
and instant measurements of radon EEC in the basements]

Детское учреждение, населенный пункт [Educational institution, settlement]	УА радионуклидов в грунтах, Бк/кг [Activity concentration of radionuclides in soil samples, Bk/kg]					ППР, мБк/(м²·с) [RFD, mBq/m²·s]	ЭРОА _{РН} в подвале, Бк/м³ [Radon EEC in the basement, Bq/m³]
	A _{Th}	A _{Ra}	A _K	A _{эфф} [A _{eff}]	A _{Cs}		
	Среднее арифметическое (диапазон), стандартное отклонение [Arithmetic mean (range), standard deviation]						
Детский сад, д. Клопицы [Kindergarten, Klopitsy]	26 (16–35), 13	25 (23–27), 3	812 (789–835), 33	132 (119–144), 18	13 (<3–23), 14	103 (50–183), 55 852 (562–1170), 220**	2039±719
Детский сад, п. Сельцо [Kindergarten, Sel'tso]	16±5	16±5	541±123	85±14	52±9	57 (8–195), 54	–
Школа, п. Сельцо [School, Sel'tso]	21±6	22±6	525±105	97±14	19±4	59 (6–384), 116	59±21
Детский сад № 2, п. Сосново [Kindergarten № 2, Sosnovo]	25 (24–25), 1	34 (32–36), 3	624 (613–635), 16	122 (120–124), 3	4 (4–4), 0	15 (3–28), 7	–
Детский сад, д. Большие Колпаны [Kindergarten, Bol'shie Kolpany]	–	–	–	–	–	782 (254–1790), 499**	772±283
Школа, д. Большие Колпаны [School, Bol'shie Kolpany]	16 (16–16), 0*	18 (16–19), 2*	570 (564–575), 8*	90 (88–92), 3*	<3*	593 (182–2030), 614**	865±325

A_{Th}, A_{Ra}, A_K, A_{Cs} – удельная активность ²³²Th, ²²⁶Ra, ⁴⁰K и ¹³⁷Cs соответственно; A_{эфф} – эффективная удельная активность природных радионуклидов; * – исследовалась подсыпка, отобранная из небетонированного подвала школы; ** – исследование проводилось в небетонированном подвале ДУ

[A_{Th}, A_{Ra}, A_K, A_{Cs} – activity concentration of ²³²Th, ²²⁶Ra, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs, respectively; A_{эфф} – effective activity concentration of natural radionuclides; A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3 · A_{Th} + 0,09 · A_K; * – the filling sampled from the non-concreted basement of the school was studied; ** – the measurement was taken in the non-concreted basement of the educational institution.]

Значения удельной суммарной альфа- и бета-активности питьевой воды во всех обследованных ДУ были ниже контрольных уровней (0,2 и 1,0 Бк/кг), а УА ^{222}Rn – ниже уровня вмешательства (60 Бк/кг).

Заключение

Неправильный выбор средств и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений ДУ из-за отсутствия утвержденного методического документа, регламентирующего процедуру радиационного контроля для таких зданий, может приводить к получению недостоверной измерительной информации и дальнейшей ее неправильной интерпретации.

Результаты экспрессных измерений ЭРОА радона, выполненные при вынужденном использовании МУ 2.6.1.2838-11 и соблюдении требований п. 6.5, как и результаты интегральных измерений ОА радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий, являются завышенными по сравнению с результатами многократных экспрессных измерений ЭРОА радона, выполненных на протяжении нескольких рабочих дней в рабочее время в присутствии обучающихся и/или сотрудников, в среднем от 2 до 7 раз и от 3 до 10 раз соответственно, что подтверждается результатами непрерывного радонового мониторинга, выполненного в некоторых помещениях ДУ, и хорошо согласуется с более ранними собственными исследованиями [25] и результатами других авторов [31, 32].

Полученные данные будут использованы для гигиенической оценки доз внутреннего облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников некоторых ДУ Ленинградской области за счет ингаляции изотопов радона и их ДПР и могут быть использованы для усовершенствования методики радиационного контроля содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий в РФ, что в дальнейшем позволит получать корректные значения доз облучения и радиационных рисков для здоровья населения.

Информация о конфликте интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

- Onishchenko A., Malinovsky G., Vasilyev A., Zhukovsky M. Radon measurements in kindergartens in Ural region (Russia) // *Radiation Protection Dosimetry*. 2017. Vol. 177, No 1-2. P. 112–115.
- Историк О.А., Еремина Л.А. К вопросу оценки уровней облучения природными источниками ионизирующего излучения детей в образовательных учреждениях Ленинградской области // *Медицина: теория и практика*. 2019. Т.4, Спецвыпуск. С. 235–236.
- Романович И.К., Стамат И.П., Кормановская Т.А., и др. Результаты выборочного исследования содержания радона в помещениях детских дошкольных и школьных организаций Ленинградской области // *Здоровье населения и среда обитания*. 2017. № 10 (295). С. 46–49.
- Кормановская Т.А., Историк О.А., Романович И.К., и др. Исследование уровней содержания радона в воздухе помещений зданий детских учреждений // *Радиационная гигиена*. 2021. Т. 14, № 2. С. 6–20. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-6-20.
- Павленко Т.А., Костенецкий М.И., Куцак А.В., и др. Уровни облучения дошкольников за счет радона в воздухе помещений // *Гигиена и санитария*. 2015. Т. 94, №4. С. 18–21.
- Ibrayeva D.S., Aumalikova M.N., Ilbekova K.B., et al. Determination of radon levels in dwellings and social objects and evaluation annual effective dose from inhalation of radon in Stepnogorsk area Northern Kazakhstan // *Eurasian Journal of Physics and Functional Materials*. 2020. Vol. 4, No 4. P. 344–350. DOI:10.29317/ejpfm.2020040408.
- Муминов С.В., Баротов Б.Б., Махмудова М.М., и др. Изучение уровней содержания радона в зданиях дошкольных и школьных учреждений г. Душанбе Республики Таджикистан // *Радиационная гигиена*. 2021. Т. 14, № 1. С. 124–132. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-1-124-132.
- Bohicchio F., Zunic Z.S., Carpentieri C., et al. Radon in indoor air of primary schools: a systematic survey to evaluate factors affecting radon concentration levels and their variability // *Indoor air*. 2014. Vol. 24, No 3. P. 315–326.
- Ivanova K., Stojanovska Z., Tsenova M., et al. Measurement of indoor radon concentration in kindergartens in Sofia, Bulgaria // *Radiation protection dosimetry*. 2014. Vol. 162, No 1-2. P. 163–166. DOI: 10.1093/rpd/ncu251.
- Kojo K., Kurtio P. Indoor Radon Measurements in Finnish Daycare Centers and Schools—Enforcement of the Radiation Act // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, No 8. P. 2877. DOI:10.3390/ijerph17082877.
- EPA. Radon Measurements in Schools. Revised Edition, 1993. 44 p.
- Официальный сайт Агентства по охране окружающей среды США. URL: <http://www.epa.gov/radon/radon-schools#testing/> (дата обращения: 01.02.2023).
- Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay products in Schools and Large Buildings. URL: <http://standards.aarst.org/MALB-2014/index.html> (дата обращения: 01.02.2023).
- Radon Mitigation Standards for Schools and Large Buildings. URL: <http://standards.aarst.org/RMS-LB-2018/index.html> (дата обращения: 01.02.2023).
- George A.C. The history, development and the present status of the radon measurement programme in the United States of America // *Radiation Protection Dosimetry*. 2015. Vol. 167, No 1-3. P. 8–14. DOI: 10.1093/rpd/ncv213
- Tsapalov A., Kovler K. Studying temporal variations of indoor radon as a vital step towards rational and harmonized international regulation // *Environmental Challenges*. 2021. Vol. 4. P. 100204. DOI: 10.1016/j.envc.2021.100204.
- ISO 11665-4. Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 4: Integrated measurement method for determining average activity concentration using passive sampling and delayed analysis. Genève: International Organization for Standardization, 2012.
- 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).
- ISO 11665-1. Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 1: Origins of radon and its short-lived decay products and associated measurement methods. Genève: International Organization for Standardization, 2012.
- ISO 11665-5. Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 5: Continuous measurement method of the activity concentration. Genève: International Organization for Standardization, 2012.
- Turtiainen T., Kojo K., Laine J.-P., et al. Improving the assessment of occupational exposure to radon in above-ground workplaces // *Radiation Protection Dosimetry*. 2021. Vol. 196, No 1-2. P. 44–52. DOI: 10.1093/rpd/ncab127.
- 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.
23. Горбаткова Е.Ю. Гигиеническая оценка условий обучения (на примере высших учебных заведений Уфы) // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99, № 4. С. 405–411. DOI: 10.33029/0016-9900-2020-99-4-405-411.
 24. Историк О.А., Еремина Л.А., Кормановская Т.А., и др. Уровни содержания радона в воздухе помещений детских учреждений Волосовского района Ленинградской области // Актуальные вопросы радиационной гигиены: Материалы международной научно-практической конференции. СПб, 2018. С. 132–135.
 25. 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.
 26. Онищенко А.Д., Васильев А.В., Малиновский Г.П., Жуковский М.В. Влияние строительных характеристик зданий на накопление радона в детских дошкольных учреждениях Свердловской области // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 2. С. 28–36. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-28-36.
 27. Маренный А.М., Кононенко Д.В., Труфанова А.Е. Радонное обследование в Челябинской области в 2008–2011 гг. Анализ территориальной вариативности объемной активности радона // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 3. С. 51–67. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-51-67.
 28. Fojtikova I., Navratilova Rovenska K. Influence of energy-saving measures on the radon concentration in some kindergartens in the Czech Republic // Radiation protection dosimetry. 2014. Vol. 160, No 1-3. P. 149–153.
 29. Цапалов А.А., Кувшинников С.И. Зависимость объемной активности радона в помещениях от разности внутренней и наружной температур воздуха // АНРИ. 2008. № 2 (53). С. 37–43.
 30. Цапалов А.А., Ермилов А.П., Гулябняц Л.А., и др. Принцип оценки среднегодовой ЭРОА радона в зданиях по результатам краткосрочных измерений // Радиационная гигиена. 2010. Т. 3, № 3. С. 23–27.
 31. Онищенко А.Д., Васильев А.В., Малиновский Г.П., Жуковский М.В. Влияние строительных характеристик зданий на накопление радона в детских дошкольных учреждениях Свердловской области // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 2. С. 28–36. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-28-36.
 32. Rydock J., Næss-Rolstad A., Brunzell J. Diurnal variations in radon concentrations in a school and office // Atmospheric Environment. 2001. Vol. 35 (16). P. 2921–2926. DOI:10.1016/s1352-2310(00)00515-x.

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 1: Результаты комплексного радиационного обследования // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 2. С. 65–77. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-65-77

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

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

Currently, there is no methodological support for radiation monitoring and sanitary and epidemiological assessment of radon concentration (or radon EEC) and other parameters of the radiation situation in existing operated buildings. The paper presents a review of the protocols for conducting measurements of indoor

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

radon concentration in educational institutions in some foreign countries (USA, Norway, Finland), and also presents results of a comprehensive radiation survey of nine educational institutions in five settlements of the Leningrad region with previously found elevated levels of radon concentration using long-term measurements. The survey revealed that highest values of indoor radon ECC were obtained using instant measurements in several educational institutions both in the normal operation mode of the buildings (up to 1106 Bq/m³) and after leaving the premises for 12 hours with closed windows and doors (up to 1586 Bq/m³) according to the requirements of paragraph 6.5 of MU 2.6.1.2838-11. High values of radon concentration were also obtained using long-term and short-term measurements (up to 4900 and 1420 Bq/m³, respectively). In addition, high values of radon flux density were detected (up to 2030 mBq/(m²·s)). The established hygienic norms for ambient dose equivalent rate indoors and outdoors were not exceeded in the surveyed educational institutions. The levels of gross alpha- and beta activities in tap water sampled from the surveyed educational institutions were below the control levels, and an exceedance of intervention level for activity concentration of radon in analyzed samples was not detected. The results of the survey will be used for 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 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, instant measurements, long-term measurements, short-term measurements, public building, educational institution.

Information on the conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Sources of funding

The study had no sponsorship.

References

- Onishchenko A, Malinovsky G, Vasilyev A, Zhukovsky M. Radon measurements in kindergartens in Ural region (Russia). *Radiation Protection Dosimetry*. 2017;177(1-2): 112–115.
- Istrik OA, Eremina LA. On the issue of assessing the levels of exposure to natural sources of ionizing radiation of children in educational institutions of the Leningrad region. *Meditsina: teoriya i praktika = Medicine: theory and practice*. 2019;4(Special Issue): 235–236. (In Russian).
- Romanovich IK, Stamat IP, Kormanovskaya TA, Balabina TA, Koroleva NA, Istrik OA, et al. Results of sampling analysis of radon content in preschool and school organizations of the Leningrad region. *Zdorovie naseleniya i sreda obitaniya = Public Health and Life Environment*. 2017;10(295): 46–49. (In Russian).
- Kormanovskaya TA, Istrik OA, Romanovich IK, Eremina LA, Koroleva NA, Balabina TA, et al. Radon surveys in the buildings of children institutions. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(2): 6–20. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-2-6-20. (In Russian).
- Pavlenko TA, Kostenetsky MI, Kutsak AV, Sevalnev AI, Aksenov NV, Fryziuk MA. Irradiation levels for preschool children due to indoor radon. *Gigiena i Sanitariya = Hygiene and sanitation*. 2015; 94(4): 18–21. (In Russian).
- Ibrayeva DS, Aumalikova MN, Ilbekova KB, Bakhtin MM, Kazymbet PK. Determination of radon levels in dwellings and social objects and evaluation annual effective dose from inhalation of radon in Stepnogorsk area Northern Kazakhstan. *Eurasian Journal of Physics and Functional Materials*. 2020;4(4): 344–350. DOI:10.29317/ejpfm.2020040408.
- Muminov SV, Barotov BB, Makhmudova MM, Khamidov FA, Akhmedov MZ, Mirsaidov UM. Radon survey in kindergartens and schools of Dushanbe, Republic of Tajikistan. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(1): 124–132. DOI:10.21514/1998-426X-2021-14-1-124-132. (In Russian).
- Bochicchio F, Zunic ZS, Carpentieri C, Antignani S, Venoso G, Carelli V, et al. Radon in indoor air of primary schools: a systematic survey to evaluate factors affecting radon concentration levels and their variability. *Indoor air*. 2014;24(3): 315–326.
- Ivanova K, Stojanovska Z, Tsenova M, Badulin V, Kunovska B. Measurement of indoor radon concentration in kindergartens in Sofia, Bulgaria. *Radiation protection dosimetry*. 2014;162(1-2): 163–166. DOI: 10.1093/rpd/ncu251.
- Kojo K, Kurtio P. Indoor Radon Measurements in Finnish Daycare Centers and Schools—Enforcement of the Radiation Act. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(8): 2877. DOI:10.3390/ijerph17082877.
- EPA. Radon Measurements in Schools. Revised Edition; 1993. 44 p.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). Available from: <http://www.epa.gov/radon/radon-schools#testing/> [Accessed 01 Feb 2023].
- Protocol for Conducting Measurements of Radon and Radon Decay products in Schools and Large Buildings. Available from: <http://standards.aarst.org/MALB-2014/index.html> [Accessed 01 Feb 2023].
- Radon Mitigation Standards for Schools and Large Buildings. Available from: <http://standards.aarst.org/RMS-LB-2018/index.html> [Accessed 01 Feb 2023].
- George AC. The history, development and the present status of the radon measurement programme in the United States of America. *Radiation Protection Dosimetry*. 2015;167(1-3): 8–14. DOI: 10.1093/rpd/ncv213.
- Tsapalov A, Kovler K. Studying temporal variations of indoor radon as a vital step towards rational and harmonized international regulation. *Environmental Challenges*. 2021;4: 100204. DOI: 10.1016/j.envc.2021.100204.
- ISO 11665-4. Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 4: Integrated measurement method for determining average activity concentration using passive sampling and delayed analysis. Geneva: International Organization for Standardization; 2012.
- 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].
- ISO 11665-1. Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 1: Origins of radon and its short-lived decay products and associated measurement methods. Geneva: International Organization for Standardization; 2012.
- ISO 11665-5. Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 5: Continuous measurement

- method of the activity concentration. Geneva: International Organization for Standardization; 2012.
21. Turtiainen T, Kojo K, Laine J-P, Holmgren O, Kurtio P. Improving the assessment of occupational exposure to radon in above-ground workplaces. *Radiation Protection Dosimetry*. 2021;196(1-2): 44–52. DOI: 10.1093/rpd/ncab127.
 22. 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).
 23. Gorbatkova EJ. Hygienic assessment of learning environment conditions (by the example of higher educational institutions of the city of Ufa). *Gigiena i Sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2020;99(4): 405–411. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-4-405-411. (In Russian).
 24. Istorik OA, Eremina LA, Kormanovskaya TA, Koroleva NA, Balabina TA. Levels of indoor radon concentration of the premises of children's institutions of the Volosovsky district of the Leningrad region. Actual issues of radiation hygiene: Materials of the international scientific and practical conference. Saint-Petersburg; 2018. P. 132–135. (In Russian).
 25. 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).
 26. Onishchenko AD, Vasilyev AV, Malinovsky GP, Zhukovsky MV. Influence of building features on radon accumulation in kindergartens of the Sverdlovsk region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(2): 28–36. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-28-36. (In Russian).
 27. Marennyy AM, Kononenko DV, Trufanova AE. Radon survey in Chelyabinsk Oblast, Russia, in 2008–2011. Analysis of spatial variability of indoor radon concentration. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(3): 51–67. DOI:10.21514/1998-426X-2020-13-3-51-67. (In Russian).
 28. Fojtikova I, Navratilova Rovenska K. Influence of energy-saving measures on the radon concentration in some kindergartens in the Czech Republic. *Radiation protection dosimetry*. 2014;160(1-3): 149–153.
 29. Tsapalov AA, Kuvshinnikov SI. Dependence of indoor radon in the premises on the difference between internal and external air temperatures. *Association of science editors and publishers*. 2008;2(53): 37–43. (In Russian)
 30. Tsapalov AA, Ermilov AP, Gulabyan LA, Gubin AT, Kuvshinnikov SI. Principle of estimation annual radon EEC in building by results of short-term measurements. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2010;3(3): 23–27. (In Russian).
 31. Onishchenko AD, Vasilyev AV, Malinovsky GP, Zhukovsky MV. Influence of building features on radon accumulation in kindergartens of the Sverdlovsk region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(2): 28–36. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-28-36. (In Russian).
 32. Rydock J, N ss-Rolstad A, Brunzell J. Diurnal variations in radon concentrations in a school and office. *Atmospheric Environment*. 2001;35(16): 2921–2926. DOI:10.1016/s1352-2310(00)00515-x.

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 1: Results of a comprehensive survey. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 2. P. 65–77. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-65-77