

Влияние строительных характеристик зданий на накопление радона в детских дошкольных учреждениях Свердловской области

А.Д. Онищенко, А.В. Васильев, Г.П. Малиновский, М.В. Жуковский

Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Цель. Изучить уровни накопления радона в детских дошкольных учреждениях Свердловской области. Определить связь объемной активности радона с характеристиками зданий. Сделать подробный анализ поступления и накопления радона в детском дошкольном учреждении, в котором были обнаружены уровни эквивалентной равновесной объемной активности радона, превышающие санитарные нормативы. Материалы и методы. В работе использовались интегрирующие трековые радиометры радона РЭИ-4 на базе детектора из материала LR-115. Радиометры радона устанавливались в игровых комнатах и комнатах для дневного сна. В каждом детском дошкольном учреждении обследовалось не менее 3 комнат. Измерения проводились 2 раза в год: в теплый и холодный сезоны. Длительность экспонирования радиометров составляла 2–3 месяца в каждый сезон. Для измерений в детском дошкольном учреждении с высоким уровнем объемной активности радона дополнительно использовался радон-монитор AlphaGUARD. Результаты: показано, что распределение среднегодовых значений объемной активности радона в помещениях детских дошкольных учреждений Свердловской области может быть описано логнормальным распределением со средним арифметическим 60 Бк/м^3 , средним геометрическим 44 Бк/м^3 и стандартным геометрическим отклонением 2,23. Обнаружено статистически значимое различие в средних значениях объемной активности радона в подгруппах зданий, построенных в разные периоды времени. Для помещений детских дошкольных учреждений, построенных в 1950–1969 гг., среднее значение объемной активности радона составило 85 Бк/м^3 , а для зданий, построенных в 1970–1989 гг. — 54 Бк/м^3 . При сравнении подгрупп помещений с различными типами остекления окон (для зданий всех годов постройки, первые этажи) было получено, что в помещениях с пластиковыми стеклопакетами объемная активность радона в среднем почти в 2 раза выше. Показано, что для детских дошкольных учреждений, в одном из помещений которого было измерено среднегодовое значение объемной активности радона 620 Бк/м^3 , при соблюдении должного режима проветривания данного помещения средние значения объемной активности радона в период пребывания детей не превышают 120 Бк/м^3 . Выводы. Факторами, влияющими на накопление радона в атмосфере детских дошкольных учреждений, являются тип строительных материалов, связанный в том числе с различными периодами строительства зданий, и тип остекления окон. При обнаружении в детских учреждениях значений эквивалентной равновесной объемной активности радона, близких к санитарным нормативам, целесообразно проведение дополнительного исследования суточных вариаций радона, так как в период активной эксплуатации помещений (в будни в рабочее время) уровни радона могут быть значительно ниже.

Ключевые слова: радон, детские дошкольные учреждения, трековые детекторы, суточные вариации.

Введение

Исследование уровней накопления радона в детских дошкольных учреждениях (ДДУ) представляет интерес по целому ряду причин:

1. Интерес к обследованию радиационной обстановки в ДДУ, включая уровни воздействия радона и его дочерних продуктов распада (ДПР), достаточно высок [1–5] и зачастую поддерживается местными органами администрации и санитарно-эпидемиологического надзора.

В связи с этим возможность проведения исследований в помещениях ДДУ является более доступной, чем проведение измерений в жилищах, выбранных случайным образом.

2. Традиционно считается, что радиационное воздействие в детском возрасте представляет большую опасность, чем облучение в зрелые годы, хотя для воздействия радона и его ДПР это предположение не столь очевидно [6].

Онищенко Александра Дмитриевна

Институт промышленной экологии УрО РАН

Адрес для переписки: 620990, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: onischenko@ecko.uran.ru

3. Однотипные строительные характеристики зданий, в которых расположены ДДУ, а также четко регламентированный режим содержания помещений (обязательные 3–5 проветриваний в день, график работы ДДУ).

Все это позволяет не только получить информацию о радиационном воздействии радона и его ДПР на детей и сотрудников ДДУ, но и выявить закономерности в поступлении и накоплении радона в помещениях, а также связи этих процессов со строительными характеристиками зданий.

Цель исследования – определить среднегодовые значения объемной активности (ОА) радона в представительной выборке ДДУ Свердловской области и выявить основные факторы, влияющие на накопление радона в обследуемых помещениях.

Задачи исследования

1. Провести полносезонные измерения ОА радона в ДДУ, расположенных в различных районах Свердловской области.

2. Определить параметры распределения среднегодовых значений ОА радона в ДДУ Свердловской области (средние значения, ожидаемая доля учреждений с уровнями радона, превышающими санитарные нормативы).

3. Выявить строительные характеристики зданий, которые влияют на накопление радона в помещениях ДДУ.

4. Изучить особенности поступления и накопления радона в ДДУ, в котором среднегодовое значение ОА радона превышает санитарный норматив.

Материалы и методы

Исследование проводилось в рамках программы «Радон» Свердловской области. Министерством общественной безопасности Свердловской области была поставлена задача проведения исследования уровней ОА радона в ДДУ различных районов и муниципальных образований Свердловской области. Измерения были выполнены в 230 ДДУ в 33 населенных пунктах (12 городов и 21 населенный пункт сельского типа), расположенных в 12 административных районах Свердловской области. В каждом административном районе было обследовано от 15 до 30 ДДУ. Выборка ДДУ формировалась случайным образом и включала от 50 до 100% детских учреждений в выбранном городе или сельском населенном пункте.

Для исследований уровней радона, как в жилищах, так и на рабочих местах, школах или детских дошкольных учреждениях, широко используются интегрирующие трековые детекторы радона. Применение данного типа детекторов позволяет избежать влияния суточных или краткосрочных вариаций ОА радона [7]. При проведении исследований использовались отечественные радиометры радона РЭИ-4 на базе трекового детектора из нитроцеллюлозной пленки LR-115 производства фирмы «Кодак», включенные в Государственный реестр средств измерений. Общая неопределенность измерений радиометрами радона на основе LR-115 в типичном диапазоне ОА радона от 20 до 200 Бк/м³ и времени экспонирования 2–3 месяца составляет 30–40% ($P=0,95$) [8]. Для ОА радона менее 20 Бк/м³ неопределенность доходит до 50% ($P=0,95$).

При проведении детальных исследований в ДДУ с максимально высоким уровнем ОА радона дополнитель-

но использовался радон-монитор AlphaGUARD. Монитор устанавливался в одну и ту же игровую комнату дважды с интервалом в 1 год на период 2 недели. Измерения проводились в диффузионном режиме работы прибора с интервалом в 1 ч. Для измерений ОА радона в подвальном помещении использовался прибор SIRAD MR-106N, позволяющий непрерывно измерять средние значения ОА радона за интервал 24 ч. Для измерения плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта в подвальном помещении данного ДДУ применялся измерительный комплекс для мониторинга радона «Камера-01». Измерение ППР проводилось сорбционным способом при помощи активированного угля СКТ-3, а также блока детектирования бета-излучения БДБ-13.

Измерения ОА радона в помещениях ДДУ были проведены в период с марта 2013 г. по декабрь 2017 г. В течение каждого года было обследовано по 2–3 административных района Свердловской области. Радиометры радона устанавливались в игровых комнатах и комнатах для дневного сна (3–4 помещения в каждом ДДУ). При этом выбиралось 2 помещения на первом этаже и 1–2 помещения на втором или (при наличии) третьем этажах. Как правило, радиометры радона помещались на горизонтальную поверхность различной мебели или подвешивались на стены помещения так, чтобы они находились вне зоны доступа детей.

Общее количество обследованных помещений составило 724. Для получения среднегодового значения ОА радона и учета сезонных вариаций данной величины в каждом ДДУ измерения проводились 2 раза за год: в теплый и холодный сезоны. Под холодным сезоном подразумевается период функционирования центрального отопления, под теплым сезоном – период, когда отопление отключено. Для климатической зоны Среднего Урала отопительный сезон длится с середины сентября до середины мая. Соответственно, измерения проводились в течение 2–3 месяцев в период с середины мая до середины сентября и в течение 2–3 месяцев в период с октября до конца апреля. Среднегодовое значение ОА радона рассчитывалось как среднее арифметическое двух сезонных измерений. Характеристики зданий и обследуемых помещений в каждом ДДУ заносились в специальную анкету.

Выборка детских дошкольных учреждений, включенных в исследование, является представительной для каждого административного района. Большинство обследованных ДДУ размещаются в двухэтажных зданиях. Из всей выборки только 10 детских садов расположены в одноэтажных зданиях и 13 – в трехэтажных. Большинство измерений выполнено в кирпичных (61%) и панельных бетонных (29%) зданиях. Деревянные здания представлены незначительно, в 8 ДДУ современной постройки был использован при строительстве монолитный бетон.

По году постройки все ДДУ подразделялись на группы: построенные до 1900 г., 1900–1949 гг., 1950–1969 гг., 1970–1989 гг., 1990–2000 гг. и после 2000 г. В выборке можно было выделить две основные подгруппы ДДУ:

- построенные в период 1970–1989 гг. (51%);
- построенные в период 1950–1969 гг. (30%).

Распределение ДДУ с данными периодами постройки в соотношении 3/2 практически постоянно по всей территории Свердловской области. В нескольких ДДУ после 2000 г. была проведена реконструкция.

Результаты и обсуждение

1. Статистический анализ факторов, влияющих на накопление радона в атмосфере детских дошкольных учреждений

При статистическом анализе полученных результатов использовались величина, непосредственно измеренная в ходе исследований, а именно ОА радона. Было принято решение не использовать коэффициент равновесия F для перехода от ОА к эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона, поскольку он имеет достаточно высокую степень неопределенности [9]. Переход к ЭРОА радона осуществлялся только для сопоставления среднегодового значения ОА радона с нормируемой величиной, выраженной в среднегодовом значении ЭРОА радона, при этом использовалось рекомендованное значение $F=0,5$ согласно МУ 2.6.1.2838-11 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности» [Guidelines 2.6.1.2838-11. Radiation monitoring and epidemiological assesment of residential, public and industrial buildings and facilities after their construction, major repairs, reconstruction of radiation safety indicators (In Russ.)].

Распределение среднегодовых значений ОА радона в выборке помещений ДДУ, включенных в исследование, представлено на рисунке 1.

Выборка значений ОА радона описывается логнормальным распределением, поэтому при статистическом анализе рассматривались не измеренные значения ОА радона, а логарифмы данной величины [10, 11].

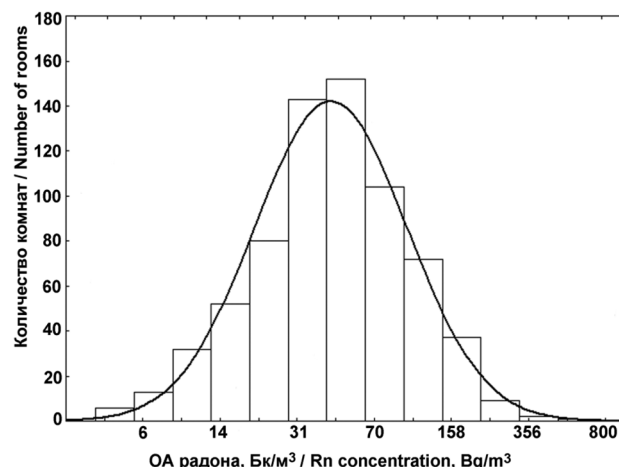


Рис. 1. Распределение среднегодовых значений ОА радона в выборке помещений ДДУ, описываемое логнормальным распределением ($\chi^2=13,4$; $df=7$, $p=0,06$)

[Fig. 1. Distribution of annual radon concentrations in rooms of kindergartens. The lognormal distribution, $\chi^2=13,4$; $df=7$, $p=0,06$]

Распределение среднегодовых значений ОА радона в ДДУ Свердловской области характеризуется следующими параметрами: средним арифметическим (СА) 60 Бк/м³, средним геометрическим (СГ) 44 Бк/м³ и стандартным геометрическим отклонением (СГО) 2,23. Доля помещений с уровнем ОА радона, превышающим 400 Бк/м³, что соответствует нормативу по ЭРОА радона 200 Бк/м³, составила 0,3%. Параметры распределения ОА радона по административным районам и городам приведены в таблице 1. В таблице 1 также приведено описание изме-

Таблица 1

Параметры распределения ОА радона по административным районам и городам

[Table 1

Parameters of annual radon concentration distribution for different districts and cities]

Административный район или город [District or city]	СА, Бк/м³ [AM, Bq/m³]	СГ, Бк/м³ [GM, Bq/m³]	СГО [GSD]	Максимум, Бк/м³ [Max, Bq/m³]
г. Полевской [Polevskoy town]	25	19	2,06	110
г. Асбест [Asbest town]	31	22	2,28	195
Верхнесалдинский район [Verhnesaldinsky district]	44	38	1,67	140
Режевской район [Rezhesakoy district]	50	36	2,39	150
Сысертский район [Sysertsy district]	55	42	2,25	150
Ирбитский район [Irbitsky district]	62	49	2,21	180
г. Березовский [Berezovsky town]	74	56	2,14	310
г. Серов [Serov town]	74	61	1,86	400
г. Верхняя Пышма [Verhnyaya Pyshma town]	88	77	1,67	290
Богдановичевский район [Bogdanovichsky district]	88	66	1,98	620
г. Нижний Тагил [Nizhny Tagil town]	74	59	1,97	264
г. Екатеринбург [Ekaterinburg city]	59	50	1,84	190

рений ОА радона, проведенных в помещениях всех типов зданий и на всех этажах.

Была проведена оценка влияния неопределенностей измерений радиометрами радона на основе LR-115 [8] на параметры распределений ОА радона, представленных в таблице 1. Было показано, что СГО изменяется не более чем на 10%, а СА – не более чем на 5%. Поэтому при дальнейшем анализе были использованы данные, непосредственно полученные в процессе измерений.

Анализ факторов, влияющих на уровни ОА радона в помещениях ДДУ, был проведен путем последовательного учета наиболее значимых факторов. Этаж, на котором расположено помещение, является одним из известных факторов, влияющих на накопление радона в помещении. С использованием критерия Стьюдента было обнаружено статистически значимое различие между среднегодовыми значениями ОА радона в помещениях, расположенных на первых этажах (СА=67 Бк/м³, СГ=49 Бк/м³, СГО=2,27) и вторых этажах (СА=47 Бк/м³, СГ=37 Бк/м³, СГО=2,09): значение $t=4,58$, $p<0,05$. В связи с этим при дальнейшем анализе факторов, влияющих на ОА радона, для исключения влияния этажа проведения измерений были рассмотрены только результаты, полученные при измерениях на первых этажах.

Затем выборка ДДУ была разделена на подгруппы по периоду постройки зданий: до 1900 г.; 1900–1949 гг.; 1950–1969 гг.; 1970–1989 гг.; 1990–2000 гг. и после 2000 г. Эти периоды характеризуются применением различных технологий строительства и используемых материалов. Наиболее крупными получились подгруппы зданий, построенных в 1950–1969 гг. и 1970–1989 гг. (табл. 2). Для этих подгрупп было обнаружено статистически досто-

верное различие в среднегодовых значениях ОА радона (значение $t=6,23$, $p<0,05$). Доля обследованных ДДУ, построенных до 1950 г. или после 1990 г., относительно невелика, что не позволило в данных подгруппах ДДУ провести статистически значимую оценку факторов, влияющих на накопление радона.

Вся территория Уральского региона относится к зоне с повышенной радоноопасностью [12]. В 1990-е гг. предприятием «Зеленогорскгеология» было проведено ранжирование территории Свердловской области на зоны потенциальной радоноопасности с использованием данных по содержанию радия в почве, удельной активности радона в грунтовых водах, измерениям ОА радона в почвенном воздухе, наличию карстовых разломов. В соответствии с этой картой радоноопасности ДДУ были разделены на группы: максимальный радоновый потенциал, высокий радоновый потенциал, средний радоновый потенциал. Наибольшее число ДДУ было расположено на территории с высоким радоновым потенциалом, туда вошли следующие населенные пункты: г. Сысерть и села Сысертского района, г. Березовский, г. Верхняя Пышма, г. Полевской, г. Екатеринбург и г. Нижний Тагил. Для ДДУ, отнесенных к группе с высоким радоновым потенциалом, было проведено сравнение параметров в двух подвыборках, разделенных по годам постройки зданий, и было получено статистически значимое различие среднегодовых значений ОА радона (значение $t=5,0$, $p<0,05$). Отдельно был рассмотрен г. Екатеринбург (см. табл. 2).

Как видно из таблицы 2, такой фактор, как период постройки, сохраняет свою значимость, как на всей выборке помещений ДДУ, так и на подвыборках ДДУ, расположенных на территориях с одинаковым радоновым потенциалом.

Таблица 2

Сравнение ОА радона в подгруппах помещений, расположенных на первом этаже, в зданиях, построенных в разные периоды

[Table 2]

The comparison of radon concentrations between subgroups of rooms located on the ground floor in buildings constructed in different periods]

Период постройки [Year of construction]	Параметры [Parameters]	Все ДДУ [All kindergartens]	ДДУ в зоне с высоким радоновым потенциалом [Kindergartens in high radon potential territory]	г. Екатеринбург [Ekaterinburg]
1950–1969	СА, Бк/м ³ [AM, Bq/m ³]	85	90	69
	СГ, Бк/м ³ [GM, Bq/m ³]	67	70	66
	СГО [GSD]	2,13	2,12	1,41
	N, количество помещений [N, rooms]	137	73	10
1970–1989	СА, Бк/м ³ [AM, Bq/m ³]	54	52	39
	СГ, Бк/м ³ [GM, Bq/m ³]	39	38	37
	СГО [GSD]	2,21	2,24	1,46
	N, количество помещений [N, rooms]	232	104	15

В ДДУ, построенных после 2000 г., широкое распространение получило использование пластиковых стеклопакетов при остеклении окон. В ряде детских учреждений, построенных в ранние периоды, деревянные оконные рамы также были заменены на пластиковые стеклопакеты. К сожалению, данные по уровням радона в помещениях до установки стеклопакетов отсутствуют. Тем не менее, при сравнении подгрупп помещений с различными типами остекления окон (для зданий всех годов постройки, первые этажи) было получено, что в помещениях с пластиковыми стеклопакетами ОА радона в среднем почти в два раза выше (значение $t=4,65$, $p<0,05$) – СА ОА радона в помещениях с деревянными рамами составило 55 Бк/м³, а в помещениях с пластиковыми стеклопакетами – 87 Бк/м³.

Группа ДДУ, построенных в 1970–1989 гг., была дополнительно разделена на две подгруппы, различающиеся типом используемых строительных материалов: кирпич и железобетонные панели. В кирпичных зданиях среднее значение ОА радона было статистически значимо выше, чем в панельных зданиях. Дополнительно, чтобы исключить влияние установки пластиковых стеклопакетов, были проанализированы данные по ДДУ только с деревянными рамами. Был получен такой же результат. Таким образом, было обнаружено, что в обследованных ДДУ на накопление радона оказывают влияние следующие строительные технологии: тип строительных материалов и тип остекления окон (табл. 3).

Необходимо отметить, что помещения в ДДУ имеют четко регламентированный режим содержания:

- рабочий день с 8:00 до 18:00;
- обязательное проветривание помещений, где находятся дети, 3–4 раза в день;
- стандартное расписание прогулок, времени приема пищи и дневного сна.

Поэтому неопределенности, обусловленные различными режимами содержания помещений и поведением людей (характерные для жилых помещений и офисов), сведены к минимуму.

2. Анализ закономерностей накопления радона в ДДУ, в котором были обнаружены уровни ОА радона, превышающие санитарные нормативы

По результатам измерений ОА радона, проведенных в 2014 г. в г. Богданович Свердловской области, в одном из ДДУ в помещениях на первом этаже было выявлено превышение норматива 200 Бк/м³ по среднегодовому значению ЭРОА радона. Среднегодовые значения ОА

радона составили 620 Бк/м³ (летнее значение 750 Бк/м³, зимнее – 490 Бк/м³) и 400 Бк/м³ (летнее значение 560 Бк/м³, зимнее – 240 Бк/м³), что соответствует ЭРОА радона 310 и 200 Бк/м³ соответственно. Характеристики данного ДДУ: период постройки 1970–1989 гг., материал стен – бетонная панель, пластиковые окна.

На основании результатов измерений, выполненных трековыми детекторами, было принято решение провести детализированное радоновое обследование данного ДДУ, которое включало в себя следующие этапы:

1. Визуальный осмотр помещений и подвала для поиска путей поступления радона.
2. Измерение плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта в подвале.
3. Измерение ОА радона в подвальном помещении интегральными детекторами и радон-монитором.
4. Измерение ОА радона во всех помещениях, где присутствуют дети, интегральными детекторами.
5. Мониторинг суточных вариаций ОА радона в одном из помещений в течение 2 недель при помощи радон-монитора AlphaGUARD.

Детальное обследование данного ДДУ было выполнено в феврале – марте 2015 г. Осмотр подвального помещения с грунтовым полом площадью 1350 м² выявил наличие множества путей для миграции радона из подвала в помещения на первом этаже: швы в перекрытиях, места ввода коммуникаций, трещины и дыры в бетонных плитах. Используемая для герметизации данных отверстий строительной монтажная пена не является барьером для диффузии радона. Кроме того, не исключалась и возможность адвективного поступления радона из подвального помещения в помещения, расположенные на первом этаже. Подвальное помещение снабжено 4 окнами небольшого размера (460×210 мм) и плохо вентилируется.

Измерения ППР с поверхности грунта в подвальном помещении проводились в 10 точках, равномерно распределенных по площади помещения. Результаты измерений ППР варьировали в диапазоне от 75 до 540 мБк/(с×м²) со средним значением 270 мБк/(с×м²).

Для выявления соотношения между средними значениями ОА радона в подвальном помещении и помещениями, расположенными на первом этаже, было проведено два типа независимых измерений:

- измерения с использованием электронных приборов, непрерывно регистрирующих средние значения ОА радона за заданный интервал времени;

Таблица 3

Сравнение среднегодовых значений ОА радона в подгруппах помещений, расположенных на первом этаже зданий, построенных в 1970–1989 гг.

[Table 3]

The comparison between subgroups of rooms located on the ground floor in buildings constructed in 1970–1989 (Annual radon concentration, Bq/m³)

Строительные материалы [Building material]	Деревянные рамы [wooden windows]	Пластиковые стеклопакеты [PVC windows]	Все типы окон [all type of windows]
Бетонная панель [Concrete panels]	33	64	48
Кирпич [Brick]	49	68	59

– измерения при помощи интегрирующих трековых детекторов.

Для реализации первого подхода в помещении игровой комнаты на первом этаже был размещен радон-монитор AlphaGUARD, регистрирующий ОА радона каждый час, а в подвальном помещении – прибор SIRAD MR-106N, позволяющий непрерывно измерять средние значения ОА радона за интервал 24 ч. За период измерений 14 дней среднее значение ОА радона в подвальном помещении составило 520 Бк/м³, а в помещении на первом этаже – 260 Бк/м³.

Для уточнения результатов определения ОА радона в воздухе помещений ДДУ, полученных в ходе массового обследования, в различных помещениях данного ДДУ были проведены дополнительные измерения при помощи интегрирующих трековых радиометров радона РЭИ-4. Были обследованы помещения на первом и втором этажах: все групповые комнаты (игровые, спальни), кабинет логопеда, психолога, медицинский кабинет, музыкальный зал. В подвальном помещении было установлено 6 радиометров радона РЭИ-4. Экспонирование радиометров проводилось с 03.02.2015 г. по 11.03.2015 г. Среднее значение ОА радона в помещениях первого этажа составило 220 Бк/м³, в помещениях второго этажа – 120 Бк/м³, в подвальном помещении – 320 Бк/м³. Таким образом, учитывая также высокие значения ППР с поверхности грунта в подвальном помещении, было показано, что основным источником поступления радона в помещения ДДУ является грунт под зданием.

Исходя из измеренной средней плотности потока радона под зданием, равной 270 мБк/(с м²), и общей площади подвального помещения, был оценен общий дебет радона, поступающего в здание: 1,31 МБк/ч. Учитывая, что высота подвального помещения не превышала 2 м, была оценена общая кратность воздухообмена в подвале: ее значение получилось равным от 0,9 до 1,3 ч⁻¹. Такая высокая кратность воздухообмена в подвальном помещении может быть объяснена значительным адвективным и диффузионным переносом радона из подвала в помещения первого и далее второго этажа, что подтверждается измерениями ОА радона, выполненными на различных этажах здания.

Изоляция такого источника поступления радона в здание, как открытый грунт в подвальном помещении площадью 1350 м², и множества негерметичных путей его дальнейшей миграции, с технической точки зрения, не представляется возможной. Для поддержания ОА радона в подвальном помещении на уровне 100 Бк/м³ за счет использования приточно-вытяжной вентиляции необходимо обеспечить кратность воздухообмена примерно 5,0 ч⁻¹. Для этого потребуются установка активных систем вентиляции с производительностью 220–230 м³/мин. Использование таких систем в детском учреждении, с точки зрения как энергопотребления, так и создаваемого ими шума, нецелесообразно. В связи с этим были даны рекомендации по увеличению пассивной вентиляции подвального помещения за счет постоянного содержания вентиляционных окон открытыми.

Для подтверждения результатов первого детального обследования и оценки эффективности рекомендованного увеличения пассивной вентиляции подвального помещения в период с марта по май 2016 г. было проведе-

но повторное исследование, аналогичное выполненному в 2015 г. Единственным исключением было отсутствие измерений ППР с поверхности грунта в подвальном помещении. Среднее значение ОА радона в помещениях первого этажа составило 215 Бк/м³, помещений второго этажа – 130 Бк/м³, подвальном помещении – 420 Бк/м³. Таким образом, результаты обследований, выполненных в 2015 и 2016 гг., оказались практически идентичными. Увеличение пассивной вентиляции подвального помещения не оказало влияния на уровни ОА радона в помещениях на первом и втором этажах.

Работа ДДУ имеет ту специфику, что в период нахождения в них детей осуществляется интенсивный режим проветривания помещений. Для оценки влияния режима содержания помещений на суточные вариации ОА радона были проанализированы временные серии измерений ОА радона, полученные при помощи радон-монитора AlphaGUARD в 2015 и 2016 гг. По этим сериям измерений были рассчитаны средние значения ОА радона на каждый час суток. Расчеты были выполнены отдельно для дней, когда дети посещали ДДУ, и для выходных (рис. 2). Из рисунка 2 видно, что в рабочие часы детского учреждения, когда в помещении присутствуют дети, средние значения ОА радона находятся на значительно более низком уровне, не превышающем 130 Бк/м³, чем в нерабочие часы и выходные. Это значение в 2 раза ниже, чем среднее значение за весь период измерений (2 недели) и измеренное трековыми детекторами. Низкая воздухопроницаемость и плотная оболочка здания в то время, когда помещение не используется (в выходные, во время каникул и в ночное время), не обеспечивают необходимый воздухообмен и приводят к накоплению радона до высоких уровней. В свою очередь, в рабочие часы ДДУ помещение активно проветривается, кратность воздухообмена возрастает, и ОА радона уменьшается. Такая же ситуация была показана в работе [13].

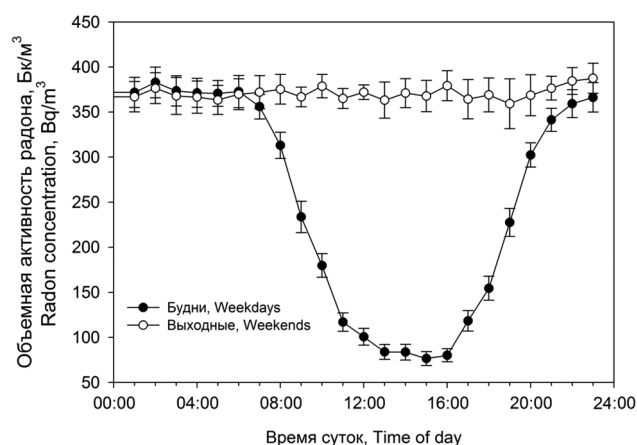


Рис. 2. Динамика изменения ОА радона в игровой комнате обследуемого ДДУ в г. Богданович
[Fig. 2. Radon monitoring in a playground of the kindergarten in the Bogdanovich town]

Выводы

1. Результаты массового обследования ДДУ Свердловской области продемонстрировали, что распределение ОА радона в атмосфере данных учреждений

представлено логнормальным распределением с параметрами: СА 60 Бк/м³, СГ 44 Бк/м³ и СГО 2,23.

2. Факторами, влияющими на накопление радона в атмосфере ДДУ, являются тип строительных материалов, связанный в том числе с различными периодами строительства зданий, и тип остекления окон.

По результатам подробного обследования ДДУ в г. Богданович, в котором были обнаружены уровни ОА радона, превышающие санитарные нормативы, можно сделать ряд дополнительных выводов:

1. Основным источником поступления радона в помещения является грунт под зданием. Измеренное значение ППР с поверхности грунта в подвальном помещении в 3,4 раза превышает норматив 80 мБк/(м²·с), установленный для участков территорий под строительство зданий жилищного и общественного назначения (ОСПОРБ 99/2010).

2. После измерений ОА радона в подвальном помещении и помещениях на первом этаже стало очевидно, что перекрытия первого этажа не оказывают существенного сопротивления поступлению радона, при этом герметизация подвального помещения от помещений первого этажа с целью предотвращения поступления радона не представляется возможной.

3. Средние значения ЭРОА радона в половине помещений на первом этаже и в двух помещениях на втором этаже превышают 100 Бк/м³.

4. В период активной эксплуатации помещений (в будни в рабочее время) уровни радона ниже значений, установленных санитарными нормативами. В связи с этим при обнаружении в детских учреждениях значений ЭРОА радона, близких к санитарным нормативам, целесообразно проведение дополнительного исследования суточных вариаций радона, позволяющего определить средние значения ЭРОА радона в период активной эксплуатации помещений.

Литература

1. Павленко, Т.А. Уровни облучения дошкольников за счет радона в воздухе помещений / Т.А. Павленко, М.И. Костенецкий, А.В. Куцак, А.И. Севальнев, Н.В. Аксенов, М.А. Фризюк // Гигиена и санитария. – 2015. – №4. – С. 18–21.
2. Стамат, И.П. Уровни облучения детей за счет природных источников излучения в детских образовательных учреждениях на территории отдельных субъектов Федерации / И.П. Стамат, Т.А. Кормановская, А.В. Световидов, И.А. Ракигин, Г.А. Горский // Радиационная гигиена. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 14–19.
3. Zunic Z., Carpentieri C., Stojanovska Z. [et al.] Some results of a radon survey in 207 Serbian schools. *Rom. J. Phys.*, 2013, No 58, pp. 320–327.
4. Ivanova K., Stojanovska Z., Tsenova M. [et al.] Measurement of indoor radon concentration in kindergartens in Sofia, Bulgaria. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 2015, No 162, pp. 163–166.
5. Bem H., Bem E.M., Krawczyk J. [et al.] Radon concentrations in kindergartens and schools in two cities: Kalisz and Ostrow Wielkopolski in Poland. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2013, No 295, pp. 2229–2232.
6. Tomasek L., Rogel A., Tirmarche M. [et al.] Lung Cancer in French and Czech Uranium Miners: Radon-Associated Risk at Low Exposure Rates and Modifying Effects of Time since Exposure and Age at Exposure. *Radiation Research*, 2008, Vol. 169, № 2, pp. 125–137.
7. Онищенко, А.Д. Влияние временных вариаций уровней радона и погрешностей измерений на оценку средних сезонных значений объемной активности радона в помещении / А.Д. Онищенко, М.В. Жуковский, А.В. Васильев // АНРИ. – 2013. – №3 (74). – С. 2–12.
8. Zhukovsky M., Onishchenko A., Bastrikov V. Radon measurements – discussion of error estimates for selected methods. *Applied Radiation and Isotopes*, 2010, Vol. 68, pp. 816–820.
9. Онищенко, А.Д. Роль искажающих факторов в радоновом эпидемиологическом исследовании / А.Д. Онищенко, М.В. Жуковский // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 65–75.
10. Bossew, P. Radon: exploring the log-normal mystery. *J. Environ. Radioact.*, 2010, Vol. 101, pp. 826–834.
11. Daraktchieva Z., Miles J.C.H., McColl N. Radon, the lognormal distribution and deviation from it. *J. Radiol. Prot.*, 2014, Vol. 34, pp. 183–190.
12. Жуковский, М.В. Радон: измерение, дозы, оценка риска / М.В. Жуковский, И.В. Ярмошенко. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 231 с.
13. Fojtikova I., Navratilova Rovenska K. Influence of energy-saving measures on the radon concentration in some kindergartens in the Czech Republic. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 2014, Vol. 160, pp. 149–153.

Поступила: 05.03.2018 г.

Онищенко Александра Дмитриевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник Института промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук. **Адрес для переписки:** 620990, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 20; E-mail: onischenko@ecko.uran.ru

Васильев Алексей Владимирович – кандидат технических наук, научный сотрудник Института промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург, Россия

Малиновский Георгий Петрович – кандидат биологических наук, научный сотрудник Института промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург, Россия

Жуковский Михаил Владимирович – доктор технических наук, профессор, директор Института промышленной экологии Уральского отделения Российской Академии наук, Екатеринбург, Россия

Для цитирования: 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

Influence of building features on radon accumulation in kindergartens of the Sverdlovsk region

Aleksandra D. Onishchenko, Aleksey V. Vasilyev, Georgy P. Malinovsky, Mikhail V. Zhukovsky

Institute of Industrial Ecology Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Objective: To study the levels of radon accumulation in kindergartens in Sverdlovsk Region and to determine the relationship between radon concentration, and building characteristics. To perform a detailed analysis of radon entry and accumulation in the kindergarten, in which radon concentration exceeds the safety standards. **Materials and methods:** Track detectors REI-4 on the base of LR-115 film were used. Detectors were installed in playrooms and bedrooms for day nap. In each kindergarten, at least 3 rooms were examined. The measurements were carried out twice a year, during the warm and cold seasons. The duration of exposure of the detectors was 2–3 months in each season. The AlphaGUARD radon monitor was installed in the kindergarten with a high level of radon concentration. **Results:** It is shown that the distribution of radon concentration in the kindergartens of the Sverdlovsk region can be described by a lognormal distribution with an average value of 60 Bq/m³, a geometric mean of 44 Bq/m³ and a standard geometric deviation of 2.23. A statistically significant difference was found between the mean values of radon concentration in subgroups of buildings constructed at different periods. For the kindergartens constructed in 1950–1969, the average radon concentration was 85 Bq/m³, for buildings built in 1970–1989 – 54 Bq/m³. When comparing subgroups of rooms with different types of windows (all buildings, ground floors) it was found that in rooms with PVC windows, radon concentration is almost twice as high then in rooms with wooden windows. For the kindergarten, in which the annual radon concentration in the playroom was 620 Bq/m³, it was shown, that if the proper ventilation regime of this room is observed, the average radon concentration during the presence of children does not exceed 120 Bq/m³. **Conclusions.** Factors affecting the indoor radon accumulation in the kindergartens are the type of building materials associated with different periods of building construction and the type of windows. When radon concentration measured in kindergartens reach sanitary standards, it is advisable to conduct an additional study of the daily radon variations, since during the active operation of the premises (working hours) radon levels may be significantly lower.

Key words: radon, kindergartens, track detectors, diurnal variations.

References

1. Pavlenko T.A., Kostenetsky M.I., Kutsak A.V., Sevalnev A.I., Aksenov N.V., Frizyuk M.A. Levels of exposure of preschool children due to indoor radon. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitation*, 2015, No 4, pp. 18–21 (in Russian).
2. Stamat I.P., Kormanovskaya T.A., Svetovidov A.V., Rakitin I.A., Gorsky G.A. Levels of children exposure from natural ionizing sources at child educational institutions in the territory of some Russian Federation subject territories. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2011, Vol. 4, No 1, pp. 14–19 (in Russian).
3. Zunic Z., Carpentieri C., Stojanovska Z. [et al.] Some results of a radon survey in 207 Serbian schools. *Rom. J. Phys.*, 2013, No 58, pp. 320–327.
4. Ivanova K., Stojanovska Z., Tsenova M. [et al.] Measurement of indoor radon concentration in kindergartens in Sofia, Bulgaria. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 2015, No 162, pp. 163–166.
5. Bem H., Bem E.M., Krawczyk J. [et al.] Radon concentrations in kindergartens and schools in two cities: Kalisz and Ostrow Wielkopolski in Poland. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2013, No 295, pp. 2229–2232.
6. Tomasek L., Rogel A., Tirmarche M. [et al.] Lung Cancer in French and Czech Uranium Miners: Radon–Associated Risk at Low Exposure Rates and Modifying Effects of Time since Exposure and Age at Exposure. *Radiation Research*, 2008, Vol. 169, № 2, pp. 125–137.
7. Onishchenko A.D., Zhukovsky M.V., Vasilyev A.V. Influence of time variations of radon levels on assessment of average season values of radon concentration in the room. *ANRI = ANRI*, 2013, № 3, pp. 2–12 (in Russian).
8. Zhukovsky M., Onishchenko A., Bastrikov V. Radon measurements – discussion of error estimates for selected methods. *Applied Radiation and Isotopes*, 2010, Vol. 68, pp. 816–820.
9. Onishchenko A.D., Zhukovsky M.V. The role of confounding factors in radon epidemiological study. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2017, Vol. 10, No 1, pp. 65–75 (in Russian).
10. Bossew, P. Radon: exploring the log-normal mystery. *J. Environ. Radioact.*, 2010, Vol. 101, pp. 826–834.
11. Daraktchieva Z., Miles J.C.H., McColl N. Radon, the lognormal distribution and deviation from it. *J. Radiol. Prot.*, 2014, Vol. 34, pp. 183–190.
12. Zhukovsky M.V., Yarmoshenko I.V. Radon: measurement, doses, risk assessment. Ekaterinburg, UB RAS, 1997, 231 p. (in Russian).
13. Fojtikova I., Navratilova Rovenska K. Influence of energy-saving measures on the radon concentration in some kindergartens in the Czech Republic. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 2014, Vol. 160, pp. 149–153.

Received: March 05, 2018

Aleksandra D. Onishchenko

Institute of Industrial Ecology of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Address for correspondence: Sofia Kovalevskaya str., 20, Ekaterinburg, 620219, Russia; E-mail: onishchenko@ecko.uran.ru

For correspondence: Aleksandra D. Onishchenko – Candidate of Biological Sciences, Researcher, Institute of Industrial Ecology of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Sofia Kovalevskaya str., 20, Ekaterinburg, 620990, Russia; Email: onishchenko@ecko.uran.ru)

Aleksey V. Vasilyev – Candidate of Technical Sciences, Researcher, Institute of Industrial Ecology of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Georgy P. Malinovsky – Candidate of Biological Science, Research Scientist, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Mikhail V. Zhukovsky – Doctor of Technical Science, Professor, Director, Chief Researcher, Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

For citation: Onishchenko A.D., Vasilyev A.V., Malinovsky G.P., Zhukovsky M.V. Influence of building features on radon accumulation in kindergartens of the Sverdlovsk region. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 2, pp.28-36. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-28-36