



УДК 504.75.06(550.422)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.39.3>

Определение эквивалентной равновесной объемной активности радона в жилых зданиях (на примере пос. Качуг, Иркутская область)

А. В. Ахтиманкина, А. П. Таюрская*

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. С целью определения эквивалентной равновесной объемной активности радона осуществлено обследование ряда жилых зданий пос. Качуг (Иркутская область) с учетом методических указаний МУ 2.6.1.037-2015 «Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности» и с применением двух измерительных комплексов – детектор-индикатора радона SIRAD MR-106N и комплекса «КАМЕРА-01». Исследование проведено в два этапа. На первом были выполнены измерения с применением детектор-индикатора, на втором сделано уточнение результатов с учетом выявленных ранее превышений. В ходе обследований на двух объектах были зарегистрированы значения ЭРОА радона, превышающие нормативные требования, причем наибольшие значения концентраций радона отмечены в ванных комнатах и спальнях. Однако абсолютный максимум ЭРОА радона зафиксирован в подвальном помещении (11 950 Бк/м³). Результаты работы представлены в виде графического материала. В заключение даны рекомендации по снижению концентрации радона до момента установления истинной причины превышения ЭРОА радона.

Ключевые слова: радон, эквивалентная равновесная объемная активность, радиационная безопасность, SIRAD MR-106N, «КАМЕРА-01».

Для цитирования: Ахтиманкина А. В., Таюрская А. П. Определение эквивалентной равновесной объемной активности радона в жилых зданиях (на примере пос. Качуг, Иркутская область) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 39. С. 3–15. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.39.3>

Original article

Determination of the Equivalent Equilibrium Volumetric Activity of Radon in Residential Buildings (On Example of the Kachug Village, Irkutsk Region)

A. V. Akhtimankina, A. P. Tayurskaya*

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The aim of the work is to determine the equivalent equilibrium volumetric activity of radon (EEVA) in a number of residential buildings in the village of Kachug (Irkutsk region) in order to identify objects with violation of hygienic requirements. The survey of buildings was carried out taking into account the guidelines MU 2.6.1.037-2015 “Determination of the average annual values of EEVA of radon isotopes in indoor air based on the results of measurements of different durations” and using two measuring complexes: a SIRAD MR-106N radon detector-indicator and a com - complex CAMERA-01. The study was carried out in 2 stages. At the first one, measurements were carried out using a detector-indicator, at the second, the results were refined taking into account the excesses identified earlier.

As a result of surveys conducted in 10 residential buildings, radon EEVA values were registered at two sites that exceeded the regulatory requirements. Regarding the functional purpose, the highest values of radon concentrations are observed in bathrooms and bedrooms. However, the absolute maximum of radon EEVA is observed in the basement (11,950 Bq/m³). The results of the work are presented in the form of graphic material. In conclusion, recommendations are given that will make it possible to reduce radon concentrations until the true cause of the excess of radon EEVA is established.

Keywords: radon, equivalent equilibrium volumetric activity, radiation safety, SIRAD MR-106N, CAMERA-01.

For citation: Akhtimankina A. V., Tayurskaya A. P. Determination of the Equivalent Equilibrium Volumetric Activity of Radon in Residential Buildings (On Example of the Kachug Village, Irkutsk Region). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2022, vol. 39, pp. 3-15. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.39.3> (in Russian)

Введение

Радон – радиоактивный газ без запаха, цвета и вкуса, образуется в процессе природного радиоактивного распада урана, тория и содержащих радий минералов в коренных породах [WHO handbook on ... , 2009], почвах, подземных водах [Global estimate of ... , 2018].

Высвобождаясь из грунта в воздух, радон распадается с образованием радиоактивных частиц. Несмотря на естественное происхождение, радон и дочерние продукты радона могут концентрироваться в антропогенной среде до уровней, обычно не наблюдаемых в природе [Radon exposure is rising ... , 2019]. Так, в плохо проветриваемых местах концентрации радона могут сильно варьироваться – от 10 до более 10 000 Бк/м³.

Согласно оценке НКАДР ООН, радон вместе со своими ДПР ответственен примерно за 75 % годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации [Радиация. Дозы, эффекты ... , 1990]. При вдыхании эти частицы осаждаются на клетках эпителия дыхательных путей, что чревато повреждением ДНК клеток и может привести к развитию рака легких. Результаты многих исследований подтверждают, что радон является основной причиной рака легких у никогда не куривших и второй ведущей причиной у курильщиков, вызывая, по оценкам, от 3 до 20 % смертей от рака легких во всем мире [Attributable risk ... , 2016; Chen, Moir, Whyte, 2012]. Увеличение средней концентрации радона за длительный период времени на 100 Бк/м³ повышает примерно на 16 % риск развития рака легких. Считается, что соотношение «доза – ответ» является линейным, т. е. риск развития рака легких возрастает пропорционально степени воздействия радона.

Большинство людей подвергаются наиболее сильному воздействию радона в жилых домах, где они проводят много времени. Радон концентрируется в воздухе внутри помещений, когда они в достаточной мере изолированы от внешней среды. Поступая внутрь помещения различными путями (просачиваясь через фундамент и пол из грунта или высвобождаясь из материалов, использованных в конструкции дома), радон накапливается в нем. В результате в помещении могут отмечаться значительные уровни радиации, особенно если дом стоит на грунте с относительно повышенным содержанием радионуклидов или если при его постройке использовались материалы с повышенной радиоактивностью. К зонам повышенного риска относятся регионы, где на поверхность земли выходит гранит, гнейс, фосфорит [Жуковский, Ярмошенко, Киселев, 2015].

Концентрация радона внутри зданий зависит от следующих факторов:

- геологических особенностей местности (например, содержания урана и проницаемости подстилающих пород и грунтов);
- путей поступления радона в здание из грунта;
- выделения радона из строительных материалов;
- частоты смены воздушных масс в помещении за счет поступления атмосферного воздуха, которая в свою очередь зависит от конструкции здания, привычек людей в отношении проветривания занимаемых ими помещений и герметичности здания [Comprehensive survey ... , 2017].

Таким образом, воздействие радона на здоровье человека в настоящее время является актуальной проблемой.

Проблема радонового загрязнения на территории Российской Федерации

Средние годовые эффективные дозы природного облучения населения субъектов Российской Федерации за период с 2003 по 2018 г. варьировались от 1,6 до 15,1 мЗв/год при среднем значении для России в целом от 3,11 до 3,79 мЗв/год. Наибольшие средние годовые дозы, превышающие 5,0 мЗв/год, наблюдались на территории Республики Алтай, Еврейской АО, Ставропольского и Забайкальского краев, Республики Тыва и Иркутской области. Суммарные средние дозы, превышающие 10 мЗв/год, в отдельные годы отмечались в двух субъектах Российской Федерации (Республике Алтай и Еврейской АО), 10 субъектов (среди которых Иркутская область) они превышают 5 мЗв/год [Динамика доз облучения ... , 2019]. В 2020 г. средняя индивидуальная годовая эффективная доза облучения в Иркутской области составила 6,13 мЗв [Доза облучения населения, 2021]. Таким образом, доля естественных источников в структуре облучения населения России составляет около 70 % дозы, причем существенная составляющая этой дозы (60 %) формируется за счет радона [Диденко, Прончев, 2015].

По данным государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году»¹, гигиенический норматив среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона (200 Бк/м³) превышен в 15 субъектах Российской Федерации (республиках Алтай, Башкортостан и Саха (Якутия), Белгородской, Ивановской, Иркутской, Кемеровской, Новгородской, Новосибирской, Свердловской, Сахалинской, Тульской областях, Ставропольском и Забайкальском краях, Еврейской автономной области).

Районирование по степени радоноопасности территории России, выполненное главным институтом Минприроды Российской Федерации в 1998 г. (единственное крупное исследование, полученные результаты в дальнейшем не уточнялись), показывает, что Иркутская область относится к территориям высокого риска радоноопасности (рис. 1).

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году : гос. доклад от 26 авг. 2020 г. URL: <http://36.rospotrebnadzor.ru/download/gd2020.pdf>



Рис. 1. Карта-схема распределения потенциально радоноопасных территорий

На карте-схеме видно, что в пределах Иркутской области находятся территории потенциальной радоноопасности и районы широкого развития радонопродуцирующих комплексов. Это подтверждается данными государственных докладов «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Иркутской области». На территории области отмечено высокое содержание радона в жилых и общественных зданиях населенных пунктов Южного Прибайкалья – Иркутского и Слюдянского районов, Усть-Ордынского Бурятского автономного округа, в ряде населенных мест на севере области – в Усть-Илимском, Киренском, Усть-Кутском и других районах.

Материалы и методы исследования

Измерения эквивалентной равновесной объемной активности радона производились с помощью детектор-индикатора радона SIRAD MR-106N и измерительного комплекса «КАМЕРА-01». Исследование было проведено на основе методик, заложенных в приборах, а также методических указаний МУ 2.6.1.037-2015 «Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности».

Детектор-индикатор радона SIRAD MR-106N предназначен для оценки ЭРОА дочерних продуктов изотопов радона-222 в воздухе помещений по величине объемной активности радона.

Изделие имеет Сертификат соответствия № 060070014 от 22.12.2006 и зарегистрировано в Реестре системы сертификации средств измерений. Сертификат выдан ФГУП «ВНИИФТРИ» Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Прибор имеет патент на полезную модель № 52183, зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей РФ 10 марта 2006 г.

Условия эксплуатации прибора предполагают измерения в капитальных жилых и других подобного типа помещениях при температуре окружающей среды от +10 до +35 °С, атмосферном давлении 630–800 мм рт. ст. и относительной влажности не более 65 % при температуре +25 °С.

Определение ЭРОА основано на электростатическом осаждении на поверхность детектора заряженных частиц дочерних продуктов радона. Изделие оценивает активность радона в воздухе помещений по величине объемной активности радона с установленным значением коэффициента равновесия ($K = 0,5$) между радоном и его дочерними продуктами распада.

В каждом обследуемом помещении проводится, как правило, одно обследование активности радона. В помещении больших размеров количество измерений увеличивается из расчета одно измерение на каждые 50 м². Прибор устанавливается на 72 ч в местах с минимальной скоростью воздухообмена, чтобы полученные результаты характеризовали максимальные значения активности радона в данном помещении. При этом детектор следует располагать не ниже 50 см от пола, не ближе 25 см от стен и 50 см от нагревательных элементов, кондиционеров, окон и дверей. Изделие подсчитывает количество альфа-частиц и выводит результаты на дисплей в Бк/м³.

Измерительный комплекс «КАМЕРА-01» зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 26748-04 (Сертификат RU.C.38.002.A № 17368) и допущен к применению на территории Российской Федерации.

«КАМЕРА-01» применяется для проведения радиационно-гигиенических обследований зданий, сдаваемых в эксплуатацию после окончания строительства, реконструкции или капитального ремонта, а также действующих жилых, общественных и производственных зданий, картирования территорий и строительных площадок по радоноопасности.

В комплексе для измерения объемной активности радона при пробоотборе используется метод сорбции радона на активированном угле с последующим измерением активности сорбированного радона в лабораторных условиях. Отбор проб на активированный уголь выполняется путем пассивного экспонирования открытых сверху сорбционных коробок СК-13. Вначале и после экспонирования определяется масса СК-13 с точностью до 10 мг. Величина привеса СК-13 позволяет учесть влияние влажности воздуха на сорбционную емкость активированного угля за период экспонирования. Измерения активности радона в угле допускается выполнять через несколько дней после пробоотбора, если нет возможности сделать это в тот же день.

На первом этапе исследования были проведены измерения ЭРОА в период с 27 декабря 2020 г. по 11 февраля 2021 г. с использованием детектор-индикатора радона SIRAD в семи жилых помещениях пос. Качуг, в результате чего были выявлены локальные превышения, тяготеющие к одной улице – Восточной (рис. 2). В доме 4 по этой улице максимальное значение ЭРОА составило 485 Бк/м³ и превысило норматив в 2,4 раза. В доме 3 максимум составил 510 Бк/м³, что в 2,6 раза больше допустимого значения.

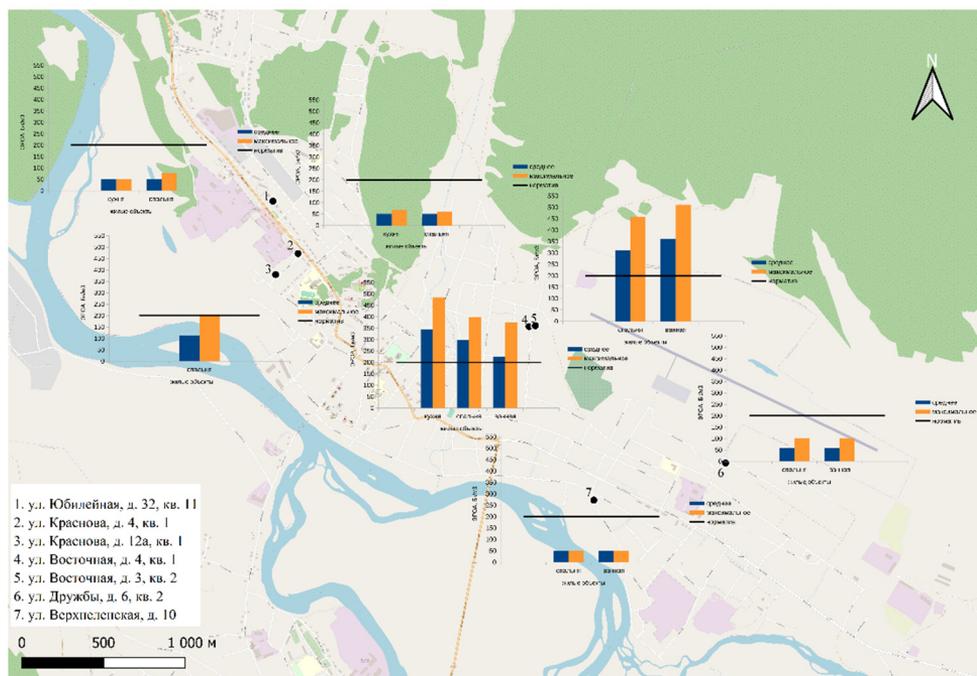


Рис. 2. Средние и максимальные значения ЭРОА по результатам измерения детектор-индикатором района SIRAD

С целью проверки достоверности полученных результатов на втором этапе были выполнены измерения ЭРОА района в период с 2 по 20 октября 2021 г. с одновременным применением двух приборных комплексов – SIRAD MR-106N и «КАМЕРА-01». На данном этапе измерений был сделан акцент на обследовании жилых домов, расположенных по ул. Восточной (табл. 1), в границах которой ранее были обнаружены превышения нормативов. В домах были обследованы помещения различного функционального назначения. Кроме того, объект № 2 (ул. Восточная, д. 4, кв. 1) был обследован на вертикальное распределение радиоактивного газа.

Таблица 1

Характеристика объектов исследования

№ объекта	Адрес	Кол-во комнат	Ванная	Скважина	Подвал	Площадь, м ²	Материал дома
1	ул. Комсомольская, д. 26	3	отсутствует	отсутствует	есть	70	дерево
2	ул. Восточная, д. 4, кв. 1	2	есть	есть	есть	68	дерево
3	ул. Восточная, д. 3, кв. 2	2	есть	есть	есть	68	дерево
4	ул. Восточная, д. 12, кв. 1	3	есть	есть	есть	59	дерево
5	ул. Восточная, д. 23, кв. 3	2	есть	есть	есть	60	дерево

Обсуждение результатов

Измерения, проводимые детектор-индикатором радона SIRAD MR-106N

Результаты измерения ЭРОА радона представлены в табл. 2. За 48 ч было получено 12 измерений ЭРОА радона для одного помещения, весь период исследования данным прибором составил 19 дней. На соответствие нормативным требованиям было обследовано пять зданий и восемь помещений.

Таблица 2

Результаты измерений, полученные с применением SIRAD MR-106N

№ объекта	Дата установки	Дата сбора	ЭРОА, Бк/м ³ (средняя)	ЭРОА, Бк/м ³ (максимальная)	Функциональное назначение помещения
1	10.10.2021	12.10.2021	84	145	спальня
2	08.10.2021	10.10.2021	307	468	спальня
2	12.10.2021	14.10.2021	5648	6996	подвал (пол)
2	14.10.2021	16.10.2021	382	527	зал (шкаф)
2	16.10.2021	18.10.2021	345	570	ванная
2	18.10.2021	20.10.2021	2498	2882	подвал (1 м)
3	06.10.2021	08.10.2021	128	238	спальня
4	04.10.2021	06.10.2021	50	51	спальня
5	02.10.2021	04.10.2021	50	51	спальня

Из пяти объектов два – № 2 и 3 не соответствуют установленному для ЭРОА радона нормативу. На объекте № 2 были произведены измерения в четырех помещениях различного функционального назначения, ни в одном из них не было получено среднего значения активности радона ниже норматива в 200 Бк/м³. На объекте № 3 максимальное значение радона составило 238 Бк/м³, а среднее значение ЭРОА соответствует требованиям и равно 128 Бк/м³. Во всех остальных обследованных помещениях превышений не обнаружено. Абсолютный максимум ЭРОА зафиксирован в подвальном помещении объекта № 2 и составил 6 996 Бк/м³, что в 34 раза превышает предельно допустимый уровень. Минимальное значение ЭРОА отмечено на объектах № 4 и 5 – 50 Бк/м³, это соответствует нижнему порогу измерения прибора (рис. 3).

Измерения, проводимые комплексом «КАМЕРА-01»

Пробы воздуха для измерения объемной активности радона были отобраны с помощью сорбционных колонок СК-13. Колонки были расставлены в пяти жилых зданиях, в таких помещениях, как кухня, спальная комната и ванная, а также на объекте № 2 обследованы подвал и чердак (табл. 3). Отбор воздуха был проведен за 48 ч с 2 по 4 октября 2021 г. 5 октября получены результаты измерения объемной активности радона. Для расчета ЭРОА был использован коэффициент равновесия, равный 0,5 для согласованных результатов по приборам, так как именно данное значение коэффициента установлено в детектор-индикаторе SIRAD MR-106N.



Рис. 3. Карта средних и максимальных значений ЭРОА района в жилых помещениях пос. Качуг, полученных по результатам измерения детектор-индикатором SIRAD

Таблица 3

Результаты измерений, полученных комплексом «КАМЕРА-01»

№ объекта	Дата установки	Дата сбора	ЭРОА, Бк/м ³	Функциональное назначение помещения
1	02.10.2021	04.10.2021	178	кухня
1	02.10.2021	04.10.2021	133	спальня
2	02.10.2021	04.10.2021	765	кухня
2	02.10.2021	04.10.2021	695	ванная
2	02.10.2021	04.10.2021	1175	спальня
2	02.10.2021	04.10.2021	1295	спальня
2	02.10.2021	04.10.2021	11 950	подвал (пол)
2	02.10.2021	04.10.2021	10 300	подвал (1 м)
2	02.10.2021	04.10.2021	1085	зал (50 см)
2	02.10.2021	04.10.2021	760	зал (под потолком)
2	02.10.2021	04.10.2021	62	чердак
3	02.10.2021	04.10.2021	268	кухня
3	02.10.2021	04.10.2021	221	ванная
3	02.10.2021	04.10.2021	277	спальня
4	02.10.2021	04.10.2021	95	ванная
4	02.10.2021	04.10.2021	34	кухня
4	02.10.2021	04.10.2021	68	спальня
5	02.10.2021	04.10.2021	70	кухня
5	02.10.2021	04.10.2021	98	ванная
5	02.10.2021	04.10.2021	28	спальня

Данным методом также были выявлены превышения нормативного требования на объектах № 2 и 3. Максимальное значение ЭРОА получено в подвальном помещении объекта № 2 – 11 950 Бк/м³, оно в 59 раз превышает предельно допустимый уровень; минимальное значение зарегистрировано на объекте № 5 в спальне и составило 27,5 Бк/м³. Если не принимать во внимание данные, полученные для подвального помещения, то максимальные уровни активности радона на объектах № 2 и 3 наблюдались в спальняной комнате, а минимальные – в ванной. На объектах № 1, 4, 5 превышений норматива не выявлено (рис. 4).



Рис. 4. Распределение средних значений ЭРОА радона в жилых помещениях пос. Качуг, полученных по результатам измерения комплексом «КАМЕРА-01»

Кроме того, на объекте № 2 были произведены измерения концентраций радона по вертикали (рис. 5).

Снижение концентрации радона с высотой является закономерным, что отмечено во многих публикациях как российских авторов [Михнев, 2018], так и иностранных [Monitoring of radon ... , 2020; Rahman, Matiullah, Ghauri, 2010; Tchorz-Trzeciakiewicz, Olszewski, 2019].

Существует несколько причин, которые влияют на уровень содержания радона в жилых помещениях:

1. Состав пород и геологическое строение территории. Анализ картографического материала исследуемой территории не выявил на рассматриваемой местности крупных геологических разломов, которые могут являться причиной поступления радона в жилые помещения. Кроме того, превышения, отмеченные в ходе измерений, носят локальный характер, что также указывает на то, что геологическое строение местности – не основной фактор превышения ЭРОА радона.

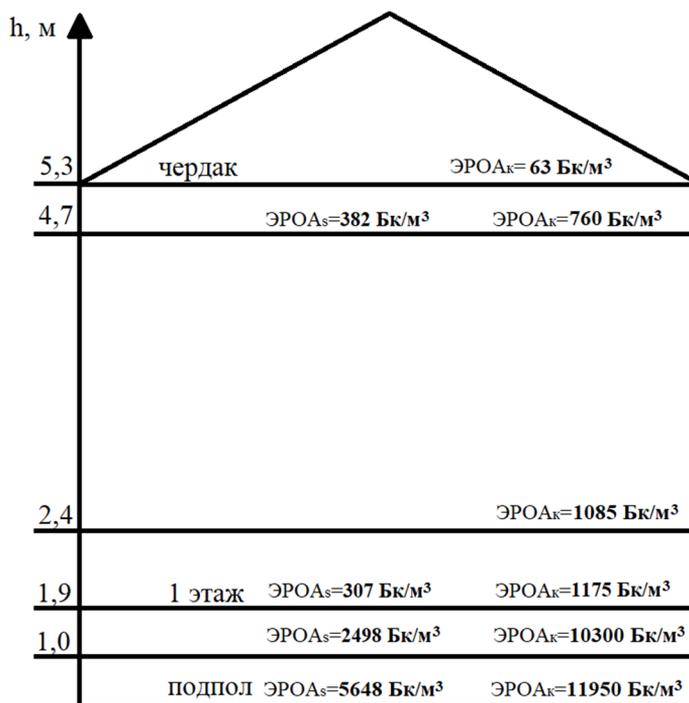


Рис. 5. Вертикальное распределение эквивалентной равновесной объемной активности радона на объекте № 2: ЭРОА_s – ЭРОА, полученная прибором SIRAD MR-106N; ЭРОА_к – ЭРОА, полученная комплексом «КАМЕРА-01»

2. Строительный материал. В нашем случае он также не мог стать причиной превышения гигиенических нормативов ЭРОА, поскольку дерево (строительный материал всех обследованных домов) обладает наименьшей удельной активностью.

3. Одной из причин превышения для исследуемых домов может выступать высокое содержание радона в воде, которая подается из собственных скважин. Для подтверждения данного фактора в дальнейшем планируется проведение анализа воды на содержание естественных радионуклидов.

Выводы

В результате обследования жилых домов пос. Качуг было установлено, что в двух из десяти обследованных объектов зарегистрированы значения ЭРОА радона, превышающие нормативные требования. Это объекты, расположенные по адресу ул. Восточная, д. 4, кв. 1, и ул. Восточная, д. 3, кв. 2. Наибольшие значения в жилых помещениях наблюдаются в ванной (согласно результатам измерения с использованием SIRAD MR-106N) и в спальнях (с использованием измерительного комплекса «КАМЕРА-01») на объекте № 2, расположенном по адресу ул. Восточная, д. 4, кв. 1. Абсолютные максимумы ЭРОА радона отмечаются в подвальном помещении.

В данных условиях до установления точной причины выявленных превышений жителям рекомендуется придерживаться рекомендаций, соблюдение которых позволит снизить содержание радона в атмосферном воздухе:

- более интенсивная вентиляция подпольного пространства;
- обустройство системы отвода радона в подвальном помещении или под монолитным полом на грунтовом основании;
- предотвращение поступления радона из подвального пространства в жилые помещения;
- устранение трещин и щелей в полах и стенах;
- улучшение вентилирования здания, особенно в контексте энергосбережения.

Пассивные системы смягчения воздействия радона способствуют уменьшению концентрации этого газа внутри помещений более чем на 50 %. Добавление принудительной вентиляции обеспечивает еще большее снижение концентрации радона.

Список литературы

- Диденко П. И., Прончев Г. Б.* Радоновая опасность для населения России // Национальная безопасность. 2015. Т. 40, № 5. С. 625–630.
- Динамика доз облучения населения Российской Федерации за период с 2003 по 2018 г. / А. Н. Барковский [и др.] // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 4. С. 96–112.
- Доза облучения населения Российской Федерации в 2020 г. / А. Н. Барковский [и др.] // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 4. С. 103–113.
- Жуковский М. В., Ярмошенко И. В., Киселева С. М.* Радиологическая защита от облучения радоном. М. : ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, 2015. 92 с.
- Михнев И. П.* Концентрация радона в помещениях и эффективная эквивалентная доза облучения населения Волгоградской области // Интерактивная наука. 2018. Т. 2, № 24. С. 8–13.
- Радиация. Дозы, эффекты, риск : пер. с англ. М. : Мир, 1990. 79 с.
- Chen J., Moir D., Whyte J.* Canadian population risk of radon induced lung cancer: a re-assessment based on the recent cross-Canada radon survey // Radiat Prot Dosimetry. 2012. Vol. 152. P. 9–13.
- Radon exposure is rising steadily within the modern north American residential environment, and is increasingly uniform across seasons / K. T. Fintan, L. I. Jesse, R. J. Weston, R. S. Shilpa, G. I. Daniel, D. W. Brandy, T. David, R. B. Darren, A. G. Aaron // Scientific reports nature research. 2019. Vol. 9:18472. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54891-8>
- Global estimate of lung cancer mortality attributable to residential radon / J. Gaskin, D. Coyle, J. Whyte, D. Krewski // Environ Health Perspect. 2018. Vol. 126, N 5. P. 057009-1-057009-8. <https://doi.org/10.1289/EHP2503>
- Attributable risk of lung cancer deaths due to indoor radon exposure / S. H. Kim, W. J. Hwang, J. S. Cho, D. R. Kang // Ann Occup Environ Med. 2016. Vol 28. P. 1–8.
- Rahman S., Matiullah M., Ghauri B.M.* Comparison of seasonal and yearly average indoor radon levels using CR-39 detectors // Radiation Measurements. 2010. Vol. 45, N 2. P. 247–252.
- Comprehensive survey of household radon gas levels and risk factors in southern Alberta / Stanley F. K. [et al.] // CMAJ Open. 2017. Vol. 5. P. E255–E264.
- Tchorz-Trzeciakiewicz D. E., Olszewski S. R.* Radiation in different types of building, human health // Science of Total Environment. 2019. N 667. P. 511–521.
- Monitoring of radon concentration for different building types in Covenant University, Nigeria / M. R. Usikalu, C. A. Onumejor, J. A. Achuka, A. Akinpelu, M. Omeje, T. A. Adagunodo // COGENT engineering. 2020. Vol. 7, N 1. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1759396>
- WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9789241547673_eng.pdf (date of access: 01.02.2022)

References

Didenko P.I., Pronchev G.B. Radonovaya opasnost dlya naseleniya Rossii [Radon danger for the population of Russia]. *Natsionalnaya Bezopasnost* [National security], 2015, vol. 40, no. 5. pp. 625-630. (in Russian)

Barkovskii A.N., Bratilova A.A., Kormanovskaya T.A. et al. Dinamika doz oblucheniya naseleniya Rossiiskoi Federatsii za period s 2003 po 2018 g. [Dynamics of exposure doses to the population of the Russian Federation for the period from 2003 to 2018]. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene], 2019, vol. 12, no. 4, pp. 96-112. (in Russian)

Barkovskii A.N., Akhmatdinov R.R., Akhmatdinov R.R. et al. Doza oblucheniya naseleniya Rossiiskoi Federatsii v 2020 g. [Exposure dose to the population of the Russian Federation in 2020]. *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene], 2021, vol. 14, no. 4, pp. 103-113. (in Russian)

Zhukovskii M.V., Yarmoshenko I.V., Kiseleva S.M. Radiologicheskaya zashchita ot oblucheniya radonom [Radiological protection against exposure to radon]. Moscow, FGBI GNTs FMBTs im. A.I. Burnazyana FMBA Rossii Publ., 2015, 92 p. (in Russian)

Mikhnev I.P. Kontsentratsiya radona v pomeshcheniyakh i effektivnaya ekvivalentnaya doza oblucheniya naseleniya Volgogradskoi oblasti [Radon concentration in rooms and effective equivalent exposure dose for the population of the Volgograd region]. *Interaktivnaya nauka* [Interactive science], 2018, vol. 2, no. 24, pp. 8-13. (in Russian)

Radiatsiya. Dozy, efekty, risk [Radiation. Doses, effects, risk]. Moscow, Mir Publ., 1990. 79 p. (in Russian)

Chen J., Moir D., Whyte J. Canadian population risk of radon induced lung cancer: a re-assessment based on the recent cross-Canada radon survey. *Radiat Prot Dosimetry*, 2012, vol. 152, pp. 9-13.

Fintan K.T., Jesse L.I., Weston R.J., Shilpa R.S., Daniel G.I., Brandy D.W., David T., Darren R.B., Aaron A.G. Radon exposure is rising steadily within the modern north American residential environment, and is increasingly uniform across seasons. *Scientific reports nature research*, 2019, vol. 9: 18472. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54891-8>

Gaskin J., Coyle D., Whyte J., Krewski D. Global Estimate of Lung Cancer Mortality Attributable to Residential Radon. *Environ Health Perspect*, 2018, vol. 126, no. 5, pp. 057009-1-057009-8. <https://doi.org/10.1289/EHP2503>

Kim S.H., Hwang W.J., Cho J.S., Kang D.R. Attributable risk of lung cancer deaths due to indoor radon exposure. *Ann Occup Environ Med*. 2016, vol 28, pp. 1-8.

Rahman S., Matiullah M., Ghauri B.M. Comparison of seasonal and yearly average indoor radon levels using CR-39 detectors. *Radiation Measurements*, 2010, vol. 45, no. 2, pp. 247-252.

Stanley F.K. et al. Comprehensive survey of household radon gas levels and risk factors in southern Alberta. *CMAJ Open*, 2017, vol. 5, pp. E255-E264.

Tchorz-Trzeciakiewicz D.E., Olszewski, S.R. Radiation in different types of building, human health. *Science of Total Environment*, 2019, no. 667, pp. 511-521.

Usikalu M.R., Onumejor C.A., Achuka J.A., Akinpelu A., Omeje M., Adagunodo T.A. Monitoring of radon concentration for different building types in Covenant University, Nigeria. *COGENT engineering*, 2020, vol. 7, no. 1. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1759396>

WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Available at: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9789241547673_eng.pdf (date of access: 01.02.2022).

Сведения об авторах

Ахтиманкина Анастасия Владимировна
кандидат географических наук, доцент
кафедра гидрологии и природопользования
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: anastasiya.ahitimankina@mail.ru

Information about the authors

Akhtimankina Anastasiia Vladimirovna
Candidate of Sciences (Geography),
Associate Professor, Department of Hydrology
and Environmental Management
Irkutsk State University
1, K. Marx, Irkutsk, 664003, Russian Federation
e-mail: anastasiya.ahitimankina@mail.ru

Тайурская Анна Павловна

*студент, кафедра гидрологии
и природопользования*

Иркутский государственный университет

664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1

e-mail: ann.tayurskay21@gmail.com

Tayurskaya Anna Pavlovna

*Student, Department of Hydrology
and Environmental Management*

Irkutsk State University

1, K. Marx, Irkutsk, 664003, Russian Federation

e-mail: ann.tayurskay21@gmail.com

Код научной специальности: 25.00.36

Статья поступила в редакцию **01.02.2022**; одобрена после рецензирования **25.02.2022**; принята к публикации **03.03.2022**

The article was submitted **February, 1, 2022**; approved after reviewing **February, 25, 2022**; accepted for publication **March, 3, 2022**