



УДК 546.296:614.72:613.5(571.1)  
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.121>

## Объемная активность радона-222 в воздухе помещений города Тобольска и прилегающих районов

А. Ю. Токарева, Г. С. Алимова, И. А. Уткина\*

*Тобольская комплексная научная станция УрО РАН, г. Тобольск, Россия*

**Аннотация.** Представлены предварительные результаты квазиинтегральных измерений средней за 4 сут. объемной активности радона-222 в воздухе помещений жилых и общественных зданий г. Тобольска и прилегающих районов – Тобольского, Вагайского, Уватского, полученные за март – август 2023 г. Наименьший уровень объемной активности радона-222 выявлен в жилых девятиэтажных зданиях советского периода (годы постройки: 1970–1990) до 20 Бк/м<sup>3</sup>. Превышения уровня средней за 4 сут. объемной активности радона-222 свыше 400 Бк/м<sup>3</sup> не обнаружено в исследованных жилых и общественных помещениях Тобольска и прилегающих районов – Тобольского, Вагайского и Уватского. Распределение значений средней за 4 сут. объемной активности радона-222 в воздухе помещений в жилых и общественных помещениях г. Тобольска и прилегающих районов, а также в подполах и цокольных этажах не является нормальным, так как  $p < 0,01$ . Выявлено визуальное недостаточное совпадение распределения значений средней за 4 сут. объемной активности радона-222, полученных в жилых и общественных помещениях, с логнормальным, так как присутствуют значения более 200 Бк/м<sup>3</sup>, что согласуется с данными других исследователей. В исследованных деревянных жилых домах наличие подпола и отсутствие воздухообмена создает условия для накопления радона-222 в воздухе, наличие отдушин в фундаменте препятствует скоплению радона-222 в жилых комнатах.

**Ключевые слова:** объемная активность радона-222, воздух, жилые и общественные помещения, Тобольск, Тобольский, Вагайский и Уватский районы.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках фундаментальных научных исследований по теме: «Региональные особенности пространственно-временной дифференциации почв юга Тюменской области» (Регистрационный номер НИОКТР: 122011900105-8).

**Для цитирования:** Токарева А. Ю., Алимова Г. С., Уткина И. А. Объемная активность радона-222 в воздухе помещений города Тобольска и прилегающих районов // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2024. Т. 48. С. 121–139. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.121>

Original article

## The Volumetric Activity of Radon-222 in Indoor air of Tobolsk City and Adjacent Areas

A. Yu. Tokareva, G. S. Alimova, I. A. Utkina\*

*Tobolsk Complex Scientific Station UB RAS, Tobolsk, Russian Federation*

**Abstract.** This paper presents preliminary results of quasi-integral measurements of the average for 4 days volumetric activity of radon-222 in the indoor air of residential and public buildings of To-

bolsk city and adjacent districts – Tobolsk, Vagaysky, Uvatsky, obtained for March – August 2023. The lowest level of volumetric activity of radon-222 was found in residential nine-storey buildings of the Soviet period (years of construction: 1970–1990) up to 20 Bq/m<sup>3</sup>. Exceeding the level of volumetric activity of radon-222 over 400 Bq/m<sup>3</sup> was not revealed in the studied residential and public premises of Tobolsk and adjacent districts – Tobolsk, Vagai and Uvat. The distribution of values of average for 4 days volumetric activity of radon-222 in the air of premises of Tobolsk city and adjacent districts, as well as in subfloors and basement floors is not normal, as  $p < 0,01$ . The distribution of values of average for 4 days volumetric activity of radon-222 obtained in residential and public premises is visually insufficiently coincided with lognormal, as there are values more than 200 Bq/m<sup>3</sup>, which agrees with the data of other researchers. In the investigated wooden dwelling houses the presence of a basement and lack of air exchange creates conditions for accumulation of radon-222 in the air, the presence of vents in the foundation prevents accumulation of radon-222 in living rooms.

**Keywords:** volumetric activity of radon-222, air, residential and public premises, Tobolsk, Tobolsk, Vagai and Uvat districts.

---

**For citation:** Tokareva A.Yu., Alimova G.S., Utkina I.A. The Volumetric Activity of Radon-222 in Indoor air of Tobolsk City and Adjacent Areas. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2024, vol. 48, pp. 121-139. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.121> (in Russian)

---

## Введение

Одним из основных показателей, характеризующих уровень радона-222 в воздухе жилых и общественных помещений, является объемная активность [Дозы облучения населения ... , 2021]. Радон-222 входит в состав естественного радиационного фона. Для легкого человека опасность представляют его дочерние продукты распада – <sup>218</sup>Po и <sup>214</sup>Pb, образуемые в результате короткого периода полураспада с излучением альфа-частиц (доза облучения в 10 раз выше, чем на другие органы) [WHO handbook on indoor ... , 2009; Protection of the public ... , 2015; Онищенко, Жуковский, 2017; Barros, Steck, Field, 2016; Burke, Murphy, 2011]. Установлено, что при повышении объемной активности радона-222 в жилых помещениях на каждые 100 Бк/м<sup>3</sup> увеличивается риск развития рака легкого на 11 % [Action levels ... , 2017].

В Российской Федерации в информационном сборнике «Дозы облучения населения Российской Федерации» ежегодно приводятся данные из Единой системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД), являющейся частью подсистемы Минздрава России в рамках Единой государственной автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (ЕГАСКРО). Это в первую очередь сведения по индивидуальным дозам облучения граждан при проведении медицинских диагностических рентгенорадиологических процедур, по индивидуальным дозам облучения персонала радиационных объектов и получаемым при радиационных авариях. Небольшой объем данных представлен по индивидуальным дозам облучения граждан, создаваемым естественным и техногенно измененным радиационным фоном [Дозы облучения населения ... , 2021]. В то же время наибольший вклад в годовую эффективную дозу облучения населения Российской Федерации в среднем до 80,1 % приходится на естественный радиационный фон, в котором 59,3 % – на изотопы радона <sup>222</sup>Rn и <sup>220</sup>Rn; 19,7% – на

медицинские источники<sup>1</sup>. Облучение радоном в жилищах занимает особое место среди проблем радиационной безопасности: во всем мире активно проводятся исследования, направленные на изучение объемной активности радона-222 как в жилых, так и общественных помещениях [Сравнительный анализ ... , 2020; Микляев, Петрова, 2020; Cinelli, Tondeur, 2015; Bossew, Lettner, 2007; Mohamed, 2013].

Город Тобольск находится в месте впадения р. Тобол в р. Иртыш на стыке трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Тобольского материка, Кондинской и Среднеиртышской низменностей. Прилегающий к нему Вагайский район расположен на Среднеиртышской низменности. Тобольский и Уватский районы находятся в пределах Тобольского материка, тектоническая структура которого представлена Тобольским поднятием, граничащим с такими крупными региональными структурами: Казахской и Алтайской (Салымской) складчатых системами. С помощью региональной сейсморазведки выявлены разломы на границе этих систем, сопрягающихся в районе г. Тобольска и с. Абалак практически под прямым углом, через которые радон-222 может поступать естественным путем в окружающую среду [Государственная геологическая карта ... , 2009]. Ранее на данной территории зафиксированы высокие значения плотности потока радона-222 с глубины 1 м почвы – до 1200–1280 мБк/(м<sup>2</sup>·с) [Распределение радона-222 ... , 2022; Колобов, 2022].

На исследованной территории находится много сельских поселений, основным типом застройки которых являются одноэтажные деревянные дома. Особенность традиционных частных деревянных домов 1970–1990-х гг. – наличие подпола – это часто неизолированное углубление в почве под полом дома, около 1,5 м в глубину, предназначенное для хранения овощей в зимний период (рис. 1). Через него радон-222 из почвы может поступать в жилые помещения дома.

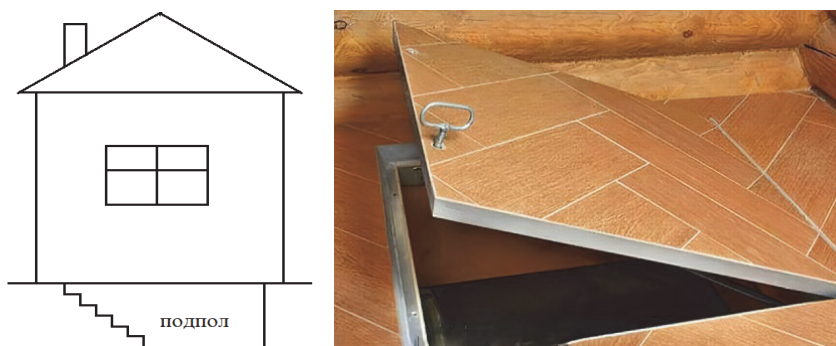


Рис. 1. Схема расположения подпола в деревянных домах

<sup>1</sup> Дозы облучения населения Российской Федерации в 2020 году. СПб. : НИИРГ им. проф. Рамзаева, 2021. 83 с. URL: [http://www.niirg.ru/PDF/inf\\_sbor/2020.pdf](http://www.niirg.ru/PDF/inf_sbor/2020.pdf) (дата обращения: 30.08.2023)

В соответствии с действующими российскими нормативными документами<sup>2</sup>, суммарное среднегодовое значение эквивалентной равновесной объемной активности ( $ЭРОА_{Rn}$ ) изотопов радона в помещениях эксплуатируемых жилых и общественных зданий не должно превышать  $200 \text{ Бк/м}^3$ , а вновь построенных (реконструированных) –  $100 \text{ Бк/м}^3$ .

$ЭРОА_{Rn}$  связана с объемной активностью радона-222 ( $C_{Rn}$ ) в воздухе зависимостью  $ЭРОА_{Rn} = C_{Rn} \cdot F$ , где  $C_{Rn}$  – объемная активность радона;  $F$  (отн. ед.) – коэффициент равновесия между радоном и его дочерними продуктами распада (ДПР), в состоянии радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР данный коэффициент равен единице. Коэффициент равновесия  $F$  в помещениях обычно изменяется в диапазоне от 0,2 до 0,8 при среднем значении 0,5 отн. ед., следовательно ориентировочно безопасное значение  $C_{Rn}$  для помещений эксплуатируемых жилых и общественных зданий не должно превышать  $400 \text{ Бк/м}^3$  [Кононенко, 2019].

Для определения значений  $C_{Rn}$  и  $ЭРОА_{Rn}$  в помещениях используют различные методы, отличающиеся длительностью и процедурой измерения, а также используемыми средствами измерений:

– мгновенные измерения  $C_{Rn}$  и/или  $ЭРОА_{Rn}$  – длительность измерения от минут до часа;

– квазиинтегральные измерения – методы (пассивная адсорбция радона-222 на угле), длительность непрерывного измерения которых составляет от нескольких часов до 4–5 сут.;

– интегральные методы – методы, обеспечивающие длительность непрерывного измерения  $C_{Rn}$  от нескольких суток до полугода – года. Результатом интегральных или квазиинтегральных методов является средняя за период измерения  $C_{Rn}$ , результатом мгновенных методов – мгновенная  $C_{Rn}$  или  $ЭРОА_{Rn}$  [Маренный, 2012; Радон. От фундаментальных ... , 2016].

В мировой практике измерения с помощью пассивных угольно-адсорбционных пробоотборников являются основными методами масштабных мониторинговых радоновых обследований [Маренный, 2012; National and Regional ... , 2013; Радон. От фундаментальных ... , 2016; Система мотивированного сбора ... , 2022; Study of Radon ... , 2018].

В данной работе представлены результаты квазиинтегральных измерений средней за 4 сут. объемной активности радона-222 в воздухе помещений жилых и общественных зданий г. Тобольска и прилегающих районов (Тобольского, Вагайского, Уватского) с целью оценки соответствия помещений требованиям.

## Материалы и методы

Всего было обследовано 31 жилое и общественное помещение в Тобольске и прилегающих районах – Тобольском, Вагайском и Уватском с марта по август 2023 г. Город включает в себя исторический центр с постройками 1780–1782 гг., подгорную часть с жилыми деревянными домами

---

<sup>2</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.2523-09; Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): Санитарные правила и нормы СП 2.6.1.2612-10.

1970–2020 гг., постройки и микрорайоны массового типового многоэтажного строительства XX и XXI вв.

На содержание объемной активности радона-222 в помещениях в первую очередь влияют геолого-географические характеристики места исследования (поток радона-222 с поверхности почвы, наличие или отсутствие геологических разломов) и строительные и конструктивные характеристики зданий (этажность и материал стен, тип системы вентиляции, наличие подвалов) [Маренный, 2012]. Поэтому с учетом данных факторов были выбраны типы зданий, характерных для всего жилого фонда г. Тобольска и его районов.

Предварительная выборка включала жилье сотрудников ТКНС УрО РАН, расположенное по всему городу и прилегающим районам – панельные дома в микрорайонах, деревянные дома в подгорной части города и в районах, а также несколько городских общественных зданий (материалы построек – кирпич, дерево, камень). Период измерений средней за 4 сут. объемной активности радона-222 в воздухе помещений зависел от разрешения доступа в конкретное здание – с марта по август 2023 г.

Квазиинтегральный метод измерения средней за 4 сут.  $C_{Rn}$  в воздухе жилых и общественных помещений основан на пассивном отборе пробы открытой с одного конца сорбционной колонки СК-13 с активированным углем, установленной в вертикальное положение на максимальном удалении от вентиляторов, обогревателей, форточек и других источников повышенного воздухообмена. По окончании пассивного отбора пробы СК-13 плотно закрывают крышкой. Сорбционные колонки СК-13 имеют внутренний диаметр  $19,0 \pm 0,5$  мм и внутренний объем  $12,8 \pm 0,6$  см<sup>3</sup>. В качестве сорбента использовался активированный уголь марки СКТ-3 в количестве  $5,0 \pm 0,2$  г. Высота слоя угля в колонке составила  $45,0 \pm 2,0$  мм. Регенерация активированного угля проводилась при  $140\text{--}160$  °С в сушильном шкафу ШС-80-01 СПУ в течение часа.

За время пассивного отбора пробы сорбционная колонка СК-13 с активированным углем сорбирует определенное количество радона-222 в зависимости от его объемной активности в помещении и влажности воздуха. Влияние влажности воздуха учитывается за счет корректировки сорбционной емкости СК-13 путем определения привеса  $\Delta M$  в граммах к массе СК-13 за время отбора пробы. Для этого определялась масса СК-13 с регенерированным углем в начале и после пробоотбора на электронных весах EW600-2M.

С целью повышения надежности результатов измерений в обследуемых помещениях для обеспечения менее интенсивного и более стабильного воздухообмена были закрыты окна и двери.

Выполнение измерений  $C_{Rn}$  в воздухе помещений проведено в соответствии с аттестованной ФР.1.38.2019.33733 «Методикой измерений средней за время экспозиции объемной активности радона в воздухе жилых и служебных помещений» (Москва, НТЦ «НИТОН», 1993 г.) с применением Комплекса измерительного для мониторинга радона «Камера-01» (номер в Государственном реестре средств измерений Российской Федерации 26748-04, заводской но-

мер 077, свидетельство о поверке ФБУ «УРАЛТЕСТ» № С-СЕ/14-04-2023/239012876 от 14.04.2023).

Измерение активности радона-222 в угле выполнялось в блоке детектирования БДБ-13 прибора по бета-излучению короткоживущих дочерних продуктов распада радона-222 –  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$ , находящихся в состоянии радиоактивного равновесия с радоном-222. БДБ-13 обеспечивает измерение активности радона-222 в угле в количестве  $(12,8 \pm 0,6)$  см<sup>3</sup> (емкость 1 шт. СК-13) на уровне 0,3 Бк с погрешностью не более 25 %.

Для контроля работы измерительного канала с блоком детектирования бета-излучения БДБ-13 использовался бета-источник с радионуклидами Sr-90+Y-90 типа 1СО-133. Чувствительность прибора к излучению источника находилась в допустимых пределах  $0,070 \pm 0,012$  (Бк·с)<sup>-1</sup>.

Среднюю за 4 сут.  $C_{Rn}$  в воздухе помещений  $C_{Rn}$ , Бк/м<sup>3</sup> определяли по формуле:

$$C_{Rn} = \frac{A \cdot \exp(\lambda \cdot t)}{n \cdot V}, \quad (1)$$

где  $A$  – суммарная активность радона-222 в угле по окончании пробоотбора, Бк;  $n = 4$  – количество СК-13, которые были установлены в одном помещении с последующим измерением суммарной активности радона в угле (допустимо от 1 до 5 шт.);  $t$  – интервал времени между окончанием пробоотбора и началом измерения активности радона-222 в угле, ч;  $\lambda$  – постоянная распада радона-222, равная 0,00755 1/ч;  $V$  – объемный эквивалент СК-13, м<sup>3</sup>, определяемый по формуле:

$$V = 10^{-3} \exp\{1,58 + 0,307 \ln t - 0,923\sqrt{\Delta M} - 2,04\sqrt{\Delta M} \exp(-0,0438t)\}, \quad (2)$$

где  $\Delta M$  – значение средней прибавки к массе СК-13 (привеса), г, определяемая по формуле:

$$\Delta M = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} (M_j^k - M_j^H), \quad (3)$$

где  $M_j^k$  – масса  $j$ -й СК-13 после пробоотбора, г;  $M_j^H$  – масса  $j$ -й СК-13 до пробоотбора, г.

Все расчеты проведены при использовании программного обеспечения «Радон 98». Версия 1.0.

Статистический анализ полученных данных проведен в программе Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США, 2011), используя критерий Колмогорова – Смирнова, хи-квадрат.

### Результаты и обсуждение

В рабочих помещениях пяти общественных зданий г. Тобольска средние за 4 сут. значения объемной активности радона-222 определены в диапазоне 15–160 Бк/м<sup>3</sup> (табл., п. 1, 4, 5, 8, 30).

Таблица

Средние за 4 сут. значения объемной активности района-222 ( $C_{Rn}$ ) в жилых и общественных помещениях г. Тобольска, Тобольского, Вагайского и Уватского районов

№	Адрес	Период	Материал стен	Общие характеристики	$C_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup>		
					в жилых комнатах	в подполе или цокольном этаже	
					min	max	max
1	Тюменская область, г. Тобольск, ул. Октябрьская, 5, ТКНС УрО РАН	март	дерево	общественное помещение, 1-й этаж, наличие естественной вентиляции	29	35	—
2	Тюменская область, г. Тобольск, микрорайон Сумкино, ул. Дачная, 26	март	дерево	1-этажный жилой дом без подпола, фундамент низкий, отсутствие отдушин	288	289	—
3	Тюменская область, г. Тобольск, микрорайон Сумкино, ул. Дачная, 32	март	дерево	1-этажный жилой дом без подпола, фундамент низкий, отсутствие отдушин	156	217	—
4	Тюменская область, г. Тобольск, ул. Красная пл., 1, стр. 3, Дворец Наместника. Музей истории правления Сибири	апрель	камень	3-этажное здание, общественное помещение на 1-м этаже («Воеводский зал»)	33	104	—
5	Тюменская область, г. Тобольск, ул. Самаровская, 17, Дом прессы	апрель	кирпич	2-этажное здание, общественное помещение на 1-м этаже	67	160	—
6	Тюменская область, г. Тобольск, 7а микрорайон, 16	май	железо-бетонная плита	9-этажный панельный дом, 4-й этаж, жилая комната	19	20	—
7	Тюменская область, г. Тобольск, 18 микрорайон, 116	май	газоблок	1-этажный жилой дом с изолированным подвалом и вентиляцией	20	28	274
8	Тюменская область, г. Тобольск, ул. Ремезова, 27, Жилищный комитет, Администрация г. Тобольска	май	железо-бетонная плита	5-этажное здание, общественное помещение на 1-м этаже	39	105	—
9	Тюменская область, г. Тобольск, 8 микрорайон, 14	июнь	железо-бетонная плита	9-этажный панельный дом, 9-й этаж, жилая комната	18	20	—

Продолжение табл.

№	Адрес	Период	Материал стен	Общие характеристики	$S_{\text{кв}}, \text{Бк/м}^3$			
					в жилых комнатах		в подполе или цокольном этаже	
					min	max	min	max
10	Тюменская область, г. Тобольск, 6-й микрорайон, 11	июнь	железо-бетонная плита	9-этажный панельный дом, 2-й этаж, жилая комната	16	22	-	-
11	Тюменская область, г. Тобольск, 7-й микрорайон, 8	июнь	железо-бетонная плита	9-этажный панельный дом, 2-й этаж, жилая комната	6	35	-	-
12	Тюменская область, г. Тобольск, ул. Ленская, 34	июнь	дерево	1-этажный жилой дом без подпола, наличие отдушин	56	73	-	-
13	Тюменская область, г. Тобольск, ул. Карла Маркса, 48	июль	дерево	2-этажный жилой дом без подпола, наличие отдушин в фундаменте и керамзита в объеме фундамента	15	23	-	-
14	Тюменская область, г. Тобольск, ул. Северная, 1а	июль	дерево	1-этажный жилой дом с подполом, наличие отдушин	34	46	22	32
15	Тюменская область, г. Тобольск, пер. Беретовой, 8	июль	дерево	1-этажный жилой дом с подполом, наличие отдушин	18	28	54	126
16	Тюменская область, г. Тобольск, ул. Большая, 37	июль	дерево	1-этажный жилой дом с подполом, наличие отдушин	21	22	36	38
17	Тюменская область, Тобольский район, СНТ «Сады»	июль	дерево	1-этажный жилой дом с подполом, наличие отдушин	20	21	1230	1420
18	Тюменская область, Тобольский район, пос. Приртышский, ул. Лесная, 14	июль	арболитовые блоки	1-этажный жилой дом с неизолированным подполом, отсутствие отдушин	30	50	251	495
19	Тюменская область, Уватский район, с. Горнослинкино, ул. Свердлова, 70	июль	дерево	1-этажный жилой дом с неизолированным подполом, наличие отдушин	3	17	23	28



Продолжение табл.

№	Адрес	Период	Материал стен	Общие характеристики	С <sub>квб</sub> , Бк/м <sup>3</sup>			
					в жилых комнатах		в подполе или цокольном этаже	
					min	max	min	max
20	Тюменская область, Уватский район, с. Горнослинкино, ул. Свердлова, 91	июль	дерево	1-этажный жилой дом с неизолированным подполом, отсутствие отдушин	22	24	426	514
21	Тюменская область, Уватский район, с. Горнослинкино, ул. Свердлова, 10А	июль	дерево	1-этажный жилой дом с неизолированным подполом, отсутствие отдушин	26	38	216	220
22	Тюменская область, г. Тобольск, микрорайон Менделеево	август	железо-бетонная плита	9-этажный панельный дом, 2-й этаж, жилая комната	12	34	–	–
23	Тюменская область, г. Тобольск, 10-й микрорайон, 44	август	железо-бетонная плита	9-этажный панельный дом, 9-й этаж, жилая комната	14	15	–	–
24	Тюменская область, г. Тобольск, ул. Третья Речная, 9	август	дерево	1-этажный жилой дом с подполом, отсутствие отдушин	20	31	525	550
25	Тюменская область, Тобольский район, пос. Сибиряк, ул. Молодежная, 3	август	дерево	1-этажный жилой дом с неизолированным подполом, отсутствие отдушин	53	144	1360	1760
26	Тюменская область, Тобольский район, пос. Сибиряк, ул. Молодежная, 5	август	дерево	1-этажный жилой дом с неизолированным подполом, отсутствие отдушин	79	119	712	1000
27	Тюменская область, Тобольский район, о-д. Долбиллова, 10а	август	дерево	2-этажный жилой дом с изолированным подполом	21	29	36	37
28	Тюменская область, с. Вагай, ул. Семакова, 5	август	дерево	1-этажный жилой дом с неизолированным подполом, наличие отдушин	25	30	34	41
29	Тюменская область, с. Вагай, ул. Семакова, 8	август	дерево	1-этажный жилой дом с неизолированным подполом, наличие отдушин	19	21	27	30

Окончание табл.

№	Адрес	Период	Материал стен	Общие характеристики	$C_{\text{об}}$ , Бк/м <sup>3</sup>					
					в жилых комнатах		в подполе или цокольном этаже			
					min	max	min	max		
30	Тюменская область, Вагайский район, с. Касьяново, ул. Школьная, 7	август	дерево	1-этажный жилой дом с изолированным подполом, отсутствие отдушин	27	28	664	670		
31	Тюменская область, г. Тобольск, ул. Октябрьская, 7, ТКНС УрО РАН	август	дерево	1-этажный жилой дом с цокольным этажом, наличие естественной вентиляции	15	19	67	106		
Статистические показатели					Среднее арифметическое значение $C_{\text{об}}$	49,5		393		
					Медиана	27,5		218		
					Коэффициент асимметрии $A_s$	2,7		1,5		
					Экцентриситет $E_k$	7,4		1,5		
					min	3	max	289	22	1760
					Стандартное отклонение	60,4		470		
					Число измерений	124		68		

Примечание: «-» – измерение не проводилось из-за отсутствия подпола или цокольного этажа, доступа в подвальное или цокольное помещение здания; min – минимальное значение; max – максимальное значение.

В панельных жилых девятиэтажных зданиях, расположенных в микрорайонах Тобольска значения объемной активности радона-222 варьируют в пределах 6–35 Бк/м<sup>3</sup>, среднее значение – 20 Бк/м<sup>3</sup> (табл., п. 6, 9, 10, 11, 22, 23). Данные дома построены в 1970–1990-е гг., т. е. относятся к зданиям советского периода. Внешние стены, внутренние перегородки и перекрытия являются сборными железобетонными панелями. В каждом подъезде расположена лестничная клетка, представляющая собой единый объем по всей высоте здания, шахта лифта и мусоропровод. В крупных городах России (Екатеринбург, Челябинск, Санкт-Петербург, Краснодар) в подобных домах средняя арифметическая объемной активности радона-222 составила 21 Бк/м<sup>3</sup>. Наименьший уровень в типовых жилых зданиях советского периода объясняется высоким воздухообменом за счет незастекленных балконов и лоджий, широких и длинных на всю стену окон на лестничных площадках. Вентиляция помещений производится под действием гравитационного и ветрового напора [Сравнительный анализ ... , 2020].

В жилых домах, где основным строительным материалом является дерево, объемная активность радона-222 зависит от наличия или отсутствия неизолированного от почвы подпола, вентиляционных отверстий (отдушин). В Тобольске в восьми деревянных жилых домах, расположенных в разных районах города, проведены измерения объемной активности радона-222 в воздухе.

Значения объемной активности радона-222 в деревянном доме без подпола, но с утепленным фундаментом, где в качестве утеплителя применен керамзит, не превышают 23 Бк/м<sup>3</sup> в жилых комнатах (табл., п. 13). Керамзит – легкий пористый строительный материал из глины. Известно, что глинистые частицы адсорбируют радионуклиды [Study of Radon ... , 2018; Дорожко, 2010]. Также в фундаменте данного дома сделаны отдушины для воздухообмена.

В деревянных домах без подпола, но где расстояние от поверхности почвы до пола дома не превышает 30 см и в фундаменте дома нет отдушин, значения зафиксированы на порядок выше – 156–289 Бк/м<sup>3</sup> в жилых комнатах (табл., п. 2, 3). А в доме с отдушинами в фундаменте уровень не превышал 73 Бк/м<sup>3</sup> (табл., п. 12).

В деревянных домах, где есть неизолированный от почвы подпол и хорошая вентиляция (табл., п. 14–16), значения в жилых комнатах варьируют от 18 до 46 Бк/м<sup>3</sup>, а в подполе – от 22 до 126 Бк/м<sup>3</sup>. А в доме, где нет отдушин в неизолированном подполе достигает 550 Бк/м<sup>3</sup>, при этом в комнатах низкий уровень значений – 20–31 Бк/м<sup>3</sup> (табл., п. 24).

В жилом доме, где материалом стен является газоблок (смесь цементного раствора, песка и воды с добавлением алюминиевой пудры, которая и образует газообразование, выделяя водород), в подвале уровень объемной активности радона-222 примерно в 11 раз выше, чем в жилых комнатах – 274–327 Бк/м<sup>3</sup> (табл., п. 7).

В пригороде Тобольска в пос. Прииртышский был обследован жилой дом, построенный из арболитовых блоков (древесная щепа, химические добавки, вода и цемент) с подполом без естественной вентиляции: в жилых комнатах объемная активность радона-222 – до  $50 \text{ Бк/м}^3$ , а в подполе – 251–495 (табл., п. 18).

В Тобольском районе, в поселениях, находящихся к юго-западу от г. Тобольска, в деревянном жилом доме с изолированным от почвы подвалом (обкладка стен подвала кирпичом, гидроизоляционными материалами) зафиксирован невысокий уровень объемной активности радона как в жилых комнатах (до  $29 \text{ Бк/м}^3$ ), так и в подвале (до  $37 \text{ Бк/м}^3$ ) (табл., п. 27).

В Тобольском районе в деревянных домах пос. Сибиряк максимальные значения в подполах достигают  $1000\text{--}1760 \text{ Бк/м}^3$ , а в жилых помещениях – до  $144 \text{ Бк/м}^3$ , что превышает среднемировую объемную активность радона-222 в жилых комнатах, равную  $40 \text{ Бк/м}^3$  (табл., п. 25, 26) [Identifying indoor radon ... , 2020]. Данный поселок находится недалеко от с. Абалак, т. е. на территории, где определены тектонические разломы, через которые радон-222 переходит естественным путем из почвы в окружающую среду [Государственная геологическая карта ... , 2009]. Также в данных домах подполы, неизолированные от почвы и не имеющие вентиляции, что и приводит к накоплению радона-222 в воздухе. Ранее здесь выявлены высокие значения плотности потока радона-222 с глубины 1 м почвы – до  $1200\text{--}1280 \text{ мБк/(м}^2 \cdot \text{с)}$  [Распределение радона-222 ... , 2022; Колобов, 2022]. На геологические особенности местности, включая активные разломы, как основной источник радона-222, особенно для деревянных домов, указывают и другие исследователи [Identifying indoor radon ... , 2020].

В с. Вагай обследовано два жилых дома с неизолированным подполом, но с вентиляционными отдушинами, поэтому значения объемной активности радона-222 в жилых помещениях не превышали  $30 \text{ Бк/м}^3$ , а в подполе –  $41 \text{ Бк/м}^3$  (табл., п. 28, 29).

В Вагайском районе был обследован дом с неизолированным подполом без естественной вентиляции: уровень объемной активности радона-222 в подполе примерно в 16 раз выше (до  $670 \text{ Бк/м}^3$ ), чем в домах, где есть вентиляция (табл., п. 30). Ранее в почвах этого района были выявлены достаточно высокие значения плотности потока радона-222 – до  $729\text{--}1085 \text{ мБк/(м}^2 \cdot \text{с)}$  на глубине  $0,8\text{--}1,0 \text{ м}$ , т. е. поступление радона-222 в подполы жилых домов скорее всего происходит из почвы [Alimova, Tokareva, 2021; Распределение радона-222 ... , 2022]. Так как материалом стен исследуемых домов является древесина, скорость выделения радона-222 из древесных пород незначительна –  $0,00677\text{--}0,01517 \text{ Бк/(м}^2 \cdot \text{ч)}$  [Lee, Choi, Kang, 2018].

В Уватском районе в с. Горнослинкино обследовано три жилых дома с неизолированным от почвы подполом, но в одном доме есть естественная вентиляция, соответственно значения объемной активности радона-222 минимальны – до  $17 \text{ Бк/м}^3$  в жилых комнатах и до  $28 \text{ Бк/м}^3$  – в подполе (табл., п. 19). В домах, где нет вентиляции, в подполах происходит накопление ра-

дона-222 и значения его объемной активности варьируют от 216 до 514 Бк/м<sup>3</sup> (табл., п. 20, 21).

В силу своего агрегатного состояния (газ) и большого атомного веса (почти в 8 раз тяжелее воздуха) свободный радон-222, образовавшись в материнских породах, поднимается к поверхности почвы, частично адсорбируется частицами самой почвы, частично растворяется в подземных водах и диффузно перемешивается с атмосферным воздухом, но не поднимается высоко, а «скатывается» в низины, ямы, подполы жилых домов. Наличие в жилых домах подпола с глубиной 1,5 м и более, отсутствие воздухообмена создает условия для накопления радона-222 от 126 Бк/м<sup>3</sup> и выше (см. табл.)

Высокие значения объемной активности радона-222 в исследованных подполах жилых домов обусловлены тектонической структурой исследуемой территории – Западно-Сибирской платформой, ее подстилающими породами, в которых выявлено наличие в минералогическом спектре глауконитоподобных зерен, глин (гидрослюда – монтмориллонит), радиоактивность которых на 50 % обусловлена содержащимся в этих породах радием [Государственная геологическая карта ... , 2009].

В жилых комнатах потоки воздуха, создаваемые естественной и искусственной вентиляцией, высота над уровнем основания подпола препятствуют скоплению радона-222 и значения объемной активности радона-222 во всех исследованных домах в жилых комнатах не превышают 400 Бк/м<sup>3</sup> и не представляют опасности для людей.

В целом полученные результаты средних за 4 сут. значений объемной активности радона-222 в воздухе жилых помещений Тобольска и прилегающих районов входят в пределы, зарегистрированные в жилых зданиях регионов России – от 20 до 230 Бк/м<sup>3</sup> [Кононенко, 2019].

Для нормального закона распределения коэффициент асимметрии  $A_s = 0$ , эксцесс  $E_k = 3$ , медиана и среднее значение практически должны совпадать между собой. Значения данных статистических показателей из таблицы не соответствуют этим условиям. Также нормальное распределение выборки любых данных подтверждается уровнем значимости  $p > 0,05$ . Получен небольшой объем данных по значениям  $C_{Rn}$ , собранных в жилых и общественных помещениях – 124 измерения, а в подполах и цокольных этажах – 68 измерения. Q-Q диаграмма показывает, насколько результаты измерений физической величины отклоняются от теоретических значений, полученных из нормального распределения с теми же параметрами, что и для эмпирических данных. В случае идеального совпадения диаграмма представляет собой прямую линию [Кононенко, 2019]. Q-Q диаграмма не имеет вида, характерного для нормального распределения (рис. 2). На основе рассчитанного критерия Колмогорова – Смирнова выявлено, что распределение значений  $C_{Rn}$ , полученных в жилых и общественных помещениях г. Тобольска и прилегающих районов, а также в подполах и цокольных этажах, не является нормальным, так как  $p < 0,01$ .

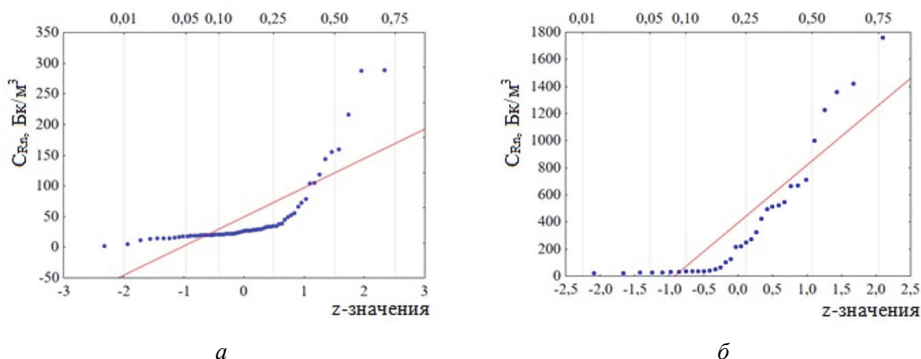


Рис. 2. Q-Q диаграмма результатов измерений  $C_{Rn}$ , полученных:  
 а – в жилых и общественных помещениях; б – в подполах и цокольных этажах

Итоги наших научных изысканий согласуются с результатами других исследователей, которые пришли к выводу, что объемная активность радона-222 в воздухе помещений подчиняется логнормальному закону до уровня 200–500 Бк/м<sup>3</sup>, выше которого начинают наблюдаться отклонения [Кононенко, 2019; Daraktchieva, Miles, McColl, 2014].

На рис. 3 представлена гистограмма частотного распределения значений натурального логарифма  $C_{Rn}$ , полученных в жилых и общественных помещениях. Визуально наблюдается недостаточное совпадение с логнормальным распределением значений  $C_{Rn}$ , в правой части гистограммы частотного распределения есть «хвост», поскольку присутствуют значения  $C_{Rn}$  более 200 Бк/м<sup>3</sup>. Несмотря на визуальное недостаточное совпадение с логнормальным, распределение значений  $C_{Rn}$  в исследуемых жилых и общественных помещениях не является нормальным с вероятностью 95 % и ближе к логнормальному.

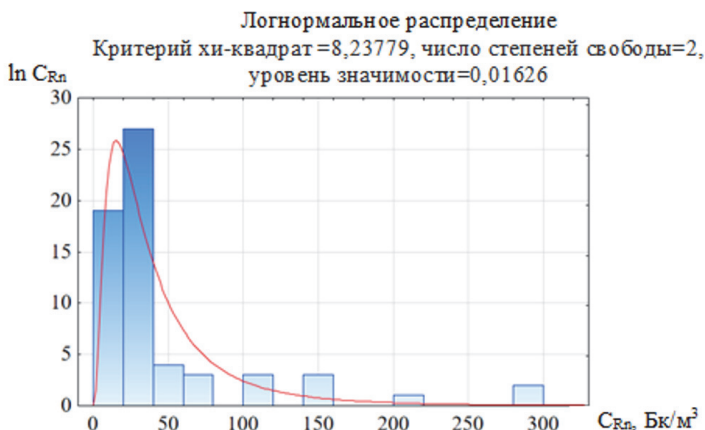


Рис. 3. Гистограмма частотного распределения значений натурального логарифма  $C_{Rn}$ , полученных в жилых и общественных помещениях

Логнормальное распределение свидетельствует о том, что  $C_{Rn}$  зависит от мультипликативного воздействия факторов: геологической структуры, удельной активности радия-226 в подстилающих грунтах, соответственно и плотности потока радона-222 с поверхности грунтов, возможных путей поступления радона-222 в помещения здания, кратности воздухообмена [Кононенко, 2019].

Несоответствие закону нормального распределения значений  $C_{Rn}$ , полученных квазиинтегральным методом в воздухе жилых и общественных помещений, предполагает использование непараметрических методов статистики (критерий Уитни – Манна, Н-критерий Краскела – Уоллиса и др.) и при расчете доз внутреннего облучения населения радоном-222 необходимо учитывать медианные значения, а не средние арифметические [Кононенко, 2019].

### Заключение

Наименьший уровень объемной активности радона-222 выявлен в жилых девятиэтажных зданиях советского периода (годы постройки: 1970–1990) – до 20 Бк/м<sup>3</sup>.

Превышения уровня объемной активности радона-222 свыше 400 Бк/м<sup>3</sup> не обнаружено в исследованных жилых и общественных помещениях г. Тобольска и прилегающих районов – Тобольского, Вагайского и Уватского.

Распределение средних за 4 сут. значений объемной активности радона-222, полученных в жилых и общественных помещениях г. Тобольска и прилегающих районов, а также в подполах и цокольных этажах, не является нормальным, так как  $p < 0,01$ .

Выявлено визуально недостаточное совпадение распределения значений  $C_{Rn}$ , полученных в жилых и общественных помещениях, с логнормальным, так как присутствуют значения  $C_{Rn}$  более 200 Бк/м<sup>3</sup>, что согласуется с данными других исследователей.

В исследованных деревянных жилых домах наличие подпола и отсутствие воздухообмена создает условия для накопления радона-222 в воздухе, наличие отдушин в фундаменте препятствует скоплению радона-222 в жилых комнатах.

### Список литературы

Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист О-42 – Тобольск. Объяснительная записка. СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2009. 300 с. + 6 вкл. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ООО «Геотэкс»).

Дозы облучения населения Российской Федерации в 2020 г. / А. Н. Барковский, Р. Р. Ахматдинов, Р. Р. Ахматдинов [и др.] // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 4. С. 103–113. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-4-103-113>.

*Дорожко А. Л.* Природный радон: проблемы и решения // Разведка и охрана недр. 2010. № 8. С. 50–56.

*Колобов А. П.* Плотность потока радона-222 в почвах Тобольского района Тюменской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2022. Т. 39. С. 56–68. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.39.56>

Кононенко Д. В. Анализ распределений значений объемной активности радона в воздухе помещений в субъектах Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 1. С. 85–103. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-1-85-103>.

Маренный А. М. Методические аспекты измерений средней объемной активности радона в помещениях интегральным трековым методом // Аппаратура и новости радиационных измерений. 2012. № 4 (71). С. 13–20.

Микляев П. С., Петрова Т. Б. Вариации объемной активности радона в традиционных деревенских домах // Радиационная биология. Радиоэкология. 2020. Т. 60, № 1. С. 89–98. <https://doi.org/10.31857/S0869803120010117>.

Онищенко А. Д., Жуковский М. В. Роль искажающих факторов в радоновом эпидемиологическом исследовании // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 1. С. 65–75. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-65-75>.

Радон. От фундаментальных исследований к практике регулирования / С. М. Киселев, М. В. Жуковский, И. П. Стамат, И. В. Ярмошенко. М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, 2016. 432 с.

Распределение радона-222 в почвах поймы и надпойменных террас рек Иртыша и Тобола / Г. С. Алимова, А. Ю. Токарева, И. А. Уткина, М. В. Самкова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 12. С. 168–177. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/12/3818>.

Система мотивированного сбора информации о содержании радона в помещениях с участием населения / А. М. Маренный, С. Ю. Антропов, Л. Э. Карл [и др.] // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 1. С. 96–103. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-1-96-103>.

Сравнительный анализ накопления радона в зданиях различного класса энергоэффективности на примере пяти российских городов / И. В. Ярмошенко, А. Д. Онищенко, Г. П. Малиновский [и др.] // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 47–56. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-47-56>.

Action levels for indoor radon: different risks for the same lung carcinogen? / A. Ruano-Ravina, K. T. Kelsey, A. Fernández-Villar [et al.] // European Respiratory Journal. 2017. Vol. 50:1701609. P. 1–4. <https://doi.org/10.1183/13993003.01609-2017>.

Alimova G. S., Tokareva A. Y. The Radon-222 Field Parameters in the Floodplain and Above-Floodplain Terrace Soils of the Irtysh and Tobol Rivers // Ambient Science. 2021. Vol. 08(1). P. 20–23. <https://doi.org/10.21276/ambi.2021.08.1.ra03>.

Barros N., Steck D. J., Field R. W. Utility of short-term basement screening radon measurements to predict year-long residential radon concentration on upper floor // *Radiation Protection Dosimetry*. 2016. Vol. 171, N 3. P. 405–413. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv416>.

Bossey P., Lettner H. Investigations on indoor radon in Austria, Part 1: Seasonality of indoor radon concentration // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2007. № 98(3). P. 329–345. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.06.006>.

Burke Q., Murphy P. Regional variation of seasonal correction factors for indoor radon levels // *Radiation Measurements* 2011. Vol. 46, N 10. P. 1168–1172. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2011.06.075>.

Cinelli G., Tondeur F. Log-normality of indoor radon data in the Walloon region of Belgium // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2015. N 143. P. 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.02.014>

Daraktchieva Z., Miles J. C. H., McColl Neil. Radon, the lognormal distribution and deviation from it // *Journal of Radiological Protection*. 2014. Vol. 34(1). P. 183–190. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/34/1/183>.

Identifying indoor radon sources in Pa Miang, Chiang Mai, Thailand / T. Thumvijit, S. Chanyotha, S. Sriburee [et al.] // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10:17723. P. 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74721-6>.

Lee J. Y., Choi G. W., Kang S. G. Radon Exhalation from Five Wood Species // *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 2018. Vol. 46, N 6. P. 735–747. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2018.46.6.735>



*Mohamed Abd El-Zaher.* A comparative study of the indoor radon level with the radon exhalation rate from soil in Alexandria city // Radiation Protection Dosimetry. 2013. Vol. 154, N 4. P. 490–496. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncs267>

National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings. Review of Methodology and Measurement Techniques. IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 33 (IAEA/AQ/33). Vienna : International Atomic Energy Agency; 2013. 35 p. URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/IAEA-AQ-33\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/IAEA-AQ-33_web.pdf) (дата обращения: 01.10.2023).

Protection of the public against exposure indoors due to radon and other natural sources of radiation. IAEA Safety Standards Series No. SSG-32. Vienna: International Atomic Energy Agency. 2015. 90 p. URL: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1651Web-62473672.pdf> (дата обращения: 01.10.2023).

Study of Radon and Thoron exhalation from soil samples of different grain sizes / N. Chitra, B. Danalakshmi, D. Supriya [et al.] // Applied radiation and isotopes. 2018. Vol. 133. P. 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.12.017>

WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva : WHO Press, 2009. 110 p. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK143216/> (дата обращения: 01.10.2023).

## References

*Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Zapadno-Sibirskaya. List O-42 – Tobolsk. Ob"yasnitelnaya zapiska* [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). West Siberian series. Sheet O-42 – Tobolsk. Explanatory note]. St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2009. 300 p. (in Russian)

Barkovskij A.N., Ahmatdinov R.R., Ahmatdinov R.R. et al. Dozy oblucheniya naseleniya Rossijskoj Federacii v 2020 g. [Radiation doses to the population of the Russian Federation in 2020]. *Radiacionnaya gigiena* [Radiation Hygiene], 2021, vol. 14, no. 4, pp. 103-113. <https://doi.org/10.21514/1998-426H-2021-14-4-103-113> (in Russian).

Dorozhko A.L. Prirodnyj radon: problemy i reshenija [The natural radon: problems and solutions]. *Razvedka i ohrana nedr* [Prospect and protection of mineral resources], 2010, no. 8, pp. 50-56. (in Russian).

Kiselev S.M., Zhukovskij M.V., Stamat I.P., Yarmoshenko I.V. *Radon: Ot fundamental'nyh issledovanij k praktike regulirovaniya* [Radon: From fundamental research to the practice of regulation]. Moscow, FGBU GNC FMBC im. A.I. Burnazyana FMBA Rossii Publ., 2016, 432 p. (in Russian)

Kolobov A.P. Plotnost potoka radona-222 v pochvah Tobol'skogo rajona Tyumenskoj oblasti [The Radon Flux Density is 222 in the Soils of the Tobolsk District of the Tyumen Region]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Science], 2022, vol. 39, pp. 56-68. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2022.39.56> (in Russian)

Kononenko D.V. Analiz raspredelenij znachenij ob"emnoj aktivnosti radona v vozduhe pomeshchenij v sub"ektah Rossijskoj Federacii. [Analysis of distributions of indoor radon concentrations in the regions of the Russian Federation]. *Radiacionnaya gigiena* [Radiation Hygiene], 2019, vol. 12, no. 1, pp. 85-103. <https://doi.org/10.21514/1998-426H-2019-12-1-85-103>. (in Russian)

Marennyy A.M. Metodicheskie aspekty izmerenij srednej ob"emnoj aktivnosti radona v pomeshcheniyah integral'nym trekovym metodom. [Methodical Aspects of Measurements Average Indoor Radon Volume Activity Using the Integral Track Method]. *Apparatura i novosti radiacionnyh izmerenij* [Radiation Measurement Apparatus and News], 2012, no. 4 (71), pp. 13-20. (in Russian)

Miklyaev P.S., Petrova T.B. Variacii ob"emnoj aktivnosti radona v tradicionnyh derevenskih domah. [Variations of Radon Activity Concentration in Traditional Village Houses]. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation Biology. Radioecology], 2020, vol. 60, no. 1. pp. 89-98. <https://doi.org/10.31857/S0869803120010117> (in Russian)

Onishchenko A.D., Zhukovsky M.V. Ro' iskazhayushchih faktorov v radonovom epidemiologicheskom issledovanii [The role of confounding factors in a radon epidemiological study]. *Radiac-*

*ionnaya gigiena* [Radiation Hygiene], 2017, vol. 10, no. 1, pp. 65-75. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-65-75> (in Russian)

Alimova G.S., Tokareva A.Yu., Utkina I.A., Samkova M.V. Raspredelenie radona-222 v pochvah pojmy i nadpojmyennyh terras rek Irtysha i Tobola [Radon-222 distribution in the soils of the floodplain and floodplain terraces of the Irtysh and the Tobol rivers]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering], 2022, vol. 333, no. 12, pp. 168-177. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/12/3818> (in Russian)

Ruano-Ravina A., Kelsey K.T., Fernández-Villar A. [et al.] Action levels for indoor radon: different risks for the same lung carcinogen? *European Respiratory Journal*, 2017, vol. 50: 1701609, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1183/13993003.01609-2017>

Marennyy A.M., Antropov S.Yu., Karl L.E. et al. Sistema motivirovannogo sbora informacii o soderzhanii radona v pomeshcheniyah s uchastiem naseleniya [The system of acquisition of information on indoor radon concentration with the motivated participation of the population]. *Radiacionnaya gigiena* [Radiation Hygiene], 2022, vol. 15, no. 1, pp. 96-103. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-1-96-103> (in Russian).

Yarmoshenko I.V., Onishchenko A.D., Malinovsky G.P. et al. Sravnitelnyj analiz nakopleniya radona v zdaniyah razlichnogo klassa energoeffektivnosti na primere pyati rossijskih gorodov [Comparative analysis of radon concentrations in buildings of different energy efficiency classes on example of five Russian cities]. *Radiacionnaya gigiena* [Radiation Hygiene], 2020, vol. 13, no. 2, pp. 47-56. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-47-56> (in Russian)

Alimova G.S., Tokareva A.Y. The Radon-222 Field Parameters in the Floodplain and Above-Floodplain Terrace Soils of the Irtysh and Tobol Rivers. *Ambient Science*, 2021, vol. 08(1), pp. 20-23. <https://doi.org/10.21276/ambi.2021.08.1.ra03>

Bossey P., Lettner H. Investigations on indoor radon in Austria, Part 1: Seasonality of indoor radon concentration. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2007, vol. 98, no. 3, pp. 329-345. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2007.06.006>

Barros Nirmalla, Steck Daniel J., Field R. William. Utility of short-term basement screening radon measurements to predict year-long residential radon concentration on upper floor. *Radiation Protection Dosimetry*, 2016, vol. 171, no. 3, pp. 405-413. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv416>

Burke Q., Murphy P. Regional variation of seasonal correction factors for indoor radon levels. *Radiation Measurements*, 2011, vol. 46(10), pp. 1168-1172. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2011.06.075>

Cinelli G., Tondeur F. Log-normality of indoor radon data in the Walloon region of Belgium. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2015, no. 143, pp. 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.02.014>

Daraktchieva Z., Miles J.C.H., McColl Neil. Radon, the lognormal distribution and deviation from it. *Journal of Radiological Protection*, 2014, vol. 34(1), pp. 183-190. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/34/1/183>

Thumvijit T., Chanyotha S., Sriburee S. et al. Identifying indoor radon sources in Pa Miang, Chiang Mai, Thailand. *Scientific Reports*, 2020, vol. 10 (17723), pp. 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74721-6>

Lee J.Y., Choi G.W., Kang S.G. Radon Exhalation from Five Wood Species. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 2018, vol. 46, no. 6, pp. 735-747. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2018.46.6.735>

Mohamed Abd El-Zaher. A comparative study of the indoor radon level with the radon exhalation rate from soil in Alexandria city. *Radiation Protection Dosimetry*, 2013, vol. 154(4), pp. 490-496. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncs267>

*National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings. Review of Methodology and Measurement Techniques. IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series N 33 (IAEA/AQ/33)*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2013. 35 p. Available at: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/IAEA-AQ-33\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/IAEA-AQ-33_web.pdf) (date of access: 01.10.2023)

*Protection of the public against exposure indoors due to radon and other natural sources of radiation. IAEA Safety Standards Series No. SSG-32*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2015, 90 p. Available at: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1651Web-62473672.pdf> (date of access: 01.10.2023).

Chitra N., Danalakshmi B., Supriya D. et al. Study of Radon and Thoron exhalation from soil samples of different grain sizes. *Applied radiation and isotopes*, 2018, vol.133, pp. 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.12.017>

*WHO handbook on indoor radon: a public health perspective*. Geneva, WHO Press, 2009, 110 p. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK143216/> (date of access: 01.10.2023).

#### Сведения об авторах

##### **Токарева Алена Юрьевна**

научный сотрудник, химико-экологическая лаборатория  
Тобольская комплексная научная станция  
УрО РАН  
Россия, 626152, г. Тобольск,  
ул. имени академика Юрия Осипова, 15  
e-mail: [aytokareva@list.ru](mailto:aytokareva@list.ru)

##### **Алимова Гульсем Салимовна**

кандидат технических наук,  
заведующий, химико-экологическая лаборатория  
Тобольская комплексная научная станция  
УрО РАН  
Россия, 626152, г. Тобольск,  
ул. имени академика Юрия Осипова, 15  
e-mail: [gulsem76@mail.ru](mailto:gulsem76@mail.ru)

##### **Уткина Ирина Александровна**

старший лаборант, химико-экологическая лаборатория  
Тобольская комплексная научная станция  
УрО РАН  
Россия, 626152, г. Тобольск,  
ул. имени академика Юрия Осипова, 15  
e-mail: [utkina.67@bk.ru](mailto:utkina.67@bk.ru)

#### Information about the authors

##### **Токарева Алена Юрьевна**

Research Associate, Chemical-Ecological Laboratory  
Tobolsk Complex Scientific Station UB RAS  
15, Academic Yuri Osipov st., Tobolsk, 626152,  
Russian Federation  
e-mail: [aytokareva@list.ru](mailto:aytokareva@list.ru)

##### **Alimova Gulsem Salimovna**

Candidate of Sciences (Technics),  
Head, Chemical-Ecological Laboratory  
Tobolsk Complex Scientific Station UB RAS  
15, Academic Yuri Osipov st., Tobolsk, 626152,  
Russian Federation  
e-mail: [gulsem76@mail.ru](mailto:gulsem76@mail.ru)

##### **Utkina Irina Aleksandrovna**

Senior Laboratory Assistant,  
Chemical-Ecological Laboratory  
Tobolsk Complex Scientific Station UB RAS  
15, Academic Yuri Osipov st., Tobolsk, 626152,  
Russian Federation  
e-mail: [utkina.67@bk.ru](mailto:utkina.67@bk.ru)

Код научной специальности: 1.6.21

Статья поступила в редакцию 04.10.2023; одобрена после рецензирования 31.03.2024; принята к публикации 04.06.2024  
The article was submitted October, 04, 2023; approved after reviewing March, 31, 2024; accepted for publication June, 04, 2024