

ГЕАХІМІЯ
GEOCHEMISTRY

УДК 577.346:57+504.064

Поступила в редакцию 12.04.2017

Received 12.04.2017

**А. К. Карабанов¹, А. В. Матвеев¹, И. В. Жук², Л. Л. Василевский², Т. Г. Леонтьева²,
Ж. А. Лукашевич², Т. В. Лисянович²**

¹ *Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

² *Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси,
Минск, Беларусь*

РАДОН В ВОЗДУХЕ ЗДАНИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Проведение систематических радонометрических исследований на территории Беларуси обусловлено значительным вкладом радона в облучение населения от природных и техногенных источников ионизирующего излучения. При этом основным источником поступления радона в воздух зданий является геологическое пространство под зданиями. Представлены данные, полученные при проведении мониторинга на территории 21 административного района Витебской области: объемная активность радона в воздухе жилых и административных зданий (OA_{Rn}), эквивалентная равновесная объемная активность радона (\overline{EEVA}_{Rn}) и годовая эффективная доза облучения населения (E_{Rn}), обусловленная радоном и дочерними продуктами его распада (ДПР). Общее количество обследованных помещений составило 665. Превышение нормируемого законодательством Республики Беларусь значения \overline{EEVA}_{Rn} (200 Бк/м³) наблюдалось в 18 помещениях (2,7%), среди которых 16 – жилые дома, 2 – административные здания. Средневзвешенная годовая эффективная доза облучения населения Витебской области, обусловленная радоном и его ДПР, составляет 4,5 мЗв/год, при вариации в отдельных районах от 2 (Полоцкий район) до 7,6 мЗв/год (Глубокский район). Наибольшее значение E_{Rn} , равное 32,4 мЗв/год, наблюдается в административном помещении Городокского района. Показано, что облучение населения Витебской области радоном и его ДПР является основным дозобразующим фактором по сравнению со всеми остальными компонентами природного и техногенного радиоактивных излучений, включая облучение от чернобыльских радионуклидов.

Ключевые слова: радон, радиоактивное излучение, Витебская область, эквивалентная равновесная объемная активность, эффективная доза облучения населения

Для цитирования. Радон в воздухе зданий населенных пунктов Витебской области / А. К. Карабанов [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2017. – № 4. – С. 81–89.

**A. K. Karabanov¹, A. V. Matveyev¹, I. V. Zhuk², L. L. Vasilevskij², T. G. Leontieva²,
J. A. Lukashevich², T. V. Lisyavich²**

¹*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

²*Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

RADON IN THE AIR OF PREMISES IN THE SETTLEMENTS OF VITEBSK REGION

Abstract. Radon from natural and anthropogenic radiation sources contributes significantly to the public exposure. For that reason, systematic radon monitoring is carried out in Belarus. The main source of radon in the air of premises is its emanation from the geological space under the buildings. The results of radon monitoring in 665 premises in 21 settlements of Vitebsk region are presented. The parameters investigated were: radon volumetric activity in the air of home accommodations and industrial premises (OA_{Rn}), radon equivalent equilibrium volumetric activity (\overline{EEVA}_{Rn}) and annual effective dose of public exposure due to radon-222 and its progenies (E_{Rn}). The excess values of radon volumetric activity in relation to the statutory criteria (200 Bq/m³) have been detected for 18 premises (2.7 %). Among them 16 are living accommodation and 2 are industrial premises. The weighted average annual effective dose of public exposure due to radon and its progenies in Vitebsk region is 4.5 mSv per year. Its value for Polatsk district is 2 mSv per year and 7.6 mSv per year – for Glubokae district. Maximum of the weighted average annual effective dose is reported for Garadok district and it makes 32.4 mSv per year. The population exposure to radon and its progenies is the main dose forming factor in comparison with other natural and anthropogenic radiation sources, including exposure from Chernobyl radionuclides.

Keywords: radon, radioactive radiation, Vitebsk region, equivalent equilibrium volumetric activity, effective dose of public exposure

For citation. Karabanov A. K., Matveyev A. V., Zhuk I. V., Vasilevskij L. L., Leontieva T. G., Lukashevich J. A., Lisyantovich T. V. Radon in the air of premises in the settlements of Vitebsk region. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk=Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical series*, 2017, no. 4, pp. 81–89 (In Russian).

Введение. Степень отрицательного влияния радиоактивного облучения на здоровье человека определяется величиной дозы от всех природных и техногенных источников ионизирующего излучения (ИИИ). С радиологической точки зрения природный радиоактивный газ радон-222 и дочерние продукты его распада (ДПР) являются доминирующим источником облучения населения. Его вклад в суммарную дозу облучения составляет более 50% [1, 2].

Облучение радоном относится к ситуации существующего облучения, поскольку его источником являются неизменные концентрации урана-238, радия-226, которые встречаются в природе в почвах и горных породах. В результате распада радия-226 образующийся радон эманурует из земной коры и вследствие этого присутствует в атмосферном воздухе и внутри всех зданий, в том числе на рабочих местах. Наблюдается значительная вариабельность объемной активности радона в воздухе помещений, обусловленная главным образом геологией территории и факторами, влияющими на разницу давлений снаружи и внутри здания (скорость воздухообмена, отопление здания и метеорологические условия) [3]. Тогда как объемная активность радона, поступившего из почвы, быстро разбавляется в наружном воздухе, в закрытых помещениях этого не происходит и в зависимости от скорости вентиляции газообразный радон может накапливаться в здании. Деятельность человека может создавать или изменять пути поступления радона в помещения с помощью профилактических или корректирующих действий, т. е. мер противорадионной защиты. Поэтому важным является проведение мониторинга радона в помещениях на основании разработанной стратегии и тактики [4].

В настоящее время большое внимание международных и общественных организаций уделяется обсуждению и разработке подходов к обеспечению защиты населения от природного радона. Во многих странах мира (Швеция, Великобритания, Германия, Бельгия, США, Россия и др.) в течение последних 30–40 лет проводятся систематические радонометрические исследования и повторяются ввиду многофакторной зависимости объемной активности радона от климатических, метеорологических и других условий с различной периодичностью [1–4]. Всемирная организация здравоохранения отнесла радон к соединениям, классифицируемым как канцероген для легких человека. Радон является вторым по значимости (после курения) фактором риска возникновения легочной онкопатологии. По разным оценкам авторитетных международных организаций, от 3 до 14% случаев рака легких обусловлено облучением населения ДПР радона в жилищах. Учитывая данные обстоятельства, ограничение облучения населения радоном является важной научно-практической задачей, решение которой выходит за рамки исключительно радиологических аспектов и приобретает большое значение для здравоохранения [1].

В Республике Беларусь систематические исследования по мониторингу радона в воздухе помещений проводятся научным учреждением Объединенный институт энергетических ядерных исследований – Сосны (ОИЭЯИ – Сосны) совместно с Институтом природопользования НАН Беларуси при участии других организаций с 2004 г. и продолжаются до настоящего времени. В Беларуси не менее 40% территории является потенциально радоноопасной, поскольку радон может поступать в помещения, расположенные в зонах тектонических разломов. Неравномерность поступления радона в помещения зданий обусловлена в основном различием содержания урана и тория в почвах и породах и их проницаемостью для радона [5, 6].

На основании определений объемной активности радона в четвертичных отложениях, породах платформенного чехла и фундамента автором работ [7, 8] построена схема районирования территории Беларуси по степени радоновой опасности покровных отложений (грунтов), содержание газа в которых в значительной степени влияет на его поступление в жилые и производственные помещения. Выделено пять типов территорий: потенциально радоноопасные, потенциально радоноопасные на отдельных площадях, потенциально радоноопасные на локальных

участках, относительно радонобезопасные и радоноопасные. Потенциально радоноопасные покровные отложения, составляющие около 2%, встречаются в Гродненской, Витебской и Могилевской областях (объемная активность радона составляющих пород чехла и фундамента изменяется от 40 000 до 70 000 Бк/м³ и более). Другие типы радоноопасных грунтов распространены значительно шире и составляют: потенциально радоноопасные на отдельных площадях – 15% (значительная часть находится на территории Витебской области), потенциально радоноопасные на локальных участках – 40%, относительно радонобезопасные – 35% и радонобезопасные – 8% территории Беларуси [7, 8].

По данным, полученным научным учреждением ОИЭЯИ – Сосны до 2015 г., составлена карта радоновой опасности территории Республики Беларусь [9], согласно которой наблюдается существенная неоднородность в распределении концентрации радона по территории Беларуси. Пятна с потенциальным критическим уровнем радоновой опасности (200–400 Бк/м³) расположены на территории Витебской, Могилевской и Гродненской областей. Проведенный сравнительный анализ карты загрязнения территории Беларуси радиоцезием и картограммы потенциальной радоноопасности территории показал, что чернобыльское загрязнение и уровень радоноопасности территории являются разнонаправленными. Так, территории Витебской, Могилевской и Гродненской областей являются наименее загрязненными радиоцезием, поэтому зачастую дозы облучения населения от чернобыльских радионуклидов значительно меньше, чем уровень облучения от радона.

В работе [10] представлено сопоставление картографических данных, полученных двумя разными методами: практическим измерением объемной активности радона в помещениях жилых зданий, расположенных на территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей [5, 11], и расчетным методом, согласно совокупности факторов, оказывающих влияние на объемную активность радона (комплексный радоновый показатель). По обоим методам получены схожие результаты, показывающие, что наиболее неблагоприятная радоновая обстановка наблюдается в некоторых районах Могилевской и Витебской областей, где зафиксированы значения объемной активности радона от 100 до 400 Бк/м³.

Таким образом, проведение исследований по мониторингу радона на территории Беларуси является актуальным ввиду значительного вклада радоновой компоненты в облучение населения Беларуси от природных и техногенных ИИИ, а полученные данные должны постоянно актуализироваться и дополняться ввиду многофакторной зависимости объемной активности радона от различных факторов (климатических, метеорологических и др.).

Цель данной работы – проведение комплекса экспериментальных и расчетных исследований в рамках широкомасштабного мониторинга радона и его ДПП в воздухе жилых и производственных помещений Витебской области.

Методика исследований. Измерения объемной активности радона в воздухе помещений проводились интегральным методом с использованием твердотельных трековых ядерных детекторов (ТТЯД) альфа-частиц, согласно методике [12]. При проведении мониторинга радона в воздухе зданий Витебской области использовались интегральные радиометры радона трекового, разработанные в Радиовом институте им. В. Г. Хлопина [13]. В рамках исследований выполнен следующий комплекс работ: изготовлены трековые детекторы для регистрации альфа-частиц радона-222 и его ДПП из нитроцеллюлозной пленки LR-115 тип 2 (DOSIRAD, Франция); организованы и проведены полевые экспедиции в выбранные населенные пункты Витебской области для размещения, длительной экспозиции радиометров (1–3 месяца) и их сбора после завершения экспозиции; выполнены химическая обработка трековых детекторов после их экспозиции в воздухе помещений, подсчет треков альфа-частиц на искровом счетчике и математическая обработка результатов измерений.

Результаты исследований и их обсуждение. Мониторинг радона на территории Витебской области проводился в период 2008–2009 гг. и 2016–2017 гг. На первом этапе выбор населенных пунктов для измерений концентрации радона в воздухе помещений основывался на учете расположения населенных пунктов в зонах с тектоническими разломами (вблизи разломов). На втором этапе выбор населенных пунктов проводился без учета геолого-геофизических особенностей

территорий (как в подавляющем большинстве стран Европы и др.). Учитывались следующие критерии: разнообразие строительных материалов зданий (дерево, кирпич, бетон и др.), их тип (жилые, административные, детские и др.), этажность (преимущественно одноэтажные жилые дома старой постройки, первый этаж многоэтажных зданий), а также выбирались те населенные пункты, в которых мониторинг радона ранее не проводился [4].

Измерения объемной активности радона на территории Витебской области за вышеуказанные периоды проведены в 135 населенных пунктах, расположенных в 21 административном районе. Общее количество обследованных помещений составило 665. Среди них 549 жилых и 116 общественных и производственных помещений. Основную часть (75,5%) составляли одноэтажные сельские здания. Из общего количества обследованных зданий 34,6% изготовлены из дерева, 48,3% – из минерального сырья (кирпич, блоки, панель, бетон и т. п.), 17,1% – из смешанных материалов (дерево, обложенное кирпичем, щиты и т. п.). 23% зданий из обследованных имели центральное отопление, 45,1% – печное и 31,9% – местное (водяное, паровое, газовое).

Измеряемой величиной при мониторинге радона в помещениях является объемная активность радона (OA_{Rn}). Нормируемым в Республике Беларусь параметром является среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность радона $\overline{ЭРОА}_{Rn}$, которая в эксплуатируемых жилых зданиях не должна превышать 200 Бк/м^3 [14]. При превышении указанного значения $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ необходимо проведение противорадоновых мероприятий, направленных на снижение данного показателя. С использованием измеренных значений OA_{Rn} в соответствии с методикой [15] определены среднегодовые значения $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ для каждого помещения. В табл. 1 приведены данные по уровням OA_{Rn} и $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ в воздухе помещений различных районов Витебской области.

Таблица 1. Распределение значений OA_{Rn} и $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ в воздухе помещений населенных пунктов Витебской области

Table 1. Distribution of OA_{Rn} and $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ values in the air of premises in the settlements of Vitebsk region

Административный район	Количество обследованных населенных пунктов, шт.	Объем выборки исследованных помещений, шт.	Значение OA_{Rn} , Бк/м ³		Значение $\overline{ЭРОА}_{Rn}$, Бк/м ³		Доля помещений с $\overline{ЭРОА}_{Rn}$, %	
			среднее	максимальное	среднее	максимальное	> 100 Бк/м ³	>200 Бк/м ³
Витебский	7	31	74	220	76	218	12,9	3,2
Бешенковичский	3	14	44	90	46	91	0	0
Лиозненский	12	57	88	305	84	268	26,3	3,5
Шумилинский	3	15	101	215	101	213	26,7	6,7
Оршанский	4	20	71	200	73	198	20	0
Дубровенский	4	14	54	70	56	71	0	0
Сенненский	20	90	104	440	70	218	24,4	1,1
Толочинский	5	19	119	155	119	154	84,2	0
Городокский	7	34	76	525	77	515	8,8	5,9
Миорский	11	46	97	390	79	310	19,6	4,3
Поставский	7	43	99	345	83	278	23,3	4,7
Шарковщинский	10	51	106	443	84	344	25,5	7,8
Докшицкий	7	46	119	305	80	193	21,7	0
Глубокский	4	17	164	695	121	495	17,6	11,7
Браславский	4	18	109	265	79	187	22,2	0
Верхнедвинский	4	14	65	150	35	76	0	0
Россонский	3	12	98	270	51	135	8,3	0
Полоцкий	4	22	58	190	31	96	0	0
Лепельский	9	56	98	455	64	321	12,5	1,8
Чашникский	4	26	64	210	35	106	7,7	0
Ушачский	3	20	87	170	45	86	0	0
Итого по Витебской области	135	665	90	695	71	515	19,8	2,7

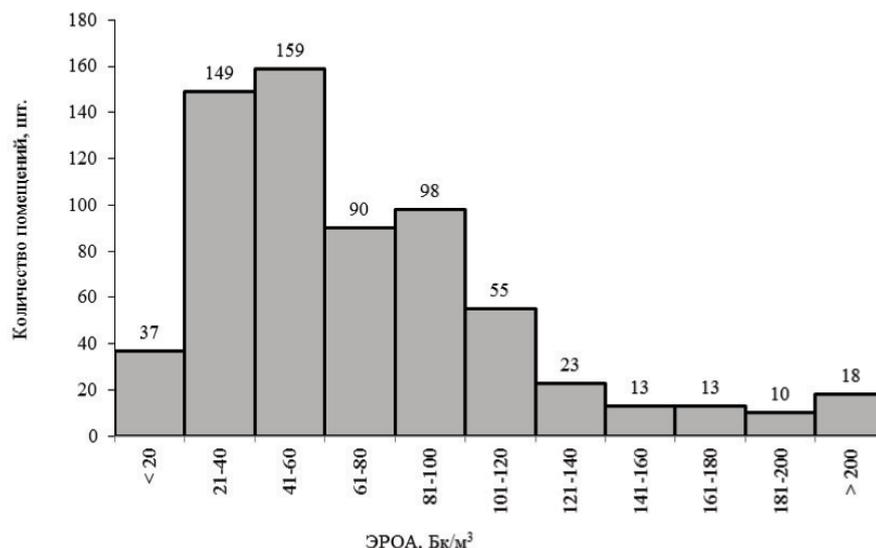


Рис. 1. Гистограмма распределения значений $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ в воздухе помещений Витебской области

Fig. 1. Histogram of the $\overline{\text{EEVA}}_{\text{Rn}}$ values distribution in the air of the premises of the Vitebsk region

Полученные результаты исследований (табл. 1) показывают, что средние значения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ в различных административных районах Витебской области варьируют от 35 до 121 Бк/м³. Значения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ более 100 Бк/м³ зафиксированы в 132 помещениях, составляющих 19,8% от общего количества обследованных помещений. Превышение нормируемого законодательством Республики Беларусь значения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ более 200 Бк/м³ [14] наблюдается в 18 помещениях или в 2,7% случаев. Такое превышение зафиксировано в жилых домах Витебского (218 Бк/м³), Лиозненского (229 и 268 Бк/м³), Шумилинского (213 Бк/м³), Сенненского (218 Бк/м³), Миорского (239 и 310 Бк/м³), Шарковщинского (245, 280, 280 и 344 Бк/м³), Поставского (222 и 278 Бк/м³), Глубокского (385 и 495 Бк/м³) и Лепельского (321 Бк/м³) районов. В Городокском районе превышение нормируемого значения наблюдается для двух административных зданий (515 и 271 Бк/м³). В указанных помещениях необходимо проведение противорадиационных мероприятий, направленных на снижение уровня ОА_{Rn} .

Гистограмма распределения значений $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ для зданий, расположенных в Витебской области, представлена на рис. 1. Согласно данной гистограмме основную долю составляют помещения, для которых $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ не превышает 100 Бк/м³.

Согласно инструкции [16], являющейся нормативным документом Республики Беларусь и применяемой при оценке индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных ИИИ, значение коэффициента дозового перехода принято равным $9 \cdot 10^{-6} \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1} / (\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3})$ или $0,063 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1} / (\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3})$ [17, 18]. Для оценки влияния длительного радиационного воздействия радона и его ДПР на население Витебской области проведен расчет годовых эффективных доз облучения (E_{Rn}) с использованием полученных значений $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ и коэффициента дозового перехода ($0,063 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1} / (\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3})$) при значении коэффициента равновесия $F = 0,5$ и условии пребывания людей в помещениях в течение 80% времени [16]. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Согласно полученным результатам (табл. 2), средневзвешенная по 21-му району Витебской области годовая эффективная доза облучения населения, обусловленная радоном и его ДПР, составляет 4,5 мЗв/год, при вариации в отдельных районах в диапазоне от 2 до 7,6 мЗв/год. Минимальное среднее значение E_{Rn} наблюдается для Полоцкого района, а максимальное – для Глубокского. Максимальное значение E_{Rn} , составляющее 32,4 мЗв/год, зафиксировано в административном помещении Городокского района.

Таблица 2. Годовые эффективные дозы облучения населения (E_{Rn}) Витебской области, обусловленные радоном и его ДППTable 2. Annual effective dose of public exposure (E_{Rn}) caused by radon and its progenies in the Vitebsk region

Административный район	E_{Rn} , мЗв/год	
	среднее	максимальное
Витебский	4,8	13,7
Бешенковичский	2,9	5,7
Лиозненский	5,3	16,9
Шумилинский	6,4	13,4
Оршанский	4,6	12,5
Дубровенский	3,5	4,5
Сенненский	4,4	13,7
Толочинский	7,5	9,7
Городокский	4,9	32,4
Миорский	5,0	19,5
Поставский	5,2	17,5
Шарковщинский	5,3	21,7
Докшицкий	5,1	12,1
Глубокский	7,6	31,2
Браславский	5,0	11,8
Верхнедвинский	2,2	4,8
Россонский	3,2	8,5
Полоцкий	2,0	6,0
Лепельский	4,0	20,3
Чашникский	2,2	6,7
Ушачский	2,8	5,4
В целом по Витебской области	4,5	32,4

Согласно каталогу средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь чернобыльскими радионуклидами [19], только для одного населенного пункта Витебской области (д. Новая Будовка, Толочинский район) суммарная доза облучения от радиоцезия составляет 0,11 мЗв/год, для остальных районов данный показатель значительно ниже. Полученные значения E_{Rn} показывают, что облучение от радона вносит основной вклад в суммарную дозу облучения населения Витебской области от всех ИИИ.

Сравнительный анализ результатов, полученных в результате мониторинга радона на территории Витебской и Брестской областей [20], представлен в табл. 3.

Таблица 3. Сравнительный анализ данных мониторинга радона в Витебской и Брестской областях

Table 3. Comparative analysis of radon monitoring data in Vitebsk and Brest regions

Область	Количество обследованных населенных пунктов, шт.	Объем выборки исследованных помещений, шт.	Значение $\overline{OA_{Rn}}$, Бк/м ³	Значение $\overline{ЭРОA_{Rn}}$, Бк/м ³	Доля помещений с $\overline{ЭРОA_{Rn}}$, %		Значение $\overline{E_{Rn}}$, мЗв/год
					>100 Бк/м ³	>200 Бк/м ³	
Витебская	135	665	90	71	19,8	2,7	4,5
Брестская	87	413	53	34	3,1	0,2	2,2

Из табл. 3 видно, что средние значения $\overline{OA_{Rn}}$, $\overline{ЭРОA_{Rn}}$ и $\overline{E_{Rn}}$ для Витебской области превышают аналогичные значения для Брестской области. Так, среднее значение годовой эффективной дозы облучения населения Витебской области в 2 раза превышает данное значение для Брестской области. Полученные результаты хорошо согласуются с данными, приведенными в работе [8], по расположению населенных пунктов Витебской области на потенциально радоноопасных территориях.

Таким образом, результаты мониторинга радона на территории Витебской области являются основой для оценки вклада дозы облучения от радона и его ДПР в общую дозу радиоактивного облучения населения от всех природных и техногенных ИИИ и соответственно ее влияния на здоровье человека.

Заключение. С использованием пассивного интегрального метода и твердотельных трековых ядерных детекторов проведены экспериментальные исследования по определению объемной активности радона и его ДПР в воздухе жилых, производственных и общественных зданий 135 населенных пунктов 21 административного района Витебской области. Общее количество обследованных помещений составило 665. Результаты исследований показали вариабельность средних значений эквивалентной равновесной объемной активности радона $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ в воздухе зданий различных административных районов Витебской области от 35 до 121 Бк/м³. Значения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ более 100 Бк/м³ зафиксированы в 19,8% случаев от общего количества обследованных помещений. Превышение нормируемого законодательством Республики Беларусь значения (200 Бк/м³) наблюдалось в 18 помещениях Витебской области (2,7%), среди которых 16 – жилые дома (Витебский, Лиозненский, Шумилинский, Сенненский, Миорский, Шарковщинский, Поставский, Глубокский и Лепельский районы), 2 – административные здания (Городокский район). В указанных помещениях необходимо проведение противорадионовых мероприятий для снижения значений объемной активности радона, что позволит обеспечить соблюдение нормативных требований, а также снизить риск воздействия радона на здоровье людей, проживающих или работающих в данных помещениях.

Средневзвешенная годовая эффективная доза облучения населения Витебской области, обусловленная радоном и его ДПР, составляет 4,5 мЗв/год при вариации в отдельных районах от 2 до 7,6 мЗв/год. Среди обследованных районов население Глубокского района подвергается наибольшему облучению от воздействия радона (7,6 мЗв/год). Наибольшее значение E_{Rn} , равное 32,4 мЗв/год, наблюдается в административном помещении Городокского района. Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что облучение населения Витебской области радоном и его ДПР является основным дозообразующим фактором по сравнению со всеми остальными компонентами природного и техногенного радиоактивных излучений, включая облучение от чернобыльских радионуклидов.

Проводимые на территории Беларуси радоновые исследования имеют важное социальное значение поскольку направлены на формирование базы данных по уровням объемной активности радона в воздухе помещений. Полученные результаты позволят актуализировать карту с распределением зон различной радоновой опасности, что будет способствовать разработке мероприятий по уменьшению доз радиоактивного облучения населения от управляемой радоновой компоненты – основного дозообразующего фактора облучения населения Беларуси в настоящее время.

Список использованных источников

1. Радиологическая защита от облучения радоном / Ж.-Ф. Лекомте [и др.]; под ред. М. В. Жуковского, И. В. Ярмошенко, С. М. Киселева // Перевод публикации 126 МКРЗ. – М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России» [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: http://www.icrp.org/docs/P126_Russian.pdf. – Дата доступа: 25.10.2016.
2. Исследования по проблемам радона в Беларуси и других странах Европы / О. И. Ярошевич [и др.] // Вестник ФФИ. – 2013. – № 4. – С. 101–117.
3. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону / М. Тирмарш [и др.]; под ред. М. В. Жуковского, С. М. Киселева, А. Т. Губина // Перевод публикации 115 МКРЗ. М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России» [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: http://www.icrp.org/docs/P115_russian%20edition.pdf. – Дата доступа: 25.10.2016.
4. Радон: здоровье, опасность, защитные мероприятия / А. К. Карабанов [и др.] // Наука и инновации. – 2013. – № 4 (122). – С. 63–67.
5. Радон и дочерние продукты его распада в воздухе зданий на территории Беларуси / А. К. Карабанов [и др.] // Природопользование: сб. науч. трудов / Ин-т природопользования НАН Беларуси; под ред. А. К. Карабанова. – Минск, 2015. – Вып. 27. – С. 49–53.
6. Чунихин, Л. А. Радон: история, свойства, значение / Л. А. Чунихин // Институт радиобиологии НАН Беларуси [Электронный ресурс]. – 2016. Режим доступа: <http://www.irb.basnet.by/ru/radon-istoriya-svoystva-znachenie/>. – Дата доступа: 25.01.2017.

7. Матвеев, А. В. Особенности распределения «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе покровных отложений Беларуси / А. В. Матвеев // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2015. – Т. 59, № 4. – С. 107–112.
8. Матвеев, А. В. Районирование территории Беларуси по степени радоновой опасности грунтов / А. В. Матвеев // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2016. – Т. 60, № 5. – С. 108–112.
9. Чунихин, Л. А. Карта радоновой опасности территории Республики Беларусь / Л. А. Чунихин, А. Л. Чеховский, Д. Н. Дроздов // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 43–46.
10. Чеховский, А. Л. Картирование территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей по комплексному радоновому показателю и объемной активности радона в жилых зданиях / А. Л. Чеховский, Д. Н. Дроздов // Радиация и риск. – 2016. – Т. 25, № 4. – С. 126–136.
11. Карта радонового риска Беларуси / А. К. Карабанов [и др.] // Природные ресурсы. – 2015. – № 2. – С. 73–78.
12. Методика определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонметров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: МВИ. Мн. 1808–2002. – Минск, 2002. – 18 с.
13. Application of the track method for radon measurements in Ukraine / V. A. Nikolaev [et al.] // Nuclear Tracks and Radiation Measurements. – 1993. – N 21(3). – P. 433–436.
14. Требования к радиационной безопасности: санитарные нормы и правила: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 28.12.2012 № 213. – Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2012. – 37 с.
15. МУК РБ № 11–8–6–2002. Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий. Метод. указания: утв. Гл. гос. санитар. врачом Респ. Беларусь 10.08.2002. – Минск: РЦГЭ, 2002. – 22 с.
16. Инструкция 2.6.1.10–12–22–2006. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: утв. Гл. гос. санитар. врачом Респ. Беларусь 17.10.2006. – Минск, 2006. – 15 с.
17. Источники и эффекты ионизирующего излучения: отчет НКДАР ООН 2000 года Генеральной Ассамблее с науч. прилож. Т. 1: источники (Ч. 1) / Пер. с англ.; под ред. акад. РАМН Л. А. Ильина и проф. С. П. Яромоненко. – М.: Радэкон, 2002. – 306 с.
18. Vanmarcke, H. Radon: A special case in radiation protection / H. Vanmarcke // Radiation Protection Dosimetry. – 2008. – № 130. – P. 1–5.
19. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / Н. Г. Власова [и др.]; Республ. науч.-практ. центр радиац. медицины и экологии человека Мин-во здравоохранения Респ. Беларусь. – Гомель, 2014. – 114 с.
20. Радон в воздухе зданий населенных пунктов на территории Брестской области и эффективные дозы облучения населения, обусловленные радонот-222 и дочерними продуктами его распада / А. К. Карабанов [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2016. – № 2. – С. 91–97.

References

1. Lecomte J. F., Solomon S., Takala J., Jung T., Strand P., Murith C., Kiselev S., Zhuo W., Shannoun F., Janssens A., “Radiological protection against radon exposure. Pervod publikacii 126 MKRZ”, Publishing house “FGBU SSC FMBC im. A. I. Burnazyan FMBA of Russia», Moscow, RU, Available at: http://www.icrp.org/docs/P126_Russian.pdf, (accessed 25 October 2016).
2. Iaroshevich O. I., Karabanov A. K., Konopel’ko M. V., Matveev A. V., Zhuk I. V., Vasilevskii L. L., Lukashevich Zh. A., “Studies on the radon problem in Belarus and other countries of Europe”, *Vestnik Fonda fundamental’nykh issledovaniy* [Bulletin of the Foundation for Fundamental Research], 2013, no 4, pp. 101–117.
3. Tirmarache M., Harrison J. D., Laurier D., Paguet F., Blanchardon E., Marsh J. V., “Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. Pervod publikacii 115 MKRZ”, Publishing house “FGBU SSC FMBC im. A. I. Burnazyan FMBA of Russia», Moscow, RU, Available at: http://www.icrp.org/docs/P115_russian%20edition.pdf, (accessed 25 October 2016).
4. Karabanov A. K., Zhuk I. V., Iaroshevich O. I., Konopel’ko M. V., Lukashevich Zh. A., Vasilevskii L. L., “Radon: health, hazard, protective measures”, *Nauka i innovatsii* [Science and Innovation], 2013, no. 4(122), pp. 63–67.
5. Karabanov A. K., Matveev A. V., Chunikhin L. A., Drozdov D. N., Chekhovskii A. L., Zhuk I. V., Iaroshevich O. I., Konopel’ko M. V., “Radon and its progeny in the air of living accommodation within the territory of Belarus”, *Sbornik nauchnykh Trudov «Prirodopol’zovanie* [Nature management: collected articles], Minsk, BY, 2015, no. 27, pp. 49–53.
6. Chunikhin L. A., “Radon: history, characteristics, significance”, Institute of Radiobiology of the NASB, 2016, Available at: <http://www.irb.basnet.by/ru/radon-istoriya-svoystva-znachenie/>, (accessed 25 January 2017).
7. Matveev A. V., “The features of the «local» (ground) radon distribution in the soil air of the mantle of Belarus”, *Doklady NAN Belarusi* [The reports of the NASB], 2015, vol. 59, no. 4, pp. 107–112.
8. Matveev A. V., “Zoning of the territory of Belarus in order of radon hazard of the soils”, *Doklady NAN Belarusi* [The reports of the NASB], 2016, vol. 60, no. 5, pp. 108–112.
9. Chunikhin L. A., Chekhovskii A. L., Drozdov D. N., “The radon hazard map of the Republic of Belarus”, *Radiatsionnaya gigiena* [Radiation hygiene], 2016, vol. 9, no. 4, pp. 43–46.
10. Chekhovskii A. L., Drozdov D. N., “Mapping territory of Gomel, Mogilev and Vitebsk regions for complex radon index and radon volumetric activity in living accommodation”, *Radiatsiia i risk* [Radiation and Hazard], 2016, vol. 25, no. 4, pp. 126–136.
11. Karabanov A. K., Chunikhin L. A., Drozdov D. N., Chekhovskii A. L., Zhuk I. V., Iaroshevich O. I., Konopel’ko M. V., “The radon hazard map of Belarus”, *Prirodnye resursy* [Natural resources], 2015, no. 2, pp. 73–78.
12. MVI. MN. 1808-2002, *Metodika opredeleniia ob’emnoi aktivnosti radona v vozdukh zhylykh i proizvodstvennykh pomeshchenii s ispol’zovaniem integral’nykh radonometrov na osnove tverdotel’nykh trekovykh detektorov al’fa-chastich*

[Measurement procedure MN. 1808-2002 The method for the radon volumetric activity determination in the air of living accommodation and industrial premises by use of integral radonmeters based on solid-state track detectors of the alpha particles], Minsk, BY, 2002.

13. Nikolaev V. A., Buzynniy M. G., Vorobiev I. V., Gromov A. V., Krivokhatskiy A. S., Los I. P., Zelenskiy A. V., Tomilin Yu. A., “Application of the track method for radon measurements in Ukraine”, *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 1993, no. 21(3), pp. 433–436.

14. *Trebovaniia k radiatsionnoi bezopasnosti: sanitarnye normy i pravila: utv. M-vom zdravoookhraneniia Resp. Belarus’ 28.12.2012 № 213* [Radiation safety requirements: sanitary codes and regulations: approved by the Ministry of Health of the Republic of Belarus on 28.12.2012 no. 213], Ministry of Health of the Republic of Belarus, Minsk, BY, 2012.

15. MUK BY 11-8-6-2002, *Provedenie radiatsionno-gigienicheskogo obsledovaniia zhilykh i obshchestvennykh zdani. Metodicheskie ukazaniia: utv. Gl. gos. sanitar. vrachom Resp. Belarus’ 10.08.2002*. [Measurement techniques BY 11-8-6-2002 Implementation of the radiative and hygienic survey of living accommodation and industrial premises. Guidelines: approved by the Chief State Sanitarian of the Republic of Belarus 10.08.2002], RCHE, Minsk, BY, 2002.

16. Instruksiia 2.6.1.10-12-22-2006, *Otsenka individual’nykh effektivnykh doz oblucheniia naseleniia za schet prirodnykh istochnikov ioniziruiushchego izlucheniia: utv. Gl. gos. sanitar. vrachom Resp. Belarus’ 17.10.2006* [Guideline 2.6.1.10-12-22-2006 The assessment of the individual effective dose of public exposure from natural radiation sources: approved by the Chief State Sanitarian of the Republic of Belarus 17.10.2006], Minsk, BY, 2006.

17. Il’in A., Iarmonenko S. P. (ed.), *Istochniki i efekty ioniziruiushchego izlucheniia: otchet NKDAR OON 2000 goda General’noi Assamblee s nauchnymi prilozheniiami. Tom 1: istochniki (chast’ 1)* [UNSCEAR 2000 report: annex B. Sources and effects of ionizing radiation, Volume 1: Sources], Radekon, Moscow, RU, 2002.

18. Vanmarke H., “Radon: A special case in radiation protection”, *Radiation Protection Dosimetry*, 2008, no. 130, pp. 1–5.

19. Vlasova N. G., Visenberg Y. V., Evtushkova G. N., Drozd E. A., Mataras A. N., Eventova L. N., Tolstoi V. V., *Katalog srednikh godovykh effektivnykh doz oblucheniia zhitelei naseleennykh punktov Respubliki Belarus’* [Catalogue of the average annual effective doses of public exposure for settlements of the Republic of Belarus], Republic Scientific Center for Radiation Medicine and Human Ecology, Gomel, BY, 2014.

20. Karabanov A. K., Matveev A. V., Gindiuk N. T., Gindiuk V. V., Micura V. I., Zhuk I. V., Vasilevskii L. L., Leont’eva T. G., Lukashovich Zh. A., “Radon in air inside buildings in settlements of Brest region and effective doses of population irradiation caused by radon-222 and products of its decay”, *Vesti Natsyonal’noi akademii navuk Belarusi. Seriya khimichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemistry Series], 2016, no. 2, pp. 91–97.

Информация об авторах

Карабанов Александр Кириллович – академик, д-р геол.-минерал. наук, профессор, директор, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: karabanov@ecology.basnet.by.

Матвеев Алексей Васильевич – академик, д-р геол.-минерал. наук, профессор, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by.

Жук Игорь Владимирович – канд. техн. наук, зав. лаб., Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси (а/я 119, 220109, Минск, Республика Беларусь). E-mail: zhuk@sosny.bas-net.by.

Василевский Лев Леонидович – инженер, Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси (а/я 119, 220109, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lab13sosny@gmail.com.

Леонтьева Татьяна Геннадьевна – ст. науч. сотрудник, Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси (а/я 119, 220109, Минск, Республика Беларусь). E-mail: t.leontieva@tut.by.

Лукашевич Жанна Андреевна – зав. сектором, Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси (а/я 119, 220109, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lab13sosny@gmail.com.

Лисянович Татьяна Викторовна – мл. науч. сотрудник, Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси (а/я 119, 220109, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lisanovich.tanya@mail.ru.

Information about the authors

Aleksandr K. Karabanov – Academician, D. Sc. (Geology), Professor, Director, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoryna Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: karabanov@ecology.basnet.by.

Alexey V. Matveyev – Academician, D. Sc. (Geology), Professor, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoryna Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by.

Igor V. Zhuk – Ph. D. (Engineering), Head of the Laboratory, Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny National Academy of Sciences of Belarus (P.O. box 119, 220109, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zhuk@sosny.bas-net.by.

Lev L. Vasilevskij – engineer, Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny National Academy of Sciences of Belarus (P.O. box 119, 220109, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lab13sosny@gmail.com.

Tatiana G. Leontieva – Senior Researcher, Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny National Academy of Sciences of Belarus (P.O. box 119, 220109, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: t.leontieva@tut.by.

Janna A. Lukashovich – Head of Sector, Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny National Academy of Sciences of Belarus (P.O. box 119, 220109, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lab13sosny@gmail.com.

Tatiana V. Lisanovich – Junior Researcher, Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny National Academy of Sciences of Belarus (P.O. box 119, 220109, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lisanovich.tanya@mail.ru.