

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

НАУКИ О ЗЕМЛЕ
EARTH SCIENCES

УДК 504.064.3:546.296
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-87-95>

Поступило в редакцию 26.07.2018
Received 26.07.2018

**И. В. Жук¹, академик А. К. Карабанов², А. А. Сафронова¹, Т. Г. Леонтьева¹,
А. А. Суходольская¹, К. В. Гусак¹, Ж. А. Лукашевич¹, Л. Л. Василевский¹, Л. В. Липницкий³**

¹*Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

²*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

³*Могилевский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья, Могилев, Республика Беларусь*

**КОНЦЕНТРАЦИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ ВИТЕБСКОЙ,
МОГИЛЕВСКОЙ И ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТЕЙ БЕЛАРУСИ
И ОЦЕНКА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РАДОНОМ**

Аннотация. В работе представлены систематизированные данные о концентрации радона в воздухе помещений на территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей Беларуси и проведена оценка вклада радона в годовую эффективную дозу облучения населения данных областей. Исследования проводились с использованием интегрального метода пассивной трековой радиометрии с применением твердотельных трековых детекторов альфа-частиц. По результатам измерений объемной активности радона актуализирована геоинформационная база данных и построена карта распределения значений среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона в воздухе помещений на территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей. Анализ полученных результатов выявил 2,3, 1,3 и 0,4 % зданий соответственно в Витебской, Могилевской и Гомельской областях, в которых превышен нормируемый в Республике Беларусь уровень среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона в 200 Бк/м³. Для эффективного планирования дальнейших исследований построены карты распределения количества измерений по административным районам исследуемых областей. Анализ значений средних эффективных доз облучения населения «чернобыльскими» радионуклидами и радоном показал, что основной вклад в облучение населения Витебской, Могилевской и Гомельской областей вносит радон.

Ключевые слова: радон, объемная активность, эквивалентная равновесная объемная активность, эффективная доза, облучение населения

Для цитирования: Концентрация радона в воздухе помещений Витебской, Могилевской и Гомельской областей Беларуси и оценка дозы облучения населения радоном / И. В. Жук [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 1. – С. 87–95. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-87-95>

**Igor V. Zhuk¹, Academician Aleksandr K. Karabanov², Anastasiya A. Safronava¹, Tatiana G. Leontieva¹,
Anastasiya A. Sukhadolskaya¹, Kristina V. Husak¹, Janna A. Lukashevich¹, Lev L. Vasilevskij¹, Leonid V. Lipnitskij³**

¹*Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

²*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

³*Mogilev Regional Center for Hygiene, Epidemiology and Public Health, Mogilev, Republic of Belarus*

**INDOOR RADON CONCENTRATIONS IN THE VITEBSK, MOGILEV AND GOMEL REGIONS
OF BELARUS AND ASSESSMENT OF THE RADON DOSE FOR THE POPULATION**

Abstract. The summarized data on indoor radon concentrations and estimated effective radon doses in the Vitebsk, Mogilev and Gomel regions of Belarus are presented. The passive track detector method was used to carry out the indoor radon monitoring. The measurement results are summarized in the geoinformation database. The map of the annual radon equivalent equilibrium concentrations distribution in administrative districts was created. The analysis of the results revealed that

in 2.3, 1.3 and 0.4 % of dwelling of the Vitebsk, Mogilev and Gomel region correspondingly, the indoor radon equivalent equilibrium concentration exceeded the regulatory established limit of 200 Bq/m³. For effective planning of further radon monitoring, maps of absolute and relative number of measurements per administrative district were built. The calculated effective radon doses for the population and comparison to those from the “Chernobyl” radionuclides showed that radon is the main contributor to the public exposure.

Keywords: radon, volumetric activity, equivalent equilibrium volumetric activity, effective dose, population exposure

For citation: Zhuk I. V., Karabanov A. K., Safronava A. A., Leontieva T. G., Sukhadolskaya A. A., Husak K. V., Lukashovich J. A., Vasilevskij L. L., Lipnitskij L. V. Indoor radon concentrations in the Vitebsk, Mogilev and Gomel regions of Belarus and assessment of the radon dose for the population. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2019, vol. 63, no. 1, pp. 87–95 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-1-87-95>

Введение. Оценка доз облучения населения от различных источников ионизирующего излучения является одним из основных критериев для принятия решений при проведении мероприятий по радиационной защите населения. Доминирующий вклад в суммарную дозу облучения населения от всех природных и техногенных источников ионизирующего излучения вносит природный радиоактивный газ – радон-222 и его дочерние продукты распада (ДПР). Облучение радоном относится к ситуации существующего облучения, поскольку его источником являются неизменные концентрации естественных радионуклидов в земной коре. Значительная вариативность объемной активности радона в воздухе помещений обусловлена главным образом геологией территории и факторами, влияющими на разницу давлений снаружи и внутри здания, такими как скорость воздухообмена, отопление здания и метеорологические условия. В то время как концентрация 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 [1; 2].

В Беларуси не менее 40 % территории является потенциально радоноопасной в связи с особенностями литологического состава горных пород и расположением конкретных участков в зонах тектонических разломов. Неравномерность поступления радона в помещения зданий обусловлена в основном различием содержания урана и тория в почвах и близповерхностных породах и проницаемостью таких пород для радона, поступающего из недр по трещинам и разломам в земной коре [3–5]. В [5; 6] на основании определений объемной активности радона в четвертичных отложениях, породах платформенного чехла и фундамента в Беларуси выделено пять типов территорий по степени радоновой опасности. Построенная схема районирования территории Беларуси свидетельствует о том, что линейные радоноопасные зоны распространены практически повсеместно. Потенциально радоноопасные покровные отложения приурочены только к северо-западной и северо-восточной частям Беларуси (Гродненская, Витебская и Могилевская области). Суммарно на них приходится около 2 % площади региона. Другие типы территорий распространены значительно шире: потенциально радоноопасные на локальных площадях занимают 15 %, потенциально радоноопасные на локальных участках – 40 %, относительно радонобезопасные – 35 %, радонобезопасные – 8 % поверхности страны.

В различных странах мира радоновой проблеме уделяется повышенное внимание ввиду того, что радон существенно увеличивает риск возникновения как раковых, так и нераковых заболеваний верхних дыхательных путей и сердечно-сосудистых заболеваний [7]. По данным измерений объемной активности радона в воздухе на первых этажах эксплуатируемых жилых зданий на территории стран Европы построена карта среднегодовых концентраций радона в помещениях, которая является частью Европейского атласа природной радиоактивности, разрабатываемого с целью оценки годовой дозы облучения населения от естественной радиоактивности [8]. Актуальным является построение подобной карты концентраций радона в воздухе помещений, расположенных на территории Республики Беларусь.

В публикациях Международной комиссии по радиационной защите [1; 7] рекомендуется для защиты населения и работников от облучения радоном в жилищах и на рабочих местах в качестве верхнего нормируемого уровня среднегодовой концентрации радона в помещениях значение 300 Бк/м³ для жилых помещений, что соответствует годовой дозе около 10 мЗв, для рабочих мест – 1000 Бк/м³. В Республике Беларусь нормируемым параметром является среднегодовая

эквивалентная равновесная объемная активность радона, которая в эксплуатируемых жилых зданиях не должна превышать 200 Бк/м³ (что соответствует среднегодовой концентрации радона 300 Бк/м³), а в новых административных, общественных и жилых зданиях – 100 Бк/м³ (что соответствует среднегодовой концентрации радона 150 Бк/м³)¹. При превышении указанных значений должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение их вентиляции.

В Беларуси измерения объемной активности радона в воздухе эксплуатируемых жилых, административных и общественных зданий проводятся с 2004 г. Полученные результаты вносятся в геоинформационную базу данных, содержащую значения измеренной объемной активности радона (OA_{Rn}), среднегодовой объемной активности радона (\overline{OA}_{Rn}), среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона ($\overline{ЭРОА}_{Rn}$), эффективной дозы облучения (E_{Rn}) и др. База данных ежегодно актуализируется и используется для оценки соответствия полученных значений $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ нормативным требованиям Республики Беларусь², а также для определения годовых эффективных доз облучения жителей Беларуси в обеспечение Закона Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» (№ 122-3 от 05.01.1998).

Целью данной работы является систематизация имеющихся данных о концентрациях радона в воздухе помещений на территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей Беларуси и оценка вклада радона в годовую эффективную дозу облучения населения данных областей.

Задачами исследований являлись: проведение измерений объемной активности радона в зданиях на территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей, в которых мониторинг радона ранее не проводился; актуализация базы данных по результатам измерения объемной активности радона в воздухе помещений за 2016–2017 гг.; построение карты концентраций радона в воздухе помещений на территории указанных областей Беларуси; расчет эффективных доз облучения населения радоном в помещениях.

Материалы и методы исследований. Измерения объемной активности радона проводились с использованием интегрального метода пассивной трековой радиометрии с применением твердотельных трековых детекторов (ТТД) альфа-частиц согласно методике³. Для измерений OA_{Rn} в воздухе зданий применялись интегральные радиометры радона трековые (ИРРТ), экспозиция которых в исследуемых помещениях составляла от 2 до 3 месяцев в холодные сезоны года (период отопления зданий). После экспозиции проводился сбор ИРРТ, химическая обработка ТТД (травление) и автоматический подсчет треков с использованием комплекса средств измерений объемной активности радона КСИОАР-01. Полученные данные использовались для расчета усредненной за время экспозиции ИРРТ объемной активности радона для каждого i -го помещения (\overline{OA}_{Rn}), Бк/м³ по формуле

$$(\overline{OA}_{Rn})_i = (\overline{n}_i - n_0)(\varepsilon_0 T_{\text{Э}})^{-1}, \quad (1)$$

где \overline{n}_i – плотность треков на i -детекторе, трек · см⁻²; $T_{\text{Э}}$ – длительность экспозиции, сут; n_0 – уровень собственного фона трекового детектора, трек · см⁻²; ε_0 – чувствительность комплекса КСИОАР-01 согласно сертификату о калибровке, трек · см⁻² · Бк⁻¹ · м³ · сут⁻¹.

Использование интегрального метода пассивной трековой радиометрии обеспечивает возможность одновременных массовых исследований помещений, экспрессного снятия информации с десятков и сотен детекторов, получение информации о средней концентрации радона, интегрированной за длительный период экспозиции детекторов (≥ 1 месяца), что позволяет учесть сезонные колебания эксгаляции радона из почвы и реальные режимы эксплуатации помещений (частоту проветривания помещений, условия вентиляции и др.), а также надежное сохранение информации во время длительных экспозиций [9].

¹ Требования к радиационной безопасности: санитарные нормы и правила. – Введ. 01.01.2013. – Минск, 2012. – 37 с.

² Там же.

³ Методика определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц. – Минск, 2002. – 18 с.

Среднегодовую эквивалентную равновесную объемную активность радона ($\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$) определяли в соответствии с методическими указаниями¹, используя полученные значения $\overline{\text{ОА}}_{\text{Rn}}$ для i -го помещения, по формуле

$$(\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}})_i = (\overline{\text{ОА}}_{\text{Rn}})_i \cdot \{V_{\text{Rn}}(t)\}_i \cdot F_{\text{Rn}} \cdot (1 + \delta) + 4,6 \overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Th}}, \quad (2)$$

где $\{V_{\text{Rn}}(t)\}_i$ – коэффициент вариации, зависящий от продолжительности экспозиции радонометров в воздухе помещений и сезона года, в котором проводилась экспозиция; F_{Rn} – коэффициент, характеризующий сдвиг радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР в воздухе; δ – основная погрешность измерения, принимаемая по свидетельству о метрологической аттестации средств измерений 30 %; $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ – вклад ^{220}Rn (торона), составляющий 3,2 Бк/м³.

Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет радона выполнена на основании полученных значений $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ в соответствии с инструкцией².

Результаты и их обсуждение. В период 2016–2017 гг. проведены измерения объемной активности радона в эксплуатируемых зданиях Витебской, Могилевской и Гомельской областей, в которых мониторинг радона ранее не проводился. Для исследований выбирались здания с учетом следующих критериев: разнообразие строительных материалов (дерево, кирпич, бетон и др.), тип (жилые, административные, детские и др.), этажность (преимущественно одноэтажные жилые дома, первый этаж многоэтажных зданий). Актуализация геоинформационной базы данных позволила установить, что к настоящему времени общее количество обследованных зданий на территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей составляет 665, 1001 и 1024 соответственно (табл. 1). Среди них основная часть – жилые помещения, доля которых составляет 77,3, 86,0 и 73,4 % в Витебской, Могилевской и Гомельской областях соответственно.

Т а б л и ц а 1. Результаты мониторинга радона в воздухе помещений на территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей

Table 1. Results of indoor radon monitoring in Vitebsk, Mogilev and Gomel regions

Область Region	Кол-во обследованных населенных пунктов, шт. Number of the examined settlements, pieces	Объем выборки исследованных помещений, шт. Sampling volume of the examined rooms, pieces		$\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ в жилых помещениях, Бк/м ³ EEC _{Rn} in dwellings, Bq/m ³		Доля жилых помещений с $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}} > 200$ Бк/м ³ , % Share of dwellings with EEC _{Rn} > 200 Bq/m ³ , %
		всего in total	жилые dwellings	средняя average	максимальная maximum	
Витебская	135	665	514	71	495	2,3
Могилевская	146	1001	860	57	313	1,3
Гомельская	61	1024	752	34	510	0,4

На основании измеренных значений $\overline{\text{ОА}}_{\text{Rn}}$ в воздухе обследованных помещений рассчитаны значения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ (табл. 1). Установлено, что наиболее высокое среднее значение $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ наблюдается в помещениях на территории Витебской области. Основную долю составляют помещения, в которых значения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ не превышают 100 Бк/м³. Распределение значений $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ которые рассчитаны для всех обследованных зданий (жилые и административные), расположенных на территории трех исследуемых областей, представлено на рис. 1.

Превышение $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ значения 200 Бк/м³ зафиксировано в 8 помещениях (из них 3 жилых) Гомельской области, 14 помещениях (из них 11 жилых) Могилевской области и 18 помещениях (из них 13 жилых) Витебской области. В данных жилых зданиях необходимо проведение противорадоновых мероприятий, направленных на снижение уровня объемной активности радона, в первую очередь путем улучшения их вентиляции.

На основании данных измерений объемной активности радона построена карта распределения среднегодовых значений $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ по административным районам Витебской, Могилевской

¹ Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий: МУК РБ № 11-8-6-2002. – Минск, 2002. – 21 с.

² Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: инструкция 2.6.1.10-12-22-2006, утв. Постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 17.10.2006 № 123. – Минск, 2007. – 14 с.

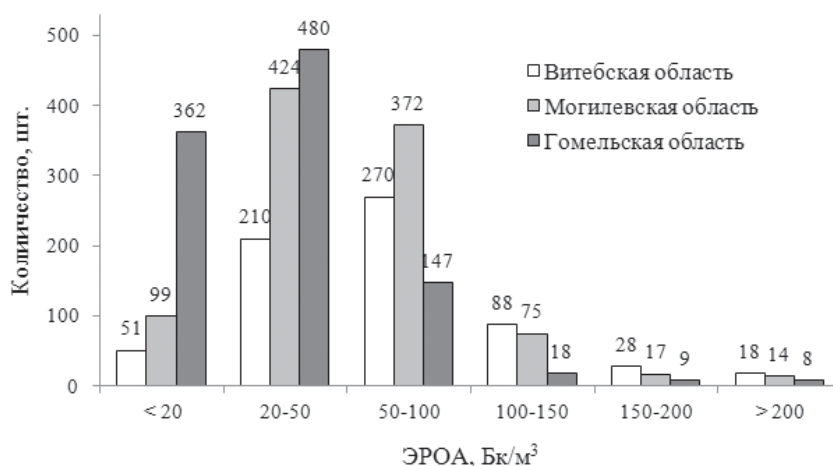


Рис. 1. Гистограмма распределения значений \overline{EEC}_{Rn} в помещениях Витебской, Могилевской и Гомельской областей
 Fig. 1. Frequency distribution of indoor \overline{EEC}_{Rn} values in Vitebsk, Mogilev and Gomel regions

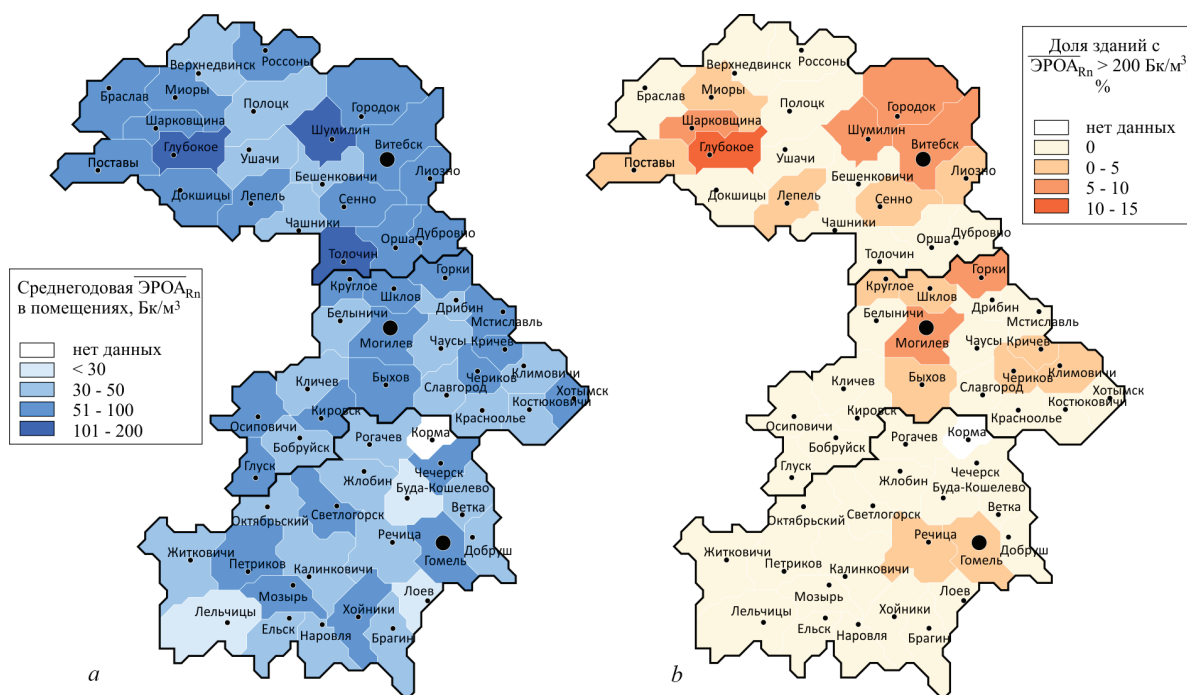


Рис. 2. Распределение среднегодовой \overline{EEC}_{Rn} в помещениях по районам Витебской, Могилевской и Гомельской областей (a) и доли зданий (в % от обследованных) с $\overline{EEC}_{Rn} > 200$ Бк/м³ (b)
 Fig. 2. Average annual \overline{EEC}_{Rn} distribution over administrative districts (a) and number of dwellings (% of explored dwellings) with average annual $\overline{EEC}_{Rn} > 200$ Bq/m³ (b) in Vitebsk, Mogilev and Gomel regions

и Гомельской областей (рис. 2, a), а также карта распределения по административным районам доли зданий (в % от обследованных), в которых обнаружены уровни \overline{EEC}_{Rn} более 200 Бк/м³ (рис. 2, b).

Согласно карте, представленной на рис. 2, a, среднее по административным районам значение \overline{EEC}_{Rn} не превышает предела 200 Бк/м³. Однако в отдельных районах выявлены здания, в которых значения \overline{EEC}_{Rn} превышают установленный законодательством норматив¹. Так, на территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей соответственно в 2,3, 1,3 и 0,4 % обследованных жилых помещений среднегодовое значение \overline{EEC}_{Rn} превышает 200 Бк/м³. Наибольшее количество зданий с $\overline{EEC}_{Rn} > 200$ Бк/м³ (11,8 % от обследованных) обнаружено в Глубокском районе Витебской области.

¹Требования к радиационной безопасности: санитарные нормы и правила. – Введ. 01.01.2013. – Минск, 2012. – 37 с.

Статистика измерений концентраций радона в помещениях на территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей с учетом численности населения по данным на 01.01.2018 [10] показывает, что количество обследованных помещений на 1 млн человек составляет 563, 945 и 723 соответственно. При этом степень изученности отдельных районов неодинакова. Для эффективного планирования дальнейших исследований построены карты распределения количества измерений по административным районам Витебской, Могилевской и Гомельской областей (рис. 3, *a*), а также количества измерений, приходящихся на 1000 жителей в районе (рис. 3, *b*).

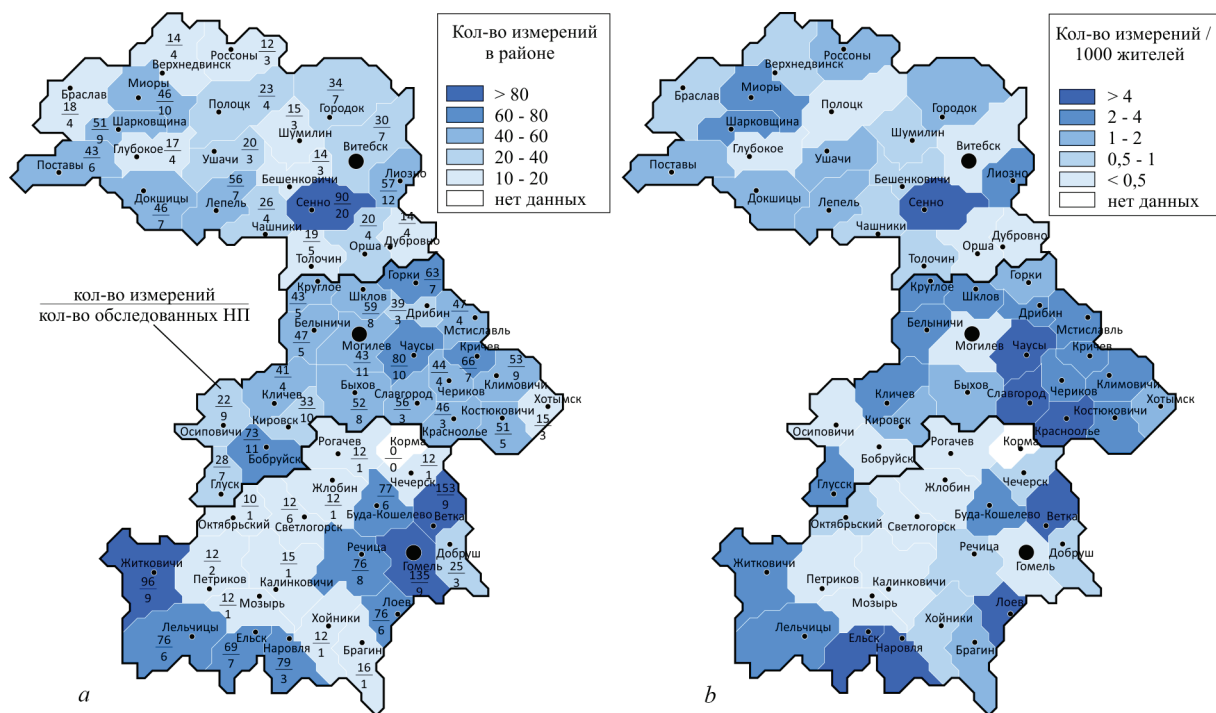


Рис. 3. Распределение абсолютного количества измерений (*a*) и количества измерений, приходящихся на 1000 жителей, (*b*) по районам Витебской, Могилевской и Гомельской областей

Fig. 3. Number of measurements per administrative districts (*a*) and its ratio to 1000 inhabitants of the district (*b*) over administrative districts of Vitebsk, Mogilev and Gomel regions

Сравнительно большое количество измерений в отдельных районах Могилевской и Гомельской областей объясняется тем, что на начальном этапе исследования стояла задача сравнить дозы облучения населения радоном с дозами от «чернобыльских» радионуклидов на территориях, наиболее пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС. На последующих этапах мониторинга радона (в том числе на текущем этапе) здания выбираются таким образом, чтобы обеспечить наличие репрезентативного количества измерений в единице площади (административном районе) с учетом плотности населения в данном районе (рис. 3, *b*). Данный подход к проведению радонового обследования является наиболее эффективным [11]. Из рис. 3 видно, что наиболее полно (как с точки зрения абсолютного количества измерений, так и с учетом плотности населения), а также наиболее равномерно обследована Могилевская область Беларуси.

Оценка среднегодовой эффективной дозы облучения населения радоном (E_{Rn}) выполнена на основании полученных значений $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ с использованием коэффициента дозового перехода равного $9 \cdot 10^{-6} \text{ мЗв} \cdot \text{ч}^{-1} / (\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3})$ или $0,063 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1} / (\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3})$ при значении коэффициента равновесия $F = 0,5$ и условии пребывания людей в помещениях в течение 80 % времени в соответствии с инструкцией¹. Данный дозовый коэффициент рекомендован Научным комитетом

¹ Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: инструкция 2.6.1.10-12-22-2006, утв. Постановлением М-ва здравоохранения Республики Беларусь 17.10.2006 № 123. – Минск, 2007. – 14 с.

ООН по действию атомной радиации [12]. Рассчитанные годовые эффективные дозы представлены в табл. 2. Для сравнения приведены значения суммарной дозы от внешнего и внутреннего облучения «чернобыльскими» радионуклидами согласно данным каталога [13]. Для расчета E_{Rn} использовались значения $\overline{ЭРОА}_{Rn}$, полученные для жилых и административных зданий за исключением помещений кратковременного пребывания людей (подвал, погреб, подсобное помещение).

Т а б л и ц а 2. Годовые эффективные дозы облучения населения Витебской, Могилевской и Гомельской областей, обусловленные «чернобыльскими» радионуклидами и радоном

Table 2. Annual effective doses to population of Vitebsk, Mogilev and Gomel regions, caused by “Chernobyl” radionuclides and radon

Область Region	Суммарная доза облучения «чернобыльскими» радионуклидами, мЗв/год Total radiation dose by Chernobyl radionuclides, mSv/year	Доза облучения радоном, мЗв/год Radon radiation dose, mSv/year	
		средняя average	максимальная maximum
Витебская	0,11	4,5	31,2
Могилевская	0,3	3,6	19,7
Гомельская	0,37	2,2	32,1

Сравнительный анализ средних эффективных доз облучения радоном для трех областей Беларуси показывает, что наибольшему облучению подвергаются жители Витебской и Могилевской областей, что также хорошо согласуется с данными работ [5; 6], согласно которым наиболее радоноопасные участки территории Беларуси расположены в указанных областях. В жилых и административных зданиях, для которых значения $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ превышают 200 Бк/м³, население и персонал подвергаются облучению в дозах свыше 12,6 мЗв/год. Полученные данные свидетельствуют о том, что основной вклад в облучение населения Витебской, Могилевской и Гомельской областей вносит радон и его ДПР.

Заключение. В результате проведения мониторинга радона в воздухе зданий, расположенных на территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей, увеличена статистика исследований за счет обследования новых помещений, в которых измерения объемной активности радона ранее не проводились. Разработана геоинформационная база данных, которая ежегодно актуализируется и является информационной основой для планирования мониторинга радиологической ситуации на территории Беларуси, зонирования территории и оценки доз облучения населения радоном. Актуализация геоинформационной базы данных по результатам измерений за 2016–2017 гг. позволила установить, что к настоящему времени общее количество обследованных зданий на территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей 665, 1001 и 1024 соответственно, среди них основную долю составляют жилые помещения (77,3, 86,0 и 73,4 % соответственно).

На основании результатов исследований построена карта распределения значений среднегодовой эквивалентной равновесной активности радона $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ в воздухе помещений на территории Витебской, Могилевской и Гомельской областей. Превышение нормируемого законодательством Республики Беларусь значения $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ 200 Бк/м³ обнаружено в отдельных административных и жилых помещениях всех трех областей, при этом наибольшее их количество – в Витебской области (18 помещений, из которых 13 жилые). В данных помещениях необходимо проведение протиторановых мероприятий.

На основании полученных значений $\overline{ЭРОА}_{Rn}$ выполнен расчет средних эффективных доз облучения населения от радона. Сравнительный анализ доз облучения от «чернобыльских» радионуклидов и радона показал, что основной вклад в облучение населения исследуемых областей вносит радон и его ДПР. Наибольшему облучению радоном подвергаются жители Витебской и Могилевской областей, где среднегодовая эффективная доза от радона составляет 4,5 и 3,6 мЗв/год соответственно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Радиологическая защита от облучения радоном: перевод публикации 126 МКРЗ / Ж.-Ф. Лекомте [и др.]. – М., 2015. – 89 с.
2. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). – М., 2009. – 344 с.
3. Радон и дочерние продукты его распада в воздухе зданий на территории Беларуси / А. К. Карабанов [и др.] // Природопользование. – Минск, 2015. – Вып. 27. – С. 49–53.
4. Радон: здоровье, опасность, защитные мероприятия / А. К. Карабанов [и др.] // Наука и инновации. – 2013. – № 4. – С. 63–67.
5. Матвеев, А. В. Радон в геологических комплексах Беларуси / А. В. Матвеев, А. К. Карабанов, М. И. Автушко. – Минск, 2017. – 136 с.
6. 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.
7. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону: перевод публикации 115 МКРЗ / М. Тирмарш [и др.]. – М., 2013. – 94 с.
8. Atlas of Natural Radiation // European Commission. Joint Research Centre. – 2018 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation>. – Date of access: 06.06.2018.
9. Николаев, В. А. Твердотельные трековые детекторы в радиационных исследованиях / В. А. Николаев. – СПб., 2012. – 283 с.
10. Численность населения по областям и г. Минску на 01.01.2018 [Электронный ресурс] // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – 2018. – Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/socialnaya-sfera/demografiya_2/g/chislennost-naseleniya-po-oblastyam-i-g-minsku/. – Дата доступа: 06.06.2018.
11. First steps towards national radon action plan in Serbia / V. Udovičić [et al.] // Nukleonika. – 2016. – Vol. 61, N 3. – P. 361–365. <https://doi.org/10.1515/nuka-2016-0060>
12. Effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2006: Report to the General Assembly. Annex E / United Nations. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York, 2009. – 138 p.
13. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / Н. Г. Власова [и др.]. – Гомель, 2014. – 114 с.

References

1. Lekomte Zh.-F., Solomon S., Takala Dzh., Jung T., Strand P., Mjurit K., Kiselev S., Zhuo V., Shennon F., Jansens A. *Radiological protection against radon exposure*. Moscow, 2015. 89 p. (in Russian).
2. *Publication 103 of the International Commission on Radiation Protection (ICRP)*. Moscow, 2009. 344 p. (in Russian).
3. Karabanov A. K., Matveev A. V., Chunihin L. A., Drozdov D. N., Chehovskij A. L., Zhuk I. V., Jaroshevich O. I., Konopel'ko M. V. Radon and its progeny in the air of living accommodation within the territory of Belarus. *Prirodopol'zovanie = Nature management*. Minsk, 2015, vol. 27, pp. 49–53 (in Russian).
4. Karabanov A. K., Zhuk I. V., Jaroshevich O. I., Konopel'ko M. V., Lukashevich Zh. A., Vasilevskij L. L. Radon: health, hazard, protective measures. *Nauka i innovatsii = Science and Innovation*, 2013, no. 4, pp. 63–67 (in Russian).
5. Matveev A. V., Karabanov A. K., Avtushko M. I. *Radon in the geological complexes of Belarus*. Minsk, 2017. 136 p. (in Russian).
6. Matveyev A. V. Division of the territory of Belarus into the regions with different radon contamination hazard levels of soils. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2016, vol. 60, no 5, pp. 108–112. (in Russian).
7. Tirmarsh M., Harrison Dzh. D., Lur'e D., Pak F., Blanshardon E., Marsh Dzh. V. *Lung cancer risk from radon and its progeny and statement on radon. Statement on radon*. Moscow, 2013. 94 p. (in Russian).
8. Atlas of Natural Radiation // European Commission. Joint Research Centre. 2018. Available at: <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation> (accessed 06 June 2018) (in Russian).
9. Nikolaev V. A. *Solid State Track Detectors in Radiation Studies*. Saint Petersburg, 2012. 283 p. (in Russian).
10. *Population by regions and Minsk by 01.01.2018*. Available at: http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/socialnaya-sfera/demografiya_2/g/chislennost-naseleniya-po-oblastyam-i-g-minsku/ (accessed 6 June 2018) (in Russian).
11. Udovičić V., Maletić D., Savković M. E., Pantelić G., Ujić P., Čeliković I., Forkapić S., Nikezić D., Marković V. M., Arsić V., Ilić J. First steps towards national radon action plan in Serbia. *Nukleonika*, 2016, vol. 61(3), pp. 361–365. <https://doi.org/10.1515/nuka-2016-0060>
12. United Nations. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2006: Report to the General Assembly. Annex E*. New York, 2009. 138 p.
13. Vlasova N. G., Visenberg Y. V., Evtushkova G. N., Drozd E. A., Mataras A. N., Eventova L. N., Tolstoy V. V. *Catalogue of the average annual effective doses of public exposure for settlements of the Republic of Belarus*. Gomel, 2014. 114 p. (in Russian)

Информация об авторах

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

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

Сафронова Анастасия Александровна – научный сотрудник. Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси (а/я 119, 220109, Минск, Республика Беларусь). E-mail: anastasiya.safronava@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.

Суходольская Анастасия Алексеевна – мл. науч. сотрудник. Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси (а/я 119, 220109, Минск, Республика Беларусь). E-mail: nastena-1887@mail.ru.

Гусак Кристина Валерьевна – науч. сотрудник. Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси (а/я 119, 220109, Минск, Республика Беларусь). E-mail: k.husak@sosny.bas-net.by.

Лукашевич Жанна Андреевна – заведующая сектором. Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси (а/я 119, 220109, Минск, Республика Беларусь). E-mail: lab13@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: lab13@sosny.bas-net.by.

Липницкий Леонид Владимирович – заведующий отделом. Могилевский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья (ул. Гришина, 82, 212011, Могилев, Республика Беларусь). E-mail: epidemmogilev@rambler.ru.

Information about the authors

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

Karabanov Aleksandr Kirillovich – Academician, D. Sc. (Geology), Director. Institute for 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.

Safronava Anastasiya Aleksandrovna – Researcher. Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus (P. O. box 119, 220109, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anastasiya.safronava@gmail.com.

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

Sukhadolskaya Anastasiya Alekseevna – Junior researcher. Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus (P. O. box 119, 220109, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nastena-1887@mail.ru.

Husak Kristina Valerievna – Researcher. Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus (P. O. box 119, 220109, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: k.husak@sosny.bas-net.by.

Lukashevich Janna Andreevna – Head of the Sector. Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus (P. O. box 119, 220109, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lab13@sosny.bas-net.by.

Vasilevskij Lev Leonidovich – Engineer. Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus (P. O. box 119, 220109, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lab13@sosny.bas-net.by.

Lipnitskij Leonid Vladimirovich – Head of the Department. Mogilev Regional Center for Hygiene, Epidemiology and Public Health (82, Grishin Str., 212011, Mogilev, Republic of Belarus). E-mail: epidemmogilev@rambler.ru.