

ГЕАХІМІЯ
GEOCHEMISTRY

УДК 546.296:536.16(476)«195/1986»
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-2-205-211>

Поступила в редакцию 18.01.2019
Received 18.01.2019

А. К. Карабанов¹, А. Л. Чеховский^{2,3}, А. В. Беляшов⁴, И. В. Жук⁵, Л. А. Чунихин³

¹*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*

²*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь*

³*Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь*

⁴*Научно-производственный центр по геологии, Минск, Беларусь*

⁵*Объединенный институт энергетических и ядерных исследований –
Сосны Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*

**РАДОН И ДОЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ РАДИАЦИОННЫЙ ФОН
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Аннотация. По данным многолетних исследований были построены карты дочернобыльского радиационного фона и объемной активности радона в помещениях зданий территории Беларуси. Впервые проведено сопоставление названных карт.

Ключевые слова: дочернобыльский гамма-фон, мощность экспозиционной дозы, объемная активность, радон, картирование

Для цитирования. Радон и дочернобыльский радиационный фон в Республике Беларусь / А. К. Карабанов [и др.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 205–211. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-2-205-211>

A. K. Karabanov¹, A. L. Chehovskiy^{2,3}, A. V. Beljashov⁴, I. V. Zhuk⁵, L. A. Chulichin³

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

²*Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus*

³*Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus*

⁴*Research and production Centre for Geology, Minsk, Belarus*

⁵*Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny, Minsk, Belarus*

**RADON AND PRECHERNOBYL RADIATION BACKGROUND WITHIN THE TERRITORY
OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

Abstract. According to the years of research, maps of pre-Chernobyl background radiation and radon volumetric activity in buildings within the territory of Belarus were constructed. For the first time the comparison of the listed maps was carried out.

Keywords: pre-Chernobyl gamma background, exposure dose rate, volume activity, radon, mapping

For citation. Karabanov A. K., Chehovskiy A. L., Beljashov A. V., Zhuk I. V., Chulichin L. A. Radon and prechernobyl radiation background within the territory of the Republic of Belarus. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2019, vol. 55, no. 2, pp. 205–211 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-2-205-211>

Введение. Радиационная обстановка в Республике Беларусь в настоящее время определяется радионуклидами, выпавшими после аварии на Чернобыльской АЭС и естественным радиационным фоном. Со временем доля чернобыльских радионуклидов в радиационном фоне снижается. При этом вклад чернобыльских радионуклидов в формирование радиационной обстановки будет существенным в течение достаточно длительного времени, а дочернобыльская радиационная обстановка не восстановится практически никогда. Ведущим чернобыльским радионуклидом является цезий-137 – бета-, гамма-излучатель с периодом полураспада 30 лет, стонций-90 – бета-излучатель с периодом полураспада 29 лет и группа изотопов плутония альфа-, бета-излучатели

с максимальным периодом полураспада 24 тыс. лет. Количество выпавшего на территорию Беларуси стронция-90 примерно в 10–100 раз, а изотопов плутония в 1000–10000 раз меньше, чем цезия-137. Распределение выпавших радионуклидов по территории Беларуси неравномерно, наиболее рассеянным является цезий-137, вносящий, как гамма-излучатель, наибольший вклад в техногенный радиационный фон [1].

Естественный радиационный фон обусловлен в основном естественными радионуклидами семейства урана-235, урана-238, тория-232 и калия-40. Данные радионуклиды имеют величины периодов полураспада от десятков миллионов до нескольких миллиардов лет, и цепочки распадов этих радионуклидов находятся в вековом равновесии. Калий-40 является бета-, гамма-излучателем с периодом полураспада несколько миллиардов лет, входит в состав биогенных изотопов калия и легко мигрирует по пищевым цепочкам.

Наибольший интерес среди естественных радионуклидов представляет радиоактивный газ радон, который образуется в цепочке распада ^{235}U , ^{238}U и ^{232}Th . Четыре изотопа радона входят в природные радиоактивные ряды: ^{222}Rn , или просто радон, образующийся в радиоактивном семействе ^{238}U ; ^{220}Rn или торон, образующийся в семействе ^{232}Th ; ^{219}Rn , или актион, образующийся в семействе ^{235}U ; ^{218}Rn , образующийся в одной из побочных ветвей семейства ^{238}U . Изотоп ^{222}Rn вместе с его дочерними продуктами распада (ДПР) вносят наиболее существенный вклад в облучение человека [2].

Согласно оценке экспертов Национального комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН, радон и его ДПР определяют примерно 2/3 годовой индивидуальной эффективной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации, и примерно половину дозы от всех источников радиации [2]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), радон повышает риск возникновения и развития рака легкого [3], что обусловлено воздействием высокоэнергетического альфа-излучения при распаде радона и его ДПР на клетки и ткани дыхательной системы. Доказано, что начиная со значения объемной активности (ОА) радона примерно 50 Бк/м^3 существует линейная зависимость числа заболеваний раком легкого от ОА радона [4]. При значении ОА радона более 400 Бк/м^3 количество заболеваний является существенным, что можно определить как радоноопасность. По оценкам экспертов Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) облучение населения за счет радона обуславливает до 15 % общего количества заболеваний раком легкого [4, 5].

В настоящее время радон является первой мировой проблемой радиобиологии и радиоэкологии. Оценка ОА радона в жилых и рабочих помещениях является весьма затратной по временным и материальным ресурсам процедурой, поэтому разрабатываются методы оценки ОА радона по косвенным признакам, одним из которых является естественный дочернобыльский радиационный фон.

Цель данного исследования – сравнение карты дочернобыльского радиационного фона, построенной по измеренным до аварии на Чернобыльской АЭС результатам гамма-фона с картой радонового риска Беларуси, построенной по результатам измерений ОА радона и определение соотношения вклада природных и техногенных факторов в формирование радиационной обстановки на территории Беларуси.

Материалы и методы. Для настоящего анализа были использованы результаты измерений естественного радиационного фона территории Беларуси в период с 1963 по 1985 г. Всего были выполнены измерения мощности экспозиционной дозы (МЭД, величина, вышедшая сейчас из употребления) в 3200 точках на всей территории Беларуси для всех существующих типов почв. Для построения карты дочернобыльского радиационного фона измеренные значения были присвоены аналогичным типам почв. Впервые исследование естественного радиационного фона было предпринято Г. В. Гурским и К. И. Лукашовым в рамках изучения геохимии четвертичных отложений [6]. В результате были установлены корреляции между генетическим типом четвертичных отложений и почв с их гамма-излучением, зарегистрированным над местами измерений. При измерениях, выполненных до 1970 г., применялись радиометры с газоразрядными счетчиками, а с 1968 г. преимущественно использовались сцинтилляционные счетчики. Эталонирование обоих типов аппаратуры производилось радиевым эталоном, а настройка аппаратуры выполнялась в соответствии с требованиями «Инструкции по гамма-каротажу скважин при массовых поис-

ках урана» [7]. Поэтому результаты двух типов аппаратуры сопоставимы между собой. В соответствии с указанной инструкцией среднеквадратичная ошибка измерений на нижней границе (1–3 мкР/ч) находится в пределах 30 % от измеряемой величины, а на верхней границе (9–12 мкР/ч) – в пределах 10 % от измеряемой величины. Характеристики приборов, которые использовали для измерения естественного фона гамма-излучения на территории Беларуси, приведены в таблице.

Характеристика приборов, использовавшихся для измерения естественного фона гамма-излучения на территории Беларуси в 1963–1985 гг.

Characteristics of devices used to measure the natural background of gamma radiation in Belarus in 1963–1985

Наименование аппаратуры	Период использования, года	Тип счетчика	Энергетический порог, КэВ	Чувствительность имп/мин на 1 мкР/ч
РАРК	1963–1970	Газоразрядный	Не более 100 КэВ	Не менее 150
	1966–1967	Газоразрядный	Не более 100 КэВ	Не менее 150
ДРСТ-2	1968–1975	Сцинтилляционный	Не более 30 КэВ	400–600
РСК, РСК-У, РСК-М	1968–1984	Сцинтилляционный	Не более 30 КэВ	200–500
КУРА-2	1981–1986	Сцинтилляционный	Не более 30 КэВ	500

Для построения карты естественного радиационного фона территории Беларуси данные измерений были нанесены на карту масштаба 1:500000. Территория Беларуси поделена на районы с однородной величиной гамма-фона в 9 градациях (1–2, 2–3, 3–5, 5–6, 7–8, 8–9, 9–10, 10–11 и 11–12 мкР/ч). В сложных случаях для определения контуров однородных районов использовалась Геологическая карта четвертичных отложений масштаба 1:500000. Карта была построена при помощи прикладного пакета программ MAPINFO.

Для составления карты радонового риска были использованы результаты исследований, проведенных специалистами ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» (г. Минск, Сосны) в течение 2005–2016 гг. [8–10]. Были обследованы 6 областей Республики Беларусь и г. Минск. Плотность размещения дозиметров обусловлена распределением населенных пунктов (НП) на данной территории. Количество измерений по областям: Брестская – 178 измерений в 71 НП, Витебская – 372 в 90 НП, Гомельская – 960 в 48 НП, Гродненская – 900 в 101 НП, Минская – 201 в 54 НП, г. Минск – 398, Могилевская – 585 в 89 НП. Всего для составления карты было использовано 3594 измерения в 454 НП.

Для измерений ОА радона в помещениях радонометры устанавливались на расстоянии не менее 1 м от возможных источников поступления радона – водопровода, газовой плиты, колонки и строительных конструкций (стен, пола, потолка и т. д.) в комнате наибольшего времени пребывания (спальня, жилая комната). После установки радонометр находился в помещении 70–120 сут (в зависимости от предполагаемой ОА радона), что позволяет учесть колебания концентрации радона за время экспозиции, в том числе изменения концентраций, связанных с частотой открытия дверей, проветриванием помещения и т. п. По истечении заданного времени проводился сбор радонометров из обследуемых помещений. Травление проэкспонированных трековых детекторов осуществлялось с использованием прибора для травления трековых детекторов – термостата ТРАЛ-1. ОА радона в воздухе помещения рассчитывается по соответствующим формулам с учетом длительности экспозиции, плотности треков на детекторе по средствам программно-аппаратного комплекса КСИОАР-01 [11]. Дальнейшее построение картограммы было произведено при помощи прикладного пакета MAPINFO 10.5.

Обсуждение результатов. Неравномерность естественного гамма-фона на территории Беларуси обусловлена в основном гамма-излучением радия и его ДПР. Радон является составляющим элементом цепочки распада радия, интенсивность его эксгаляции из почв и грунтов положительно коррелирует с величиной дочернебыльского гамма-фона. Доминирующий вклад в естественный гамма-фон радия и его ДПР подтверждается и таким интегральным показателем, как гамма-постоянная, равным $9,36 \text{ (p-см}^2) / \text{(ч-мКи)}$ (для цезия-137 и калия-40 соответственно 3,1 и 0,8) [12]. Высокие концентрации природных радионуклидов урана в сочетании с малыми значениями мощности и плотности перекрывающих коренные породы грунтов повышают величину эксгаляции радона.

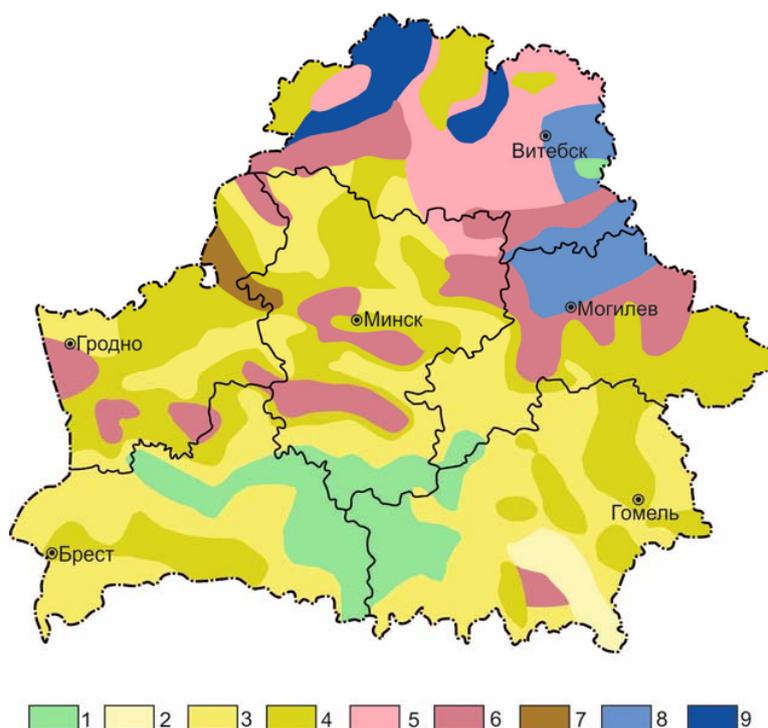


Рис. 1. Карта дочернобыльского гамма-фона территории Беларуси. Площади с показателями естественной радиоактивности, мкР/ч: 1 – 1–2; 2 – 2–3; 3 – 3–5; 4 – 5–6; 5 – 7–8; 6 – 8–9; 7 – 9–10; 8 – 10–11; 9 – 11–12

Fig. 1. Map of the pre-Chernobyl gamma-radiation background within the territory of the Republic of Belarus. Areas with the value of the naturally radioactivity, microrentgen/hour: 1 – 1–2; 2 – 2–3; 3 – 3–5; 4 – 5–6; 5 – 7–8; 6 – 8–9; 7 – 9–10; 8 – 10–11; 9 – 11–12

Приведенная на рис. 1 карта дочернобыльского гамма-фона Беларуси показывает, что дифференциация гамма-поля была обусловлена особенностями геологического строения и геохимическими характеристиками горных пород территории региона, которая относилась к районам с естественной радиоактивностью 2–12 мкР/ч.

Так, лессовидные (алевритистые и глинистые) породы обладают естественной радиоактивностью, определяющей МЭД гамма-излучения от 8 до 12 мкР/ч, а флювиогляциальные, аллювиальные и озерно-болотные – от 1 до 5 мкР/ч. Радиоактивность почв изменяется от типа к типу и по возрастанию радиоактивности представляется следующим рядом: торфяно-болотные, дерново-подзолистые песчаные, дерново-подзолистые супесчаные, дерново-подзолистые суглинистые и глинистые.

На рис. 2 представлена карта объемной активности радона в помещениях зданий на территории Республики Беларусь [9].

Сопоставление двух карт показывает, что наблюдается существенная неоднородность в распределении радоноопасности по территории Беларуси. В населенных пунктах южных районов республики (Брестская, Гомельская, южная часть Минской и Могилевской областей) установлены относительно низкие уровни ОА радона в помещениях. На севере Витебской, севере Могилевской и западе Гродненской областей средние значения выше в 2–3 раза. На карте выявлены аномальные «пятна» с критическим уровнем радоноопасности – ОА радона в диапазоне 200–400 Бк/м³. При концентрации радона более 200 Бк/м³ причинно-следственная зависимость заболеваемости раком легкого и содержания радона в помещениях статистически обоснована. При концентрации радона 400 Бк/м³ и выше жилище считается опасным для проживания [4, 5].

На севере и северо-востоке Беларуси на обеих картах прослеживается общая тенденция – значения МЭД и ОА радона в помещениях зданий здесь в 5–10 раз выше, чем на юге, юго-востоке и юго-западе нашего региона. В центральной и западной частях наблюдаются средние по терри-

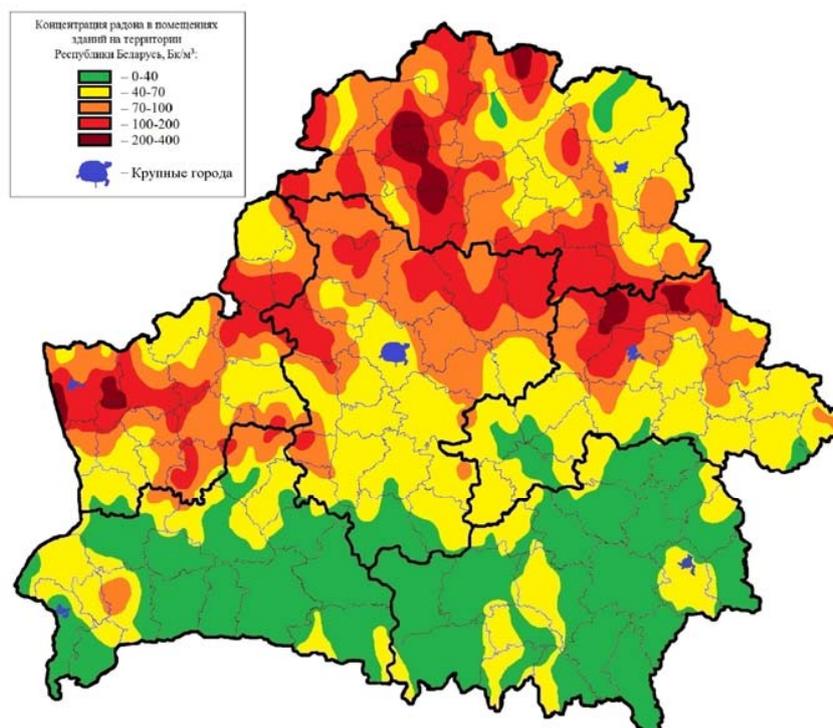


Рис. 2. Карта объемной активности радона в помещениях зданий на территории Республики Беларусь

Fig. 2. Map of the volumetric radon activity in the buildings within the territory of the Republic of Belarus

тории республики значения МЭД и ОА радона. Была сделана количественная оценка сопоставимости результатов измерения МЭД на местности и ОА радона в помещениях зданий.

Регрессионная зависимость измеренных среднерайонных значений ОА радона в помещениях и аналогичных значений МЭД на местности, приведенная на рис. 3, отражает положительную регрессионную зависимость с недостаточно высоким коэффициентом корреляции. В данном случае главным фактором является наличие положительной регрессии, что указывает на существование причинно-следственной связи. Очевидно, что имеется много факторов, влияющих на поступление радона из почвы в помещения зданий. К числу таких факторов относятся: геологическое строение, наличие активных разломов в земной коре, тип здания, стройматериалы, из которых построено здание (дерево, кирпич, бетон), близость грунтовых вод, тип почв, состав грунтов, концентрация урана в горных породах и др.

Согласно Публикации № 65 МКРЗ, некорректно рассматривать биологические последствия облучения от техногенных радионуклидов без учета влияния радона. Принимая во внимание, что радиационная обстановка спустя более 30 лет после аварии на Чернобыльской АЭС существенно улучшилась, проблема радона становится более значимой. Трудности в исследованиях по радону связаны с необходимостью значительных временных и материальных затрат на проведение исследований, поэтому целесообразна разработка и использование косвенных методов оценки ОА радона в помещениях зданий.

Заключение. По данным многолетних исследований построены карты дочернобыльского радиационного фона и радонового риска (ОА радона в помещениях зданий) и проведены количественные и качественные сопоставления полученных картограмм в масштабе территории всей Республики Беларусь. Значение результатов прямых полевых измерений дочернобыльского гамма-фона и построенной на основе результатов таких измерений карты заключается в том, что показанные на карте значения дочернобыльского гамма-фона результаты измерений дочернобыльского гамма-фона позволяют оценить радиационные характеристики почв территории Республики Беларусь, дают основу для разработки достаточно корректных методов оценки чернобыльской составляющей текущей и накопленной дозы облучения, а также методов косвенной

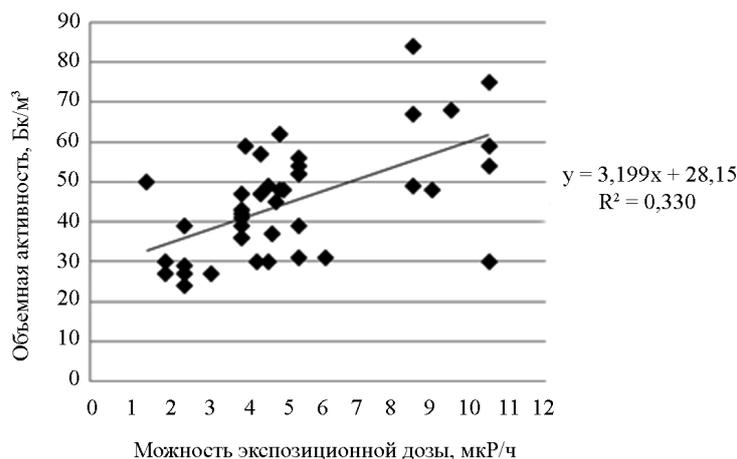


Рис. 3. Зависимость объемной активности радона (Бк/м³) от мощности экспозиционной дозы (мкР/ч)

Fig. 3. Dependency of the volumetric radon activity on the value of the exposition dose (microrentgen/hour of exposition)

оценки ОА радона в помещениях зданий [13, 14]. Анализ факторов формирования радиационной ситуации, сложившейся в настоящее время в Республике Беларусь, должен включать все существующие радиационные риски: как вклад от естественных радионуклидов, так и от чернобыльского загрязнения техногенными радионуклидами. Это позволит адекватно оценить существующие радиационные риски возможных радиационных эффектов и повысить уровень радиационной безопасности путем проведения противорадиационных мероприятий, а также изменения подхода к нормированию облучения.

Благодарности. Авторы статьи выражают благодарность Белорусскому республиканскому фонду фундаментальных исследований, при финансовой поддержке которого выполнялись исследования (проект В18М–115 «Оценка распределения объемной активности радона на территории Гомельской области»).

Acknowledgements. Authors are grateful to the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research for the financial support in frames of the project no. В18М–115 «Assessment of distribution of radon volumetric activity in the Gomel region».

Список использованных источников

1. Международный Чернобыльский Проект. Оценка радиологических последствий и защитных мер: Доклад Международного Консультативного Комитета. – МАГАТЭ, Вена. – 1992. – 740 с.
2. Источники и эффекты ионизирующего излучения: Отчет НКДАР ООН 2000 года Генеральной Ассамблее с научными приложениями / под ред. Л. А. Ильна, С. П. Ярмоненко. – М.: РАДЭКОН, 2002. – Т. 2. – 319 с.
3. Радон и рак: информационный бюллетень. – Женева: ВОЗ, 2005. – № 291. – 4 с.
4. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону / под ред. М. В. Жуковского, С. М. Киселева, А. Т. Губина. – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, 2013. – 92 с.
5. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация № 65 МКРЗ. – М., 1995. – 78 с.
6. Лукашев, К. И. Геохимические провинции покровных отложений БССР / К. И. Лукашев. – Минск: Наука и техника, 1969. – 387 с.
7. Инструкция по гамма-каротажу при массовых поисках урана: утв. Мин. Геологии СССР 01.09.81 г. – Л.: Минво геологии СССР, 1982. – 101 с.
8. Радон и дочерние продукты распада в воздухе зданий на территории Беларуси / А. К. Карабанов [и др.] // Природопользование: сборник научных трудов. – Минск: СтройМедиаПроект, 2015. – Вып. 27. – С. 49–53.
9. Карта радонового риска Беларуси / А. К. Карабанов [и др.] // Природные ресурсы. – 2015. – № 2. – С. 73–78.
10. 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.
11. Методика определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: МВИ. МН 1111–99: Методические указания. – Минск: Бел. гос. ин-т метрологии, 2002. – 19 с.
12. Козлов, В. Ф. Справочник по радиационной безопасности / В. Ф. Козлов. – 3-е изд. – М., 1987. – 192 с.
13. Чеховский, А. Л. Оценка радоновой опасности по косвенным показателям радона (на примере восточных областей Беларуси): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Минск: БГУ, 2017. – 24 с.
14. Чеховский, А. Л. Определение критических зон радоноопасности по методу комплексного радонового показателя и картированию радонового риска / А. Л. Чеховский // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2015. – № 6 (93). – С. 46–52.

References

1. International Chernobyl Project. Assessment of radiological consequences and protective measures: Report of the International Consultative Committee. Vienna, MAGATE 1992. 740 p. (in Russian).
2. П'на Л. А., Jarmonenko S. P. (eds.). *Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Appendices. Vol. 2.* Moscow, RADEKON Publ., 2002. 319 p. (in Russian).
3. *Radon and Cancer*: Newsletter. Zheneva: WHO, 2005, no. 291. 4 p. (in Russian).
4. Zhukovskiy M. V., Kiselev S. M., Gubin A. T. (eds.). *The risk of lung cancer when irradiated with radon and its decay products. Radon Statement.* Moscow, State Research Center – Burnasyn Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, 2013. 92 p. (in Russian).
5. *Radon-222 protection in residential buildings and workplaces. ICRP Publication № 65.* Moscow, Energoatomizda Publ., 1995. 78 p. (in Russian).
6. Lukashev K. I. *Geochemical provinces of surface sediments of the BSSR.* Minsk, Nauka i Tehnika Publ., 1969. 387 p. (in Russian).
7. *Instructions for gamma logging during mass searches for uranium:* approved by USSR Geology Ministry 01.09.81 g. Leningrad, USSR Geology Ministry, 1982. 101 p. (in Russian).
8. Karabanov A. K., Matveev A. V., Chunihin L. A., Drozdov D. N., Chehovskii A. L., Zhuk I. V., Yaroshevich O. I., Konopel'ko M. V. Radon and daughter decay products in the air of buildings in Belarus. *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Nature use: collection of scientific papers]. Minsk, StrojMediaProekt Publ., 2015, iss. 27, pp. 49–53 (in Russian).
9. Karabanov A. K., Chunihin L. A., Drozdov D. N., Chehovskii A. L., Zhuk I. V., Yaroshevich O. I., Konopel'ko M. V. Radon risk map of Belarus. *Prirodnye resursy* [Natural resources], 2015, no 2, pp. 73–78 (in Russian).
10. Chunihin L. A., Chehovskii A. L., Drozdov D. N. Radon hazard map of the territory of the Republic of Belarus. *Radiatsionnaya gigiena = Radiation Hygiene* 2016, vol. 9, no. 4, pp. 43–46 (in Russian).
11. Guidelines MVI. MN 1111–99. *Method for determining the volumetric activity of radon in the air of residential and industrial premises using integrated radonometers based on solid-state alpha-particle track detectors.* Minsk, Belarusian State University of Metrology, 2002. 19 p. (in Russian).
12. Kozlov V. F. *Radiation safety handbook.* Moscow, Energoatomizdat Publ., 1987. 192 p. (in Russian).
13. Chehovskii A. L. *Radon hazard assessment using indirect indicators of radon (on the example of the eastern regions of Belarus).* Minsk, 2017. 24 p. (in Russian).
14. Chehovskii A. L. Determination of critical zones of radon hazard using the complex radon index method and radon risk mapping. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny = Proceedings Francisk Skorina Gomel State University*, 2015, no 6, pp. 46–52 (in Russian).

Информация об авторах

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

Чеховский Артур Леонидович – канд. биол. наук, ст. преподаватель, Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, ст. науч. сотрудник, Институт радиобиологии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Свиридова, 32/34, 246038, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: chehovskii@mail.ru

Беляшов Александр Васильевич – главный геофизик, Белорусская комплексная геологоразведочная экспедиция, Научно-производственный центр по геологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (ул. Геологическая, 121/55, 220138, Минск, Республика Беларусь). E-mail: beljashov@tut.by

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

Чунихин Леонид Александрович – канд. биол. наук, доцент, Институт радиобиологии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Свиридова, 32/34, 246038, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: leochun_rcrm@mail

Information about the authors

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

Artur L. Chakhouski – Ph. D. (Biology), Senior lecturer, Francisk Skorina Gomel State University, Senior researcher, Institute of Radiobiology, National Academy of Sciences of Belarus (32/34, Sviridov Str., 246038, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: chehovskii@mail.ru

Aliaksandr V. Belyashov – Chief geophysicist of branch, Belarusian Integrated Geological Prospecting Expedition, Scientific and Practical Center on geology Ministry of Natural Resources and Environmental Protection (121/55, Geologicheskaya Str., 220138, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: beljashov@tut.by

Ihar V. Zhuk – Ph. D. (Technical), 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

Leonid A. Chunikhin – Ph. D. (Biology), docent, Institute of Radiobiology, National Academy of Sciences of Belarus (32/34, Sviridov Str., 246038, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: leochun_rcrm@mail.ru