

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

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ**  
**EARTH SCIENCES**

УДК 551.79:[550.42](476)  
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-2-223-228>

Поступило в редакцию 09.12.2021  
Received 09.12.2021

**Академик А. В. Матвеев<sup>1</sup>, М. И. Автушко<sup>2</sup>, С. А. Исаченко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Республика Беларусь*

**О ВЛИЯНИИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ  
И ЛУННО-СОЛНЕЧНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА КОНЦЕНТРАЦИЮ РАДОНА В ПОРОВОМ ВОЗДУХЕ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ**

**Аннотация.** Получены экспериментально обоснованные данные, характеризующие ранее неизвестные особенности миграционного поведения радона в приземной атмосфере и приповерхностных слоях грунтов. Показано, что уровень концентрации радона в поровом воздухе дисперсного (песчаного) приповерхностного грунта формируется за счет двух земных источников – интргенного и глубинного, при существенном вкладе атмосферного источника, обусловленного поступлением радона с жидкими атмосферными осадками, вымывающими его из атмосферы и доставляющими к земной поверхности. Определена форма математической зависимости между количеством выпадающих осадков и количеством атмосферного радона, и дана оценка относительного вклада атмосферного источника и земных источников радона в его суммарное содержание в поровом воздухе грунтов. Показано, что вклад атмосферного источника радона спорадически, в зависимости от количества выпадающих осадков и концентрации радона в них, может превышать вклад земных источников. Установлена тесная корреляционная связь между количеством грунтового радона и силой гравитационного лунно-солнечного воздействия на земную кору. Использование этой информации в практических целях представляется необходимым для обеспечения достоверности оценок радоноопасности окружающей среды, одним из критериев которых является уровень концентрации радона в грунтах.

**Ключевые слова:** приповерхностные грунты, радон, концентрации радона в грунтах, земные источники радона, лунно-солнечный гравитационный фактор, жидкие атмосферные осадки, атмосферный источник радона

**Для цитирования.** Матвеев, А. В. О влиянии атмосферных осадков и лунно-солнечного гравитационного воздействия на концентрацию радона в поровом воздухе дисперсных грунтов / А. В. Матвеев, М. И. Автушко, С. А. Исаченко // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 2. – С. 223–228. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-2-223-228>

**Academician Aleksey V. Matveyev<sup>1</sup>, Mikhail I. Autushka<sup>2</sup>, Sergey A. Isachenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus*

**INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION AND LUNISOLAR GRAVITATIONAL FORCES ON  
RADON CONCENTRATIONS IN THE AIR IN THE DISPERSIVE SOIL PORES**

**Abstract.** In the present study, the obtained data on the previously unknown behaviors of radon migration in the near-surface atmospheric and soil layers were validated experimentally. The experiment finds two earth origins of radon concentrations occurred in the air in the pores of the near-surface dispersive soil, intragenic and hypogenic, with a considerable atmospheric impact of the liquid forms of precipitation transporting radon from the atmosphere to the ground. The equations were used to establish the mathematical relation between the amounts of precipitation and atmospheric radon. We also assessed a relative contribution of the atmospheric and earth sources to the total radon concentration in the air in the soil pores. The atmospheric source was found to have a sporadically higher impact on the radon levels in the air in the soil pores as against the earth source, depending on the amounts of precipitation and radon concentrations in them. A close correlation was established between the radon concentrations in the soil and the effect of lunisolar gravitational forces on the earth's crust. The

findings of the radon levels in near-surface soils are expected to be applied as one of the criteria for environmental assessment of radon concentrations and associated threats.

**Keywords:** near-surface soils, radon, radon concentrations in soils, earth radon, lunisolar gravitational factor, liquid precipitation, atmospheric radon

**For citation.** Matveyev A. V., Autushka M. I., Isachenko S. A. Influence of atmospheric precipitation and lunisolar gravitational forces on radon concentrations in the air in the dispersive soil pores. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2022, vol. 66, no. 2, pp. 223–228 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-2-223-228>

**Введение.** Практически все современные объекты радонометрии сосредоточены в области сопряжения двух смежных геосфер – атмосферы и литосферы. Для этой пограничной области (англ. *border area*), представленной со стороны литосферы приповерхностными грунтами, со стороны атмосферы – приземными слоями воздуха, радонометрические исследования имеют особое значение, поскольку в ее пределах находится преимущественная часть среды обитания и производственной деятельности человека. Принято считать, что источником поступления радона в эту среду являются земные источники, и при оценке радоноопасности территории жилищного строительства основным критерием является уровень концентрации радона в приповерхностных грунтах.

Ранее нами показано [1–3], что количество грунтового радона, проистекающего из земных источников и фиксируемое при полевых измерениях ( $Rn_{sum}$ ), формируется за счет двух составляющих. Одна составляющая характеризует то количество радона, которое продуцируется непосредственно в грунтах за счет радиоактивного распада содержащегося в них  $^{226}\text{Ra}$ . Это количество – собственно грунтовой или *интрагенный* радон ( $Rn_{in}$ ) – зависит только от вещественного состава грунтов и для каждой точки измерения является постоянной величиной ( $Rn_{in} = const$ ). Другая составляющая представлена радоном, избыточным по отношению к количеству, равновесному с содержащимся в грунтах радием, и имеет глубинный источник ( $Rn_{bat}$ ). Этот источник обусловлен влиянием закономерно варьирующего лунно-солнечного гравитационного воздействия на земную кору, вызывающего земные приливы-отливы и способствующего адвекции радона из глубины к земной поверхности, и его интенсивность может значительно изменяться под влиянием локальных особенностей геологического строения и состава пород, подстилающих приповерхностный слой грунтов [4].

Вместе с тем результаты наших предшествующих исследований [5; 6] показывают, что значительное количество радона (до 1 кБк/л) поступает к земной поверхности с жидкими атмосферными (дождевыми) осадками (ЖАО). Эти данные послужили основанием для предположения о том, что избыточное (по сравнению с интрагенным количеством) содержание радона в приповерхностных грунтах может формироваться не только за счет глубинного земного источника, но и за счет поступления из атмосферы.

Задача исследований, предпринимаемых авторами настоящего сообщения, заключается в выяснении миграционных свойств радона, определяющих условия, количественные параметры и закономерности его поступления в среду обитания человека, обусловленные природными геодинамическими процессами, протекающими в приземных слоях атмосферы и в приповерхностных грунтах. В сообщении представлены результаты экспериментального определения и сравнительной оценки количеств радона, поступающего в приповерхностные грунты из земных источников и принесенного на земную поверхность дождевыми осадками. В мировой радонологической литературе нет данных о том, что упомянутые аспекты миграции радона исследованы или хотя бы обсуждаются.

**Экспериментальная часть.** Эксперимент выполняли на наблюдательной радонометрической площадке Института радиобиологии НАН Беларуси (г. Гомель). Эта территория находится в пределах задровской равнины времени отступления сожского ледника. Приповерхностные грунты здесь представлены однородной толщей флювиогляциальных мелко-тонкозернистых кварц-полевошпатовых песков мощностью более 6 м.

Эксперимент заключался в периодическом измерении количества радона, сорбированного активированным углем, в скважине диаметром 80 мм, вскрывающей приповерхностный грунт

на глубину 1,5 м, с сопутствующей фиксацией значений количества ЖАО ( $Q$ , мм), выпадавших в течение времени экспозиции. В основу оценки значений гравитационного параметра  $G$ , который используется в работе для сравнительной характеристики силы лунно-солнечного воздействия на земную кору, положено представление, что его величина максимальна ( $G = 3$ ) для фазы новолуния, когда гравитационные воздействия Луны и Солнца на земную кору суммируются; минимальна ( $G = 1$ ) для полнолуния, когда Луна и Солнце расположены по разные стороны от земного шара, причем на земную кору в точке наблюдения воздействует только Солнце; имеет промежуточные значения в квадратурах.

Картридж с угольным сорбентом устанавливали на дно скважины, устье скважины закрывали поролоновым тампоном и засыпали слоем грунта, ранее изъятых из скважины. Количество радона, сорбированного активированным углем, отражает суммарную концентрацию радона в свободном поровом пространстве грунтов ( $Rn_{sum}$ )<sup>1</sup>. Оценивалось количество по удельной активности радионуклида <sup>214</sup>Bi,  $\gamma$ -излучающего дочернего продукта распада радона. Периодичность измерений (время экспозиции угольного сорбента в скважинах) составляла 3,5 сут., т. е. в течение каждой четверти лунного месяца выполнялось по 2 измерения. Каждому измерению концентрации радона в угольном сорбенте  $Rn_{sum}$  соответствуют усредненные по периодам экспозиции значения  $G$  и  $Q$ . Эксперимент выполнялся в течение 4,5 недель (31,5 сут или  $1_{1/6}$  периода обращения Луны вокруг Земли), при колебаниях температуры атмосферного воздуха от  $-3$  до  $+10$  °C и преимущественно пасмурной погоде.

**Результаты и их обсуждение.** Полученные в ходе эксперимента результаты измерений, иллюстрирующие динамику концентрации радона в грунтах и значений геодинамических параметров  $G$  и  $Q$ , показаны в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Динамика значений геодинамических параметров  $G$  и  $Q$  и концентрации радона в грунтах в ходе эксперимента

Table 1. Dynamics of geodynamical parameters  $G$  and  $Q$  and radon concentrations in soils

№ измерений Measurement No.	Фазы Луны Lunar phases	$G$ , усл. ед. $G$ , c. u.	$Q$ , мм $Q$ , mm	$Rn_{sum}$ , Бк $Rn_{sum}$ , Bq
1	Полнолуние	1,00	8,5	54
2	Убывающая Луна	1,33	3,1	44
3	4-я четверть	2,00	1,3	45
4	Убывающая луна	2,67	0,0	52
5	Новолуние	3,00	0,0	56
6	Растущая Луна	2,67	7,1	66
7	1-я четверть	2,00	24,6	82
8	Растущая Луна	1,33	37,8	91
9	Полнолуние	1,00	8,8	52

Анализ приведенных данных позволяет заключить, что значимая корреляция величины  $Rn_{sum}$  с параметром  $G$  отсутствует, поскольку она затуманена поступлением атмосферного радона, однако влияние лунно-солнечного гравитационного процесса на концентрацию радона в грунтах проявляется и в этом случае. Так, в измерениях 2–5 поступление осадков к земной поверхности снижалось от 3,1 мм до нулевого уровня, тогда как величина  $Rn_{sum}$  возрастала, что объясняется, очевидно, ростом адвекционного поступления глубинного радона в связи с приближением к фазе новолуния, когда колебания земной коры, обусловленные лунно-солнечным гравитационным воздействием, закономерно увеличиваются.

Количество ЖАО, выпадающих в течение эксперимента, оказывало существенное влияние на концентрацию радона в грунтах: ход величин  $Rn_{sum}$  практически идентичен ходу  $Q$ . Корреляционная связь между величинами  $Q$  и  $Rn_{sum}$  характеризуется коэффициентом  $R^2 = 0,89$  (рис. 1).

<sup>1</sup> Устройство для измерения содержания радона в поровом воздухе грунтов с использованием угольного сорбента: пат. Респ. Беларусь ВУ 12322, МПК G 01N 1/22 / М. И. Автушко, Л. В. Жукова, А. И. Жуковский, С. А. Исаченко; заяв. Гос. науч. учрежд. «Ин-т радиобиологии Нац. акад. наук Беларуси». – и 20190277; заявл. 11.11.19; опубл. 30.06.20 // Офиц. бюлл. / Нац. центр интеллектуал. собственности. – 2020. – № 3. – С. 137.

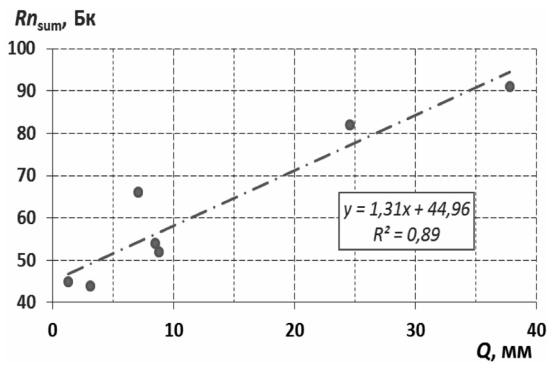


Рис. 1. Форма корреляционной зависимости между величинами  $Rn_{sum}$  и  $Q$

Fig. 1. Correlation between  $Rn_{sum}$  and  $Q$  variables

Уравнение линейной регрессии, характеризующее форму зависимости и  $Rn_{sum}$  от  $Q$ , имеет вид

$$Rn_{sum} = 1,31Q + 44,96. \quad (1)$$

Из уравнения (1) следует, что с каждым миллиметром дождевых осадков в грунт поступает количество радона, повышающее его поглощение угольным сорбентом из грунтового воздуха в среднем на  $\sim 1,31$  Бк.

На основе полученных данных представляется возможным вычлнить из суммарной оценки ( $Rn_{sum}$ ) количество атмосферного радона ( $Rn_{atm}$ ), поступавшего в грунт с осадками в течение каждого периода экспозиции. Количественная зависимость  $Rn_{atm}$  от величины  $Q$  аппроксимируется уравнением

$$Rn_{atm} = 1,31Q + 5E - 15, \quad (2)$$

в котором коэффициент при первом члене уравнения сохраняет ту же величину, что и в уравнении (1), свободный член уравнения практически равен нулю, а коэффициент корреляции равен единице (рис. 2).

Оценку количества радона, поступающего в поровое пространство грунта из двух земных источников – интрагенного и глубинного, получаем путем вычитания величины  $Rn_{atm}$  из значения  $Rn_{sum}$ :

$$Rn_{earth} = (Rn_{in} + Rn_{bat}) = Rn_{sum} - Rn_{atm}. \quad (3)$$

Расчетные значения  $Rn_{atm}$  и  $Rn_{earth}$  приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Содержание атмосферного и земного радона в грунтах

Table 2. Atmospheric and earth radon concentrations in soils

№ измерений Measurement No.	$Rn_{atm}$ , Бк $Rn_{atm}$ , Bq	$Rn_{earth}$ , Бк $Rn_{earth}$ , Bq	$Rn_{atm} / Rn_{sum}$
1	11,1	42,9	0,21
2	4,1	39,9	0,09
3	1,7	43,3	0,04
4	0,0	52,0	0,00
5	0,0	57,0	0,00
6	9,3	56,7	0,14
7	32,2	49,8	0,39
8	49,5	41,5	0,54
9	11,5	40,5	0,22

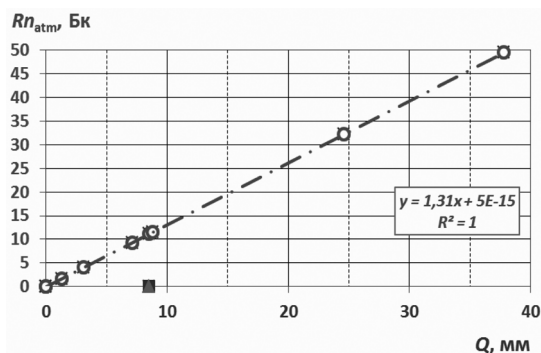


Рис. 2. Форма корреляционной зависимости между величинами  $Q$  и  $Rn_{atm}$

Fig. 2. Correlation between  $Q$  and  $Rn_{atm}$  variables

Поскольку  $Rn_{in} = \text{const}$ , то все вариации поступления радона из земных источников, характеризуемого значениями  $Rn_{earth}$ , определяются только вариациями величины  $Rn_{bat}$ , которые обусловлены закономерными изменениями силы лунно-солнечного гравитационного воздействия на земную кору, регулирующими интенсивность потока глубинного радона к земной поверхности. Следовательно, значения  $Rn_{earth}$  должны соответствовать ходу гравитационного параметра  $G$  и иметь тесную корреляционную связь с величиной этого параметра, что и подтверждается данными рис. 3 и 4.

Сравнительная оценка вклада разных источников радона в его суммарную концентрацию в грун-

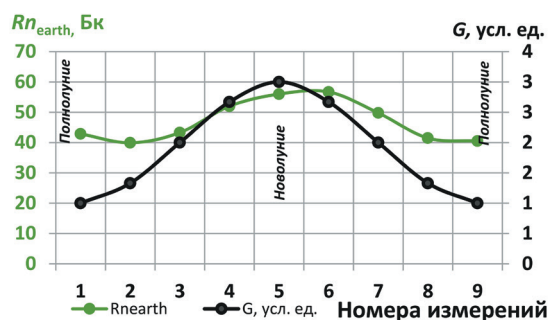


Рис. 3. Лунно-месячный ход концентрации земного радона в грунтах

Fig. 3. Lunar-monthly movement of ground radon concentrations in soils

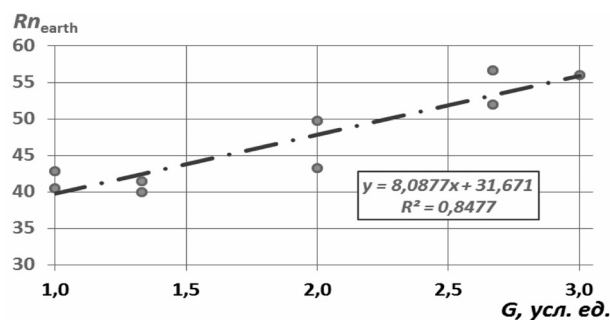


Рис. 4. Форма корреляционной зависимости между величинами  $Rn_{earth}$  и  $G$

Fig. 4. Correlation between  $Rn_{earth}$  and  $G$  variables

тах показывает (табл. 1), что вклад атмосферного источника, оцениваемый по соотношению  $Rn_{atm} / Rn_{sum}$ , колеблется в зависимости от количества выпадающих ЖАО, от нулевого уровня в бездождевые периоды (измерения 4 и 5) до 0,54 (т. е. больше вклада земных источников) в периоды, когда величина  $Q$  превышает 10 мм/сут (измерение 8). Эти данные не имеют обобщающего значения, поскольку концентрация радона в ЖАО, по данным [4], может изменяться в широких пределах – от  $n \cdot 10^{-2}$  до  $n \cdot 10^{-3}$  Бк/л. Кроме того, остается неизвестной и подлежит исследованию временная динамика концентрации радона в ЖАО в случае продолжительных выпадений. Тем не менее, представляется очевидным, что учет вариаций концентрации радона, обусловленных как поступлением его из атмосферного источника, так и из глубинного земного источника, необходим для обеспечения достоверности радонометрических работ, направленных на оценку радиэкологического качества окружающей среды.

**Закключение.** В результате исследования получены экспериментально обоснованные данные, характеризующие ранее неизвестные особенности миграционного поведения радона в приземной атмосфере и приповерхностных слоях грунтов. Показано, что уровень концентрации радона в поровом воздухе дисперсного (песчаного) приповерхностного грунта формируется за счет двух земных источников – интрагенного и глубинного – при существенном вкладе атмосферного источника, обусловленного поступлением радона с жидкими атмосферными осадками, вымывающими его из атмосферы и доставляющими к земной поверхности. Определена форма математической зависимости между количеством выпадающих осадков и количеством атмосферного радона, и дана оценка относительного вклада атмосферного источника и земных источников радона в его суммарное содержание в поровом воздухе грунтов. Показано, что вклад атмосферного источника радона спорадически, в зависимости от количества выпадающих осадков и концентрации радона в них, может превышать вклад земных источников. Установлена тесная корреляционная связь между количеством грунтового радона и силой гравитационного лунно-солнечного воздействия на земную кору. Использование этой информации в практических целях представляется необходимым для обеспечения достоверности оценки радоноопасности окружающей среды, одним из критериев которой является уровень концентрации радона в грунтах.

На основании полученных данных представляется возможным рассматривать устойчивые и закономерные проявления вариабельности концентрации радона в грунтах, обусловленные влиянием гравитационного геодинамического фактора, как характеристический параметр геохимического поля радона в грунтах, свойственный, по-видимому, для полей любых газообразных флюидов в земной коре. Особое значение этого результата состоит в том, что он приводит к необходимости объяснения механизма, определяющего движение газообразных флюидов в земной коре и поступление их к земной поверхности. Исследования продолжаются.

#### Список использованных источников

1. Автушко, М. И. Проявление линейных нарушений в концентрациях радона в покровных отложениях на территории Воложинского грабена / М. И. Автушко, А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 1996. – Т. 40, № 6. – С. 92–94.



2. Автушко, М. И. Об источниках радона в поровом воздухе грунтов / М. И. Автушко, В. Э. Ковдерко // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2001. – Т. 45, № 4. – С. 91–93.
3. Автушко, М. И. Концентрация радона в приповерхностных грунтах на территории Солигорского геодинамического полигона (Беларусь) / М. И. Автушко, А. В. Матвеев // Літасфера. – 2010. – № 2 (33). – С. 98–105.
4. Рынский, М. А. О влиянии динамики земной коры на поступление радона к земной поверхности / М. А. Рынский, М. И. Автушко // Літасфера. – 2008. – № 1 (28). – С. 162–165.
5. Автушко, М. И. О содержании ДПР радона в дождевой воде / М. И. Автушко, Л. В. Жукова // АНРИ. – 2007. – № 4. – С. 14–16.
6. Автушко, М. И. Новые данные о поступлении радона в среду обитания человека / М. И. Автушко, А. В. Матвеев, С. А. Исаченко // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 3. – С. 355–360. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2021-65-3-355-360>

## References

1. Autushka M. I., Matveyev A. V., Nechiporenko L. A. Linear disturbances of radon concentrations in the Volozhin graben's mantle deposits. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 1996, vol. 40, no. 6, pp. 92–94 (in Russian).
2. Autushka M. I., Kovderko V. E. On the sources of radon in the air of soil pore spaces. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2001, vol. 45, no. 4, pp. 91–93 (in Russian).
3. Avtushko M. I., Matveyev A. V. Radon concentrations in the near-surface grounds within the Soligorsk geodynamic testing area (Belarus). *Litasfera = Lithosphere*, 2010, no. 2 (33), pp. 98–105 (in Russian).
4. Rynsky M. A., Avtushko M. I. Referring to the influence of the earth crust dynamics on the transport of radon to the ground surface. *Litasfera = Lithosphere*, 2008, no. 1 (28), pp. 162–165 (in Russian).
5. Autushka M. I., Zhukava L. V. On the concentrations of radon and its daughters in rainwater. *ANRI*, 2007, no. 4, pp. 14–16 (in Russian).
6. Autushka M. I., Matveyev A. V., Isachenko S. A. Recent data on radon entry into the human environment. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2021, vol. 65, no. 3, pp. 355–360. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2021-65-3-355-360>

## Информация об авторах

*Матвеев Алексей Васильевич* – академик, д-р геол.-минер. наук, гл. науч. сотрудник. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: [matveyev@nature-nas.by](mailto:matveyev@nature-nas.by).

*Автушко Михаил Иванович* – канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: [awtushka@tut.by](mailto:awtushka@tut.by).

*Исаченко Сергей Александрович* – ст. науч. сотрудник. Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 4, 246007, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: [s.a.isachenko@gmail.com](mailto:s.a.isachenko@gmail.com).

## Information about the authors

*Matveyev Aleksey V.* – Academician, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Chief Researcher. Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoryna Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [matveyev@nature-nas.by](mailto:matveyev@nature-nas.by).

*Autushka Mikhail I.* – Ph. D. (Geology and Mineralogy), Leading Researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyuninsky Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: [awtushka@tut.by](mailto:awtushka@tut.by).

*Isachenko Sergey A.* – Senior Researcher. Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus (4, Fedyuninsky Str., 246007, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: [s.a.isachenko@gmail.com](mailto:s.a.isachenko@gmail.com).