Системы контроля окружающей среды № 2 (56) 2024

https://elibrary.ru/gizfgu

УДК 551. 2

DOI: 10.33075/2220-5861-2024-2-49-56

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВАРИАЦИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАДОНА

М.В. Калашникова

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, РФ, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А.
E-mail: mgovor42@gmail.com

В данной статье рассмотрены основные пространственные вариации геологических факторов среды, которые влияют на результаты измерений уровня объемной активности радона в воздухе жилых помещениях г. Санкт-Петербурга. В рамках исследования был проведен полевой эксперимент на территории г. Санкт-Петербург в 2022-2023 гг. Была построена геоинформационная система по данным среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона и его дочерних продуктов на территории города. Также в рамках исследования был проведен анализ основных геологических факторов города (разлом тектонических плит, тектоническая активность). По итогам анализа были созданы тематические карты территории города. На основе полученных данных рассчитана среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе жилых зданий, показатели вариации, а также эмпирическое корреляционное отношение. По итогам исследования были сделаны выводы о влиянии геологических факторов среды на результаты измерений.

Ключевые слова: радон, геологические факторы, пространственная вариация, природная среда, объемная активность, процентный подход.

Поступила в редакцию: 29.04.2024. После доработки: 27.05.2024. Принята к печати: 27.06.2024.

Введение. Радон является радиоактивным газом, который относится к природным источникам ионизирующего излучения. На природные источники ионизирующего излучения приходится в среднем 3 мЗв/год, при этом 60% от суммы дозы приходится на радон [1].

Для улучшения качества результатов измерений радона в помещениях важно учитывать: временные вариации температуры, пространственные вариации, а также атмосферное давление. Данные факторы напрямую влияют на интенсивность эманации радона из почвы в атмосферный воздух, что в свою очередь влияет на результаты исследования, а именно: на точность и их достоверность.

Цель работы: оценить пространственные вариации геологических факторов среды, влияющие на процесс оценки результатов измерений объемной активности радона в воздухе жилых помещениях г. Санкт-Петербурга.

Основные задачи исследования: анализ геологических факторов среды, полевое исследование, расчёт основных показателей, определение влияния геологических факторов среды на результаты измерений.

Материалы и методы. Данные по уровню эквивалентной объемной активности радона на территории г. Санкт-Петербурга измерены в 2022-2023 гг.

Использовали Global Positioning System для определения широты и долготы для точек измерений ОА радона.

Также для пространственного моделирования применялись геологические карты территории г. Санкт-Петербурга.

Основные методы исследования, которые использовались в данной работе, это: метод пространственного анализа на основе моделирования геоинформационной системы, математическое моделирование, измерения объемной активности радона и его дочерних продуктов на территории г. Санкт-Петербург.

Полученные результаты. При анализе литературных источников выделили два основных геологических фактора среды:

– разломы тектонических плит;

– тектоническая активность.

Территория г. Санкт-Петербурга является геологически неоднородной, это обусловлено расположением города в зоне сочленения двух крупных тектонических структур: Балтийского кристаллического щита и Русской платформы [2].

В зоне сочленения двух тектонических структур наблюдается движение грунта. На рис. 1, б представлены четыре наиболее глубокие погребенные (древние) долины. Первая погребенная (древняя) долина находится на границе Приморского и Выборгского районов, вторая в Василеостровском районе (под рекой «Смоленка»), третья в Московском районе, четвертая погребенная (древняя) долина находится на границе Выборгского и Калининского районов (в районе станции метро площадь Мужества). На рис. 1, а представлены карты разлома тектонических плит г. Санкт-Петербурга.

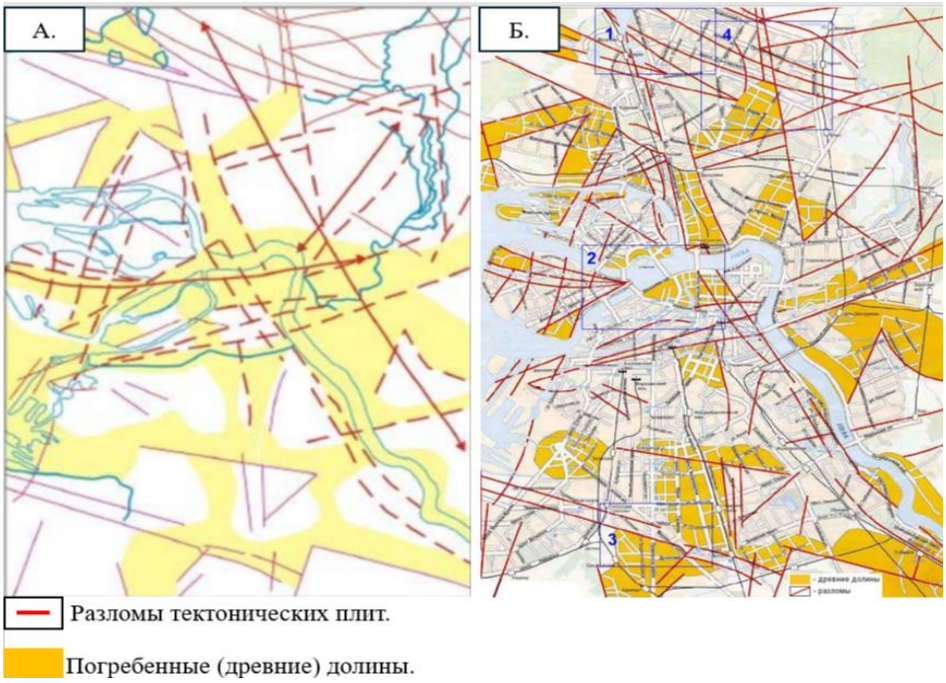

Рис. 1. Карты разломов на территории г. Санкт-Петербурга: (а) карта погребенной (древней) долины и разломов тектонических плит, (б) карта глубокой погребенной (древней) долины и разломов тектонических плит [3]

Fig. 1. Fault maps on the territory of St. Petersburg: (a) is a map of a buried (ancient) valley and tectonic plate faults, (b) is a map of a deep buried (ancient) valley and tectonic plate faults [3]

Для оценки пространственных вариаций геологических факторов среды, влияющих на процесс оценки результатов измерений объемной активности радона в воздухе жилых помещениях г. Санкт-Петербурга, было проведено полевое исследование территории. Исследование проводилось при помощи радиометров РАА-3-01 и АльфаАЭРО.

По результатам исследования были получены 60 измерений уровня объёмной активности радона и его дочерних продуктов.

Для дальнейшего анализа данных было необходимо определить среднегодовую эквивалентную равновесную объемную активность дочерних продуктов радона и торона в воздухе жилых зданий. Для этого использовали формулу (9) из «Методические указания 2.6.1.037–2015» [3]. По результатам расчетов в Яндекс-картах создали геоинформационную систему. При создании геоинформационной системы использовались данные: среднегодовая эквивалентная равновесная объемная актив-

ность (ЭРОА), а также пространственное расположение точек (широта, долгота). В итоге была сформирована ГИС-система, которая представлена на рис. 2, а. На рис. 2, б представлена ГИС-система с сопоставлением точек измерений и разломов тектонических плит.

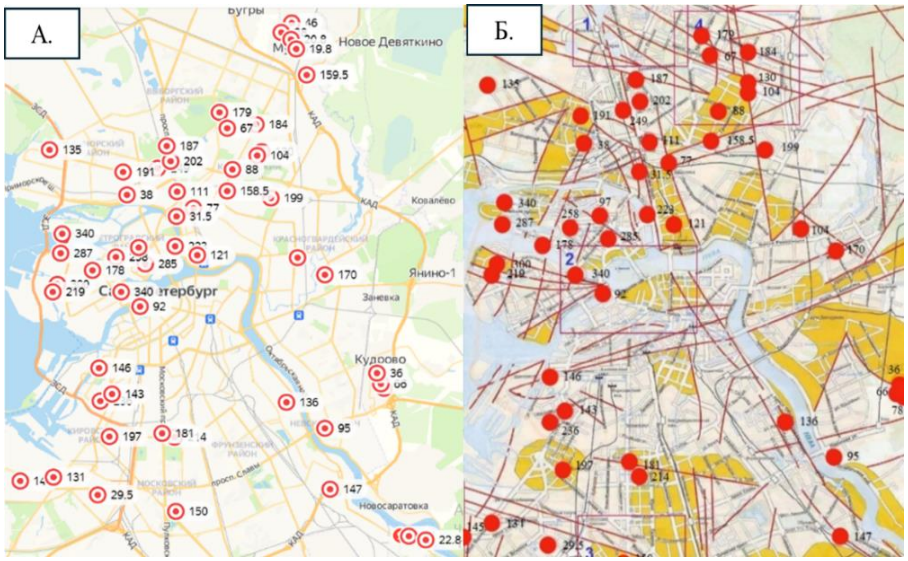

Рис. 2. Геоинформационная система потенциальной радоноопасности г. Санкт-Петербурга (а) в Яндекс-картах, (б) в сопоставлении результатов измерений и разломов тектонических плит
Fig. 2. Geoinformation system of potential radon hazard in St. Petersburg (a) in Jan-dex maps, (b) with comparison of measurement results and fractures of tectonic plates

Также для последующей выборки необходимо сопоставить точки измерений средней эквивалентной равновесной объемной активности со схемой тектонической активности г. Санкт-Петербурга [4]. Результаты представлены на рис. 3.

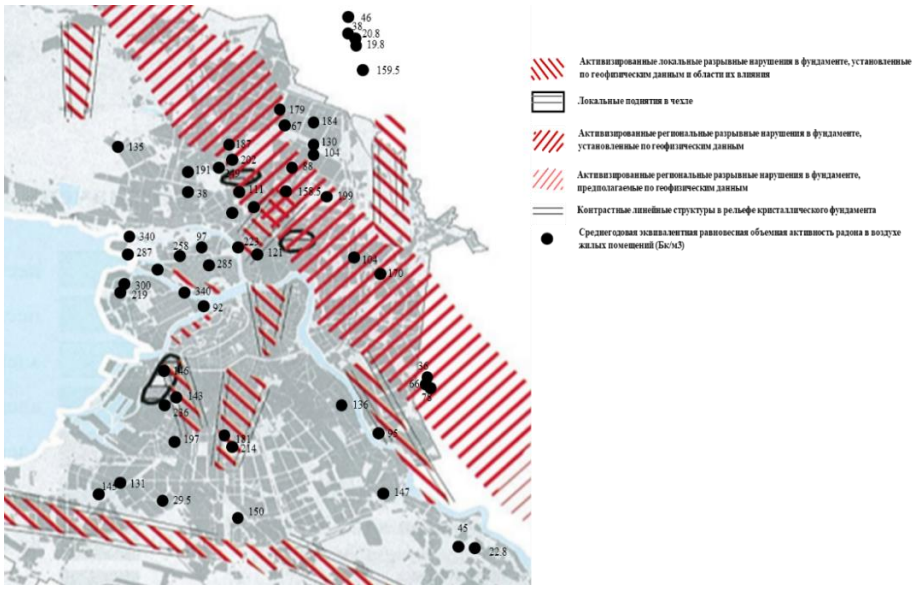

Рис. 3. Схема тектонической активности с сопоставлением точек измерений
Fig. 3. Diagram of tectonic activity with comparison of measurement points

Территория города состоит в основном из метаморфизованных пород гранито-гнейсового состава, глинистых пород с песчаниками и гравелитами, а также ордовикской толщи, представленной песчаниками, сланцами и известняками. Также стоит отметить, что центральная часть города сформирована на антропогенном наносе, он состоит из битого кирпича, камней, известнякового щебня и другого строительного мусора [5]. Разные строительные материалы обладают разной проникающей способностью, поэтому для детального анализа результаты измерений были сгруппированы на группы. На рис. 4 представлены графики по результатам группировки жилых построек по типу дома, эквивалентной равновесной объемной активности, и году постройки.

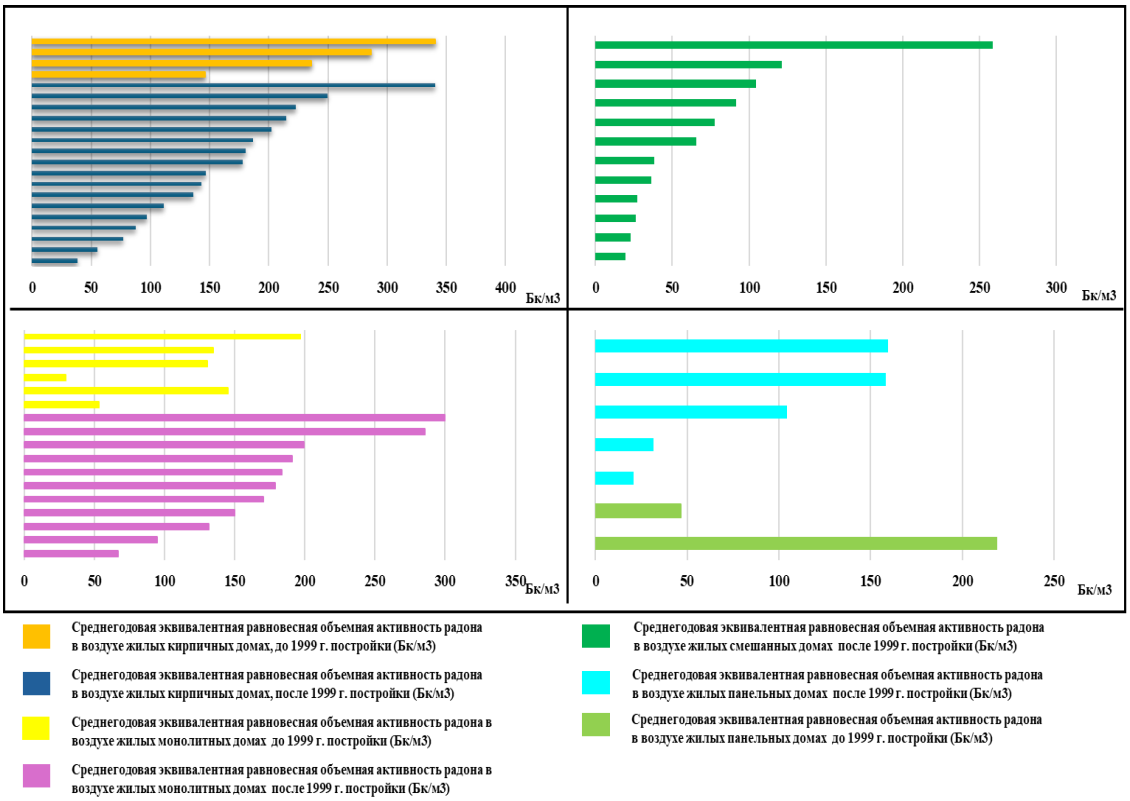

Рис. 4. Графики с результатов измерений отсортированы по типу жилых домов и году постройки
Fig. 4. The graphs from the measurement results are sorted by type of residential buildings and year of construction

Для дальнейшего исследования необходимо определить показатели вариации. Данные показатели отражают устойчивость процессов и явлений, однородность их состава, постоянство структуры [6]. Для определения показателей вариации сгруппировали измерения эквивалентной равновесной объемной активности радона по признакам.

Исходя из процесса группирования, можно выделить 8 групп, для которых необходимо рассчитать показатели вариации:

1 группа – среднегодовая ЭРОА в кирпичных домах, находящихся в зоне тектонической активности;

2 группа – среднегодовая ЭРОА в монолитных домах, находящихся в зонах тектонической активности;

3 группа – среднегодовая ЭРОА в панельных домах, находящихся в зонах тектонической активности;

4 группа – среднегодовая ЭРОА в смешанных домах, находящихся в зонах тектонической активности;

5 группа – среднегодовая ЭРОА в кирпичных домах, находящихся в зоне разломов тектонических плит;

6 группа – среднегодовая ЭРОА в монолитных домах, находящихся в зоне разломов тектонических плит;

7 группа – среднегодовая ЭРОА в панельных домах, находящихся в зоне разломов тектонических плит;

8 группа – среднегодовая ЭРОА в смешанных домах находящихся в зоне разломов тектонических плит;

Для определения влияния пространственных вариаций геологических факторов среды на процесс оценки объемной активности радона в жилых помещениях, рассчитаем следующие показатели вариации. Средняя величина среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности в воздухе

$$\overline{X}=\frac{\sum x_i}{\sum f_i},$$

где $\bar{x}$ – средняя величина среднегодовой ЭРОА в воздухе в Бк/м^3; x_i – среднегодовая ЭРОА Бк/м^3; f_i – частота появления индивидуальных значений признаков.

Размах вариации эквивалентной равновесной объемной активности

$$R = x_{max}\text{-}x_{min},$$

где R – размах вариации эквивалентной равновесной объемной активности; x_{max} – минимальная среднегодовая ЭРОА в Бк/м^3; x_{min} – максимальная среднегодовая ЭРОА в Бк/м^3.

Среднее линейное отклонение

$$d = \frac{\sum |x_i\text{-}\bar{x}| \cdot f_i}{\sum f_i},$$

где d – среднее линейное отклонение; $\bar{x}$ – средняя величина среднегодовой ЭРОА в Бк/м^3; x_i – среднегодовая ЭРОА в Бк/м^3; f_i – частота появления индивидуальных значений признаков.

Дисперсия по генеральной совокупности

$$\sigma^2=\frac{\sum (x_i\text{-}\bar{x})^2 \cdot f_i}{\sum f_i},$$

где σ^2 – дисперсия по генеральной совокупности в Бк/м^3; $\bar{x}$ – средняя величина среднегодовая ЭРОА в Бк/м^3; x_i – среднегодовая ЭРОА в Бк/м^3; f_i – частота появления индивидуальных значений признаков.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_2=\sqrt{\frac{\sum (x_i\text{-}\bar{x})^2 \cdot f_i}{\sum f_i}},$$

где σ_2 – среднее квадратическое отклонение в Бк/м^3; $\bar{x}$ – средняя величина среднегодовой ЭРОА в Бк/м^3; x_i – среднегодовая ЭРОА в Бк/м^3; f_i – частота появления индивидуальных значений признаков.

Коэффициент вариации

$$V_\sigma = \frac{\sigma_2}{\bar{x}} \cdot 100\%,$$

где V_σ – коэффициент вариации; $\bar{x}$ – средняя величина среднегодовая ЭРОА в Бк/м^3; σ_2 – среднее квадратическое отклонение в Бк/м^3. В табл. 1 представлены результаты расчетов.

Для оценки влияния пространственных вариаций геологических факторов среды на среднегодовую ЭРОА определим следующие показатели.

Среднее из внутригрупповых дисперсий

$$\overline{\sigma^2}=\frac{\sum \sigma_i^2}{\sum f_i} \cdot 100\%,$$

где $\overline{\sigma^2}$ – $\bar{x}$в Бк/м^3; σ_i^2 – внутригрупповая дисперсия рассчитывается по j-ой группе в Бк/м^3; f_i – частота появления индивидуальных значений признаков.

Общая дисперсия

$$\sigma_0^2=\overline{\sigma^2}+\delta^2,$$

где σ_0^2 – общая дисперсия в Бк/м^3; $\overline{\sigma^2}$ –среднее из внутригрупповых дисперсий в Бк/м^3; δ^2 – межгрупповая дисперсия в Бк/м^3.

Эмпирическое корреляционное отношение

$$\eta_j = \sqrt{\frac{\delta^2}{\sigma^2}}$$

где η_j – эмпирическое корреляционное отношение в %; δ^2 – межгрупповая дисперсия в Бк/м^3; σ_2 – среднее квадратическое отклонение в Бк/м^3

В табл. 2 представлены результаты расчетов.

Таблица 1. Результаты расчетов всех показателей

Группа	$\bar{x}$	R	d	σ^2	σ_2	V_σ
1	183,7	161	41,7	931,6	50,6	27,5
2	75,2	85	24,2	2561,9	30,5	40,6
3	141,6	130	48,4	2602,2	51	36
4	131,2	54,5	27,2	742,5	27,2	20,8
5	177,6	302	58,4	6228,4	78,9	44,4
6	84,5	15	7,5	56,2	12,5	8,9
7	189,2	233	54	5060,9	71,1	37,6
8	230,8	156,5	56,1	742,5	64,4	27,9

Таблица 2. Результаты расчетов всех показателей

Геологические факторы среды	Групп кол-во	$\bar{x}$				$\bar{x}_{ср}$	σ_i^2
Зона тектонической активности	4	183,7	75,25	141,6	131,2	132,9	1495,6
Зона разломов тектонических плит	4	177,6	84,5	189,25	230,8	170,5	2858,5
σ_0^2	2530,5						
$\overline{\sigma^2}$	2177						
δ^2	353,4						
η_j	14						

Заключение. Размах вариации улавливает крайние отклонения, но не отражает отклонения всех значений признаков в ряду. Среднее линейное значение показывает, насколько индивидуальные значения признаков отклоняются от средней величины. Дисперсия и среднее квадратическое отклонение в данном случае нельзя сравнивать, так как средние значения признаков и индивидуальное значение признаков различны у всех исследуемых групп.

Коэффициент вариации является критериям типичности средней величины, другими словами, ее надежности как характеристики. При высоком коэффициенте вариации (более 33%) средняя величина характеризуется совокупностью признаков, которые значительно варьируются.

Результаты математического моделирования показали, что пространственная вариация геологических факторов среды (разлома тектонических плит и тектонической активности) на 14% влияет на результаты измерений уровня радона в воздухе помещений на территории г. Санкт-Петербурга. Влияния геологических факторов проявляются в исследуемых группах 1, 4 (разломы тектонических плит), группах 6, 8 (тектоническая активность).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р. и др.* Дозы облучения населения Российской Федерации в 2020 г. // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 4. С. 103–113.

2. *Дашко Р.Э., Карпова Я.А.* Проблемы инженерной геологии Приморского района Санкт-Петербурга в связи с перспективами освоения подземного пространства // Записки Горного института. 2013. Т. 206. С. 16–21.

3. *МУ 2.6.1. 037–2015.* Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности: дата введения 2015-05-14 / Федерального медико-биологического агентства. Изд. официальное. М.: Стандартинформ, 2016. 46 с.

4. *Геологический* атлас Санкт-Петербурга / отв. ред. Н.Б. Филиппов; науч. ред. М.А. Спиридонов. СПб.: Комильфо, 2009. 57 с. ISBN 978-5-91339-080-6

5. *Туманов А.Ю., Калашникова М.В.* Повышение качества геоинформационной системы радоноопасности на территории г. Санкт-Петербурга с применением метода интерполяции кригинга // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 8 (146). С. 36–39.

6. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2003. 479 с.

INFLUENCE OF SPATIAL VARIATIONS OF GEOLOGICAL ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE RESULTS OF RADON MEASUREMENTS

M.V. Kalashnikova

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
RF, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya St., 67, lit. A.
E-mail: mgovor42@gmail.com

This article is concerned with the main spatial variations of geological environmental factors that affect the results of measurements of the level of volumetric radon activity in the air of residential buildings in St. Petersburg. As part of the study, a field experiment was conducted on the territory of St. Petersburg in 2022–2023. A geoinformation system was built based on the data of the average annual equivalent equilibrium volume activity of radon and its daughter products in the city. The study also analyzed the main geological factors of the city (tectonic plate fault, tectonic activity). Based on the results of the analysis, thematic maps of the territory of the city were created. Based on the data obtained, the average annual equivalent equilibrium volume activity of radon and thoron daughter products in the air of residential buildings, indicators of variation, as well as an empirical correlation ratio were calculated. Based on the results of the study, conclusions were drawn about the influence of geological environmental factors on the measurement results.

Keywords: radon, geological factors, spatial variation, natural environment, volume activity, percentage approach.

REFERENCES

1. *Barkovsky A.N., Akhmatdinov Ruslan R., and Akhmatdinov Rustam R.* Dozy` oblucheniya naseleniya Rossijskoj Federacii v 2020 g. (Doses to the population of the Russian Federation in 2020). *Radiation hygiene*, 2021, Vol. 14, No. 4, pp. 103–113.

2. *Dashko R.E. and Karpova Ya.A.* Problemy inzhenernoy geologii Primoskogo raiona Sankt-Peterburga v svyazi s perspektivami razvitiya podzemnogo prostranstva (Problems of engineering geology of the Primorsky district of St. Petersburg in connection with the prospects for the development of underground space). *Zapiski Gornogo instituta*, 2013, Vol. 206, pp. 16–21.

3. MU 2.6.1. 037-2015. Opredeleniye srednegodovykh znacheniy EROA izotopov radona v vozdukhe pomeshcheniy po rezul'tatam izmereniy raznoy dlitel'nosti (Determination of the average annual values of the ERO of isotopes of radon in indoor air based on the results of measurements of different durations). Moscow: Standartinform, 2016, 46 p.

4. Geologicheskij atlas Sankt-Peterburga (Geological Atlas of St. Petersburg). St. Petersburg: Komilfo, 2009, 57 p. ISBN 978-5-91339-080-6.

5. *Tumanov A.Yu. and Kalashnikova M.V.* Povyshenie kachestva geoinformatsionnoy sistemy radioopasnosti na territorii Sankt-Peterburga s ispol'zovaniem metoda kriging interpoliatsii (Improving the quality of the geoinformation system of radio hazard in the territory of St. Petersburg using the kriging interpolation method). Nauka i biznes: puti razvitiya, 2023, Vol. 8 (146), pp. 36–39.

6. *Gmurman V.E.* Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika (Probability theory and mathematical statistics). Moscow: Vysshaya shkola, 2003, 479 p.