

П.С. Микляев^{1,2}, Т.Б. Петрова³, А.М. Маренный², Р.А. Текеев⁴,
Н.С. Финьковская⁴, Д.В. Щитов⁵, П.А. Сидякин⁵, М.А. Мурзабеков⁵, Д.Н. Цебро⁵

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РАДОНООПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ г. ЛЕРМОНТОВА (КАВКАЗСКИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ)

¹ Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва

² Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, Москва

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

⁴ Центр гигиены и эпидемиологии № 101, Ставропольский край, Лермонтов

⁵ Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь

Контактное лицо: Петр Сергеевич Микляев, e-mail: peterm7@inbox.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Исследование факторов, определяющих потенциальную радоноопасность территорий и выявление закономерностей ее формирования на территории, вблизи бывшего уранового месторождения, характеризующейся повышенной концентрацией радона в зданиях на примере г. Лермонтова Ставропольского края.

Материал и методы: Измерения плотности потока радона (ППР) выполнялись преимущественно в сухой период методом открытой камеры с активированным углем, применялось оборудование, входящее в измерительный комплекс «Камера-01». Измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения были выполнены с помощью дозиметров гамма-излучения ДКГ-07Д «Дрозд» на высоте 1 м от поверхности земли. Измерения удельной активности естественных радионуклидов в пробах грунта выполнялись на гамма-спектрометрическом комплексе, оснащённом сцинтилляционным детектором NaI(Tl) 63 × 63 мм с программным обеспечением «Прогресс-2000» в геометрии Маринелли 1 л.

Результаты: Значения удельной активности ²²⁶Ra, ²³²Th и ⁴⁰K колеблются в пределах г. Лермонтова в диапазонах (26–180), (19–99) и (220–1041) Бк/кг соответственно. ППР с поверхности грунта изменялось от 25 до 2730 мБк/м²·с. Среднее значение ППР на территории города составило 232 мБк/м²·с, что примерно в 3 раза превышает допустимый уровень для участков строительства жилых зданий. В трех точках были зафиксированы аномально высокие значения ППР, достигающие 2730 мБк/м²·с. Аномальные точки сосредоточены локально и, возможно, связаны с возможной геодинамически активной зоной, протягивающейся между горами Шелудивая и Острая. В условиях высокого и в целом достаточно однородного содержания радия в грунтах г. Лермонтова, ведущим фактором, определяющим вариации плотности потока радона с поверхности, является проницаемость грунтов, которая сильно варьирует в суглинисто-дресвяных осыпных отложениях, слагающих большую часть территории города, в зависимости от степени их уплотнения, увлажнения и, возможно, других факторов. Повышенные значения удельной активности радионуклидов в грунтах, ППР с поверхности грунта, включая выявленные аномалии, а также ЭРОА радона в зданиях города обусловлены природными причинами и не связаны с прошлой деятельностью по добыче и переработке урановых руд.

Ключевые слова: плотность потока радона, удельная активность радионуклидов, места добычи урана, геологические данные, Ставропольский край, Лермонтов

Для цитирования: Микляев П.С., Петрова Т.Б., Маренный А.М., Текеев Р.А., Финьковская Н.С., Щитов Д.В., Сидякин П.А., Мурзабеков М.А., Цебро Д.Н. Потенциальная радоноопасность территории г. Лермонтова (Кавказские Минеральные Воды) // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2026. Т. 71. № 5. С. 45–50. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-5-45-50

P.S. Miklyaev^{1,2}, T.B. Petrova³, A.M. Marennyy², R.A. Tekeev⁴,
N.S. Fenkovskaya⁴, D.V. Shchitov⁵, P.A. Sidiyakin⁵, M.A. Murzabekov⁵, D.N. Tsebro⁵

Potential Radon Hazard of the Territory of Lermontov Town (Caucasian Mineral Waters Region)

¹ E.M. Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Moscow, Russia

² Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene, Moscow, Russia

³ M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

⁴ Lermontov city Center of Hygiene and Epidemiology No. 101, Lermontov, Stavropol Region, Russia

⁵ North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Contact person: P.S. Miklyaev, e-mail: peterm7@inbox.ru

ABSTRACT

Purpose: To study the factors determining the potential radon hazard of territories and to identify patterns of its formation in the territory near the former uranium deposit, characterized by an increased concentration of radon in buildings using the example of Lermontov Town, Stavropol Territory.

Material and methods: Radon flux density (RFD) measurements were carried out mainly during the dry season using the method of an open chamber with activated carbon. The measurements were performed using equipment included in the Camera-01 measuring complex. IED of gamma radiation was measured using gamma radiation dosimeters DKG-07D “Drozd” at a height of 1 meter above the ground. Specific

activity of natural radionuclides in soil samples was measured on a gamma-ray spectrometric complex equipped with a NaI(Tl) scintillation detector of 63 × 63 millimeters with Progress-2000 software, in Marinelli geometry of 1 liter.

Results: The values of specific activity for ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in Lermontov Town vary within the ranges of (26–180) Bq/kg, (19–99) Bq/kg and (220–1041) Bq/kg respectively. The RFD from the soil surface varied from 25 mBq/m²s to 2730 mBq/m²s. The average RFD in the city is 232 mBq/m²s, which is approximately 3 times the permissible level for residential building sites. Abnormal high radiation rates, reaching 2730 mBq/m²s, were recorded at three locations. These anomalous points are locally concentrated and may be associated with a possible geodynamically active zone that can be traced between the Cheludivaya and Ostroya Mountains. In the Lermontov Town, where a high and fairly uniform radium content in its soils, the main factor determining variations in radon flux density from the surface is soil permeability. This permeability varies greatly in the loamy-sedimentary deposits that make up most of the city's area, depending on factors such as the degree of compaction, moisture content, and possibly other variables. The increased values of the specific activity of radionuclides in the soil, radon flux density from the soil surface, including the detected anomalies, as well as indoor radon concentration are due to natural causes and are not related to past activities in the extraction and processing of uranium ores.

Keywords: radon flux density, soil content of radionuclides, uranium mining sites, geological data

For citation: Miklyaev PS, Petrova TB, Marennyy AM, Tekeev RA, Fenkovskaya NS, Shchitov DV, Sidyakin PA, Murzabekov MA, Tsebro DN. Potential Radon Hazard of the Territory of Lermontov Town (Caucasian Mineral Waters Region). Medical Radiology and Radiation Safety. 2026;71(5):45–50. DOI:10.33266/1024-6177-2026-71-5-45-50

Введение

Радон (^{222}Rn) – природный радиоактивный инертный газ, образующийся в цепочке распада урана-238. Образуюсь в горных породах и почвах при распаде содержащегося в них радия, ^{222}Rn поступает в поры и трещины преимущественно за счет эффекта радиоактивной отдачи и способен мигрировать как в газовой фазе, так и растворенным в воде. Радон может поступать из геологической среды в жилища и накапливаться там в опасных для здоровья человека концентрациях.

Исследователи во всем мире уделяют большое внимание проблеме облучения населения радоном, во многих странах выделены области, где дозы облучения населения за счет вдыхания радона существенно превышают допустимые ограничения [1–2]. По данным Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР ООН), суммарная годовая эффективная доза облучения населения от вдыхания газа ^{222}Rn и его ДПР обычно составляет более половины эффективной годовой дозы, получаемой населением от всех природных источников ионизирующего излучения [1]. В 2009 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) признала облучение ^{222}Rn второй по значимости причиной возникновения рака легких после курения [3]. Требованиями Европейских стандартов безопасности предписывается выявление и оконтуривание областей, где ожидается, что содержание радона в большом количестве зданий превышает национальные допустимые уровни [4]. В России четкие нормативные требования по оконтуриванию радоноопасных областей отсутствуют, однако в разных регионах России также известны территории, где концентрация ^{222}Rn в помещениях превышает в десятки раз допустимые значения, а доза облучения населения за счет радона существенно выше средней по стране [5–8]. Такие территории зафиксированы на Северном Кавказе, Урале, Алтае, в Забайкалье, [8], в том числе, вблизи уранодобывающих объектов, где радон, по-видимому, является основным фактором радиационного воздействия на персонал и население [9].

В большинстве случаев основным источником поступления радона в помещения считаются грунты, залегающие под зданием. В районах, сложенных грунтами с повышенным содержанием радионуклидов уранового ряда, часто фиксируются повышенные значения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в зданиях. Прямым признаком потенциальной радоноопасности территорий являются повышенные значения плотности потока радона с поверхности грун-

та. Согласно ОСПОРБ-99/2010, для строительства новых зданий должны выбираться участки, где плотность потока радона (ППР) с поверхности грунта не превышает 80 мБк/(м²с) для жилых и общественных зданий и 250 мБк/(м²с) для зданий производственного назначения. При более высоких значениях ППР в проекте требуется предусматривать систему радонозащитных мероприятий. В настоящее время во всем мире активно изучаются вопросы методологии оценки и картирования потенциальной радоноопасности территорий, обусловленной геологическими причинами (повышенным выделением радона из грунтов) для превентивного выявления зон, где наиболее вероятно превышение допустимой концентрации радона в домах [10, 11]. В этой связи представляет интерес анализ факторов потенциальной радоноопасности (содержания ^{226}Ra в грунтах и плотности потока радона с поверхности грунта) на территориях, характеризующихся повышенными значениями ЭРОА радона в зданиях.

В данной работе представлены результаты исследования потенциальной радоноопасности территории города Лермонтова Ставропольского края (регион Кавказские Минеральные Воды), расположенного вблизи выведенного из эксплуатации уранодобывающего объекта. В работе проведены обобщение и анализ результатов измерений плотности потока радона с поверхности грунта и удельной активности естественных радионуклидов в грунтах на территории города, полученных авторами ранее.

Цель работы – исследование факторов, определяющих потенциальную радоноопасность территорий и выявление закономерностей ее формирования на территории вблизи бывшего уранового месторождения, характеризующейся повышенной концентрацией радона в зданиях.

Объект и методы исследования

Объект исследований

Территория жилой зоны г. Лермонтов расположена в пределах нижней, пьедестальной части западного склона горного массива Бештау, представляющей собой холмистое плато, постепенно понижающееся в западном направлении от горы Бештау и характеризующееся абсолютными отметками 765–780 м на востоке и 630–680 м в западной части. Западная окраина жилой зоны города, переходящая в городскую промзону, расположена в пределах тыловой части террасового комплекса р. Подкумок (фрагменты IV террасы). С юга возвышается гора Шелудивая. В период с 1950 по 1980 гг. юго-восточнее

города в недрах горы Бештау функционировал урановый рудник, а в городе – завод, осуществляющий первичную переработку урановых руд [12].

Согласно Государственной геологической карте масштаба 1:200 000 в геологическом отношении территория города сложена четвертичными и палеогеновыми осадочными отложениями [13, 14]. Основная часть жилой зоны с поверхности покрыта осыпью с гор Бештау и Шелудивая – слоем суглинков и дресвы с щебнем и обломками магматических пород (бештаунитов). Мощность осыпных отложений изменяется от 0,5 м на склонах Бештау до 3,5 м и более в центральной и западной части города. На северной и северо-западной окраинах осыпные отложения сменяются делювиальными суглинками и супесями с дресвой, местами загипсованными, мощностью до 20 м. На западном краю жилой зоны, в районе железнодорожной ветки местами развиты аллювиальные галечники с простоями песка (IV надпойменная терраса), мощностью до 2 м. Локальные фрагменты аллювия также фрагментарно встречаются в небольших логах в других частях города. Четвертичные отложения подстилаются горными породами палеогенового возраста: в восточной части города глинами майкопской серии, которые на склонах горы Бештау вскрываются в котлованах и траншеях, а в западной части города (западнее Лермонтовского проспекта) – мергелями с прослоями известняков. Согласно [14], на территории города отсутствуют установленные или предполагаемые разломы земной коры. Вместе с тем, через город проходит линия ЮЗ-СВ простираения, образуемой горами Шелудивая – Острая – Медовая – Развалка, представляющих собой дайкообразные тела, вытянутые в том же направлении [15]. Эта линия, очевидно, является единой магмопроводящей трещиной вдоль которой возможно существование геодинамически активной зоны. Кроме того, в юго-восточной части города, на склонах Бештау по результатам дешифрирования дистанционных материалов выделены кольцевые структурные элементы, которые могут быть связаны с системой кольцевых трещин, сформировавшихся вокруг массива Бештау [15].

По характеру застройки жилую часть города Лермонтов условно можно разделить на три района – центральный, восточный и южный (дачные массивы). Центральная часть города с 2–4 этажной застройкой 1950–1960 гг., расположена в низине у подножия гор Бештау и Шелудивая. Восточная часть, расположенная на склоне г. Бештау, застроена многоэтажными домами 1970–1980 гг., а также в верхней части современными коттеджами и таунхаусами. На южной окраине, между горами Бештау и Шелудивая расположены дачные участки, также в настоящее время входящие в черту города.

Город Лермонтов известен повышенной концентрацией радона в зданиях. По данным предыдущих исследований, ЭРОА радона в среднем по городу составляет 240 Бк/м³, а для частного сектора достигает 403 Бк/м³ [12, 16, 17]. Допустимый уровень ЭРОА радона 200 Бк/м³ превышен в 50% помещений, в 10–15% случаев среднегодовые значения ЭРОА радона превышают 400 Бк/м³, достигая 600–800 Бк/м³ [12]. По результатам непрерывного мониторинга радона в отдельных помещениях текущие «мгновенные» значения объемной активности радона в некоторые интервалы времени достигали 10 тыс. Бк/м³ [18]. Согласно полученным нами ранее предварительным результатам, на территории четырех дошкольных учреждений города были зафиксированы высокие значения ППР, которые в среднем по участкам (10–35 точек измерений), составляли 152–277 мБк/м²с, удельная активность радия-226 в грунтах колебалась в

диапазоне 55–176 Бк/кг [18]. В окрестностях города на склонах горы Бештау радиационная обстановка характеризуется высоким содержанием радионуклидов уранового ряда в почвах и горных породах, повышенными значениями мощности дозы гамма-излучения и уровней радона [19, 20]. На Бештау были выявлены локальные мощные радоновые аномалии, связанные с конвективной циркуляцией газов в горном массиве [20]. Таким образом, рассматриваемая территория является радоноопасной, что делает актуальным проведение детальных исследований закономерностей выделения радона из грунтов на территории жилой зоны г. Лермонтова.

Методы исследования

В ходе проведения исследований прежде всего было изучено геологическое строение территории, а также проведены измерения радиационных показателей – мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения на высоте 1 м от поверхности, плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта, а также удельной активности ²²⁶Ra, ²³²Th и ⁴⁰K в грунтах. Измерения радиационных параметров были выполнены по относительно равномерной сетке. В большинстве случаев в каждой точке проводилось по одному измерению ППР и МАЭД, в некоторых дополнительно отбиралось по одной пробе для определения удельной активности радионуклидов в грунтах. В некоторых случаях были обследованы участки, площадью от 0,3 до 1,5 га, на которых было выполнено от 8 до 36 измерений ППР и МАЭД и отобрано от 2 до 5 проб грунта. Пробы почвы отбирались с глубины 0,2–0,3 м под гумусовым слоем. Опробование коренных дочетвертичных пород и четвертичных обвално-осыпных отложений проводилось в местах их естественных обнажений, а также в котлованах и выемках. Часть измерений были выполнены нами ранее, в 2016–2018 гг. В настоящей работе были проведены дополнительные измерения радиационных параметров на территории г. Лермонтова, а также обобщение и анализ результатов измерений.

Измерения МАЭД гамма-излучения были выполнены с помощью дозиметра гамма-излучения «Дрозд» ДКГ-07 на высоте 0,1 м от поверхности почвы. Диапазон измерений МАЭД ГИ: (0,1–1000) мкЗв/ч; погрешность: (15–30) %.

Измерение ППР проводили с использованием измерительного комплекса для мониторинга радона «Камера01». Накопительные камеры устанавливались на поверхность грунта в специально подготовленные лунки, время выдержки накопительных камер составляло от 4 до 6 часов. Измерения активности радона в угле выполнялись с применением бета-радиометра, входящего в комплект измерительного оборудования комплекса «Камера01». Диапазон измерений ППР за 1–10 ч: (3–100000) мБк/(м²·с); Общая неопределенность результата измерения ППР составляет не более 40%.

Измерение удельной активности естественных радионуклидов (²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K) в почвах и грунтах проводили гамма-спектрометрическим методом. Пробы грунта отбирались преимущественно с глубины 0,2–0,3 м, часть проб в пределах обследованных участков были отобраны из скважин, пройденных ручным буром, глубиной 0,8–1,2 м. Некоторые пробы были отобраны из строительных котлованов и траншей, расположенных рядом с точками измерений. Определение удельной активности радионуклидов проводилось на гамма-спектрометрическом комплексе, оснащённом сцинтилляционным детектором NaI(Tl) с программным обеспечением «Прогресс». Часть измерений проводилось на высокоточном

гамма-спектрометре Dspec jr, оснащенный полупроводниковым детектором на основе сверхчистого германия (ORTEC). Погрешность измерения удельной активности естественных радионуклидов составляет 15–30 %. Измерения проводили в дезаминированных пробах, без выдерживания проб в герметично закрытых контейнерах в течение двух недель. Учет эманирования при определении удельной активности радия в пробах производили расчетным путем с использованием значения коэффициента эманирования грунтов, равного 0,25.

В результате проведенных исследований вся территория города была охвачена достаточно равномерной сетью точек опробования (рис. 1), достаточной для того, чтобы охарактеризовать естественную радиоактивность грунтов и почв и плотность потока радона с поверхности грунта в жилой зоне г. Лермонтова.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований приведены на рис. 1 и в табл. 1. Как видно из приведенных материалов, на исследуемой территории фиксируется относительно высокая удельная активность ^{226}Ra в грунтах, колеблющаяся в пределах от 26 до 180 Бк/кг. Наиболее высокие значения удельной активности радия (160–180 Бк/кг) характерны для майкопских глин, залегающих в восточной части города под относительно маломощным покровом рыхлых осыпных отложений и обнажающиеся в строительных котлованах и траншеях. Осыпные суглинки и дресва с щебнем и обломками бештаунитов, покрывающие большую часть территории города, характеризуются удельной активностью ^{226}Ra , колеблющейся в диапазоне 50–138 Бк/кг. Минимальные значения удельной активности

радия (25–55 Бк/кг) зарегистрированы в аллювиальных отложениях, а также в сильно измененных техногенезом почвах – урбаноземах, местами распространенных на территории города.

Таблица 1

Распределение значений мощности дозы гамма-излучения, плотности потока радона с поверхности грунта и удельной активности естественных радионуклидов в грунтах на территории г. Лермонтова

Distribution of gamma dose rate, radon flux density from the soil surface, and specific activity of natural radionuclides in the soil in the territory of Lermontov Town

Измеряемый показатель	Кол-во измерений / проб	Среднее арифметическое	Среднее геометрическое	Медиана	Стандартное отклонение	Диапазон
МАЭД ГИ, мкЗв/ч	148	0,20	0,20	0,21	0,04	0,13–0,28
ППР, мБк/м ² с	190	232	169	175	253	25–2730
Удельная активность радионуклидов, Бк/кг	^{226}Ra	81	74	78	33	25–180
	^{232}Th	54	50	45	22	19–99
	^{40}K	572	546	575	169	220–1041

Территория города характеризуется высокими значениями плотности потока радона с поверхности грунта. Среднее значение ППР на территории города примерно в 3 раза превышает допустимый уровень для жилых зданий – 80 мБк/м²с. Этот уровень превышен в 80 % частных точек измерения, а в 30 % точек превышен уровень 250 мБк/м²с. На большей части территории города ППР варьирует в диапазоне 39–725 мБк/м²с, что укладывается в интервал «2 сигма» (36–810 мБк/м²с). Зафиксировано всего 5 точек, в которых ППР была ниже этого диапазона, все они расположены на сильно уплотненных почти непроницаемых городских почвах – урбаноземах, характеризующихся низким содержанием радия. В центральной части города (ул. Решетника), в трех точках были зафиксированы аномально высокие значения ППР, превышающие верхнюю границу интервала «2 сигма»: 925, 1330 и 2730 мБк/м²с. Точка, в которой было зафиксировано максимальное значение ППР, расположена во дворе здания, на небольшом участке открытого грунта, окруженного со всех сторон асфальтом, что, возможно, и спровоцировало концентрированную разгрузку радона. Вместе с тем, все три аномальные точки сосредоточены локально, (две первые точки расположены в 10–12 м друг от друга, а третья в 200 м от них), что может свидетельствовать об неслучайном характере высоких значений ППР на этом участке. Удельная активность ^{226}Ra в грунтах вблизи аномальных точек составляет 43–110 Бк/кг, что не может обеспечить столь высокие аномальные значения ППР. Возможно, аномалии ППР связаны с локальным разуплотнением грунта, т.к. данная территория находится на упомянутой выше линии между горами Шелудивая и Острогорка, которая, возможно, трассирует геодинамически активную зону.

На западной окраине города плотность потока радона в целом ниже, что связано с распространением здесь аллювиальных отложений с относительно низким содержанием радия и режимом повышенного увлажнения.

В целом, на территории города отсутствует значимая корреляция между значениями ППР с поверхности грунта и удельной активностью ^{226}Ra в почвах и грунтах (рис. 2).

Как видно из рис. 2, относительно низкие значения ППР встречаются в местах с относительно высо-

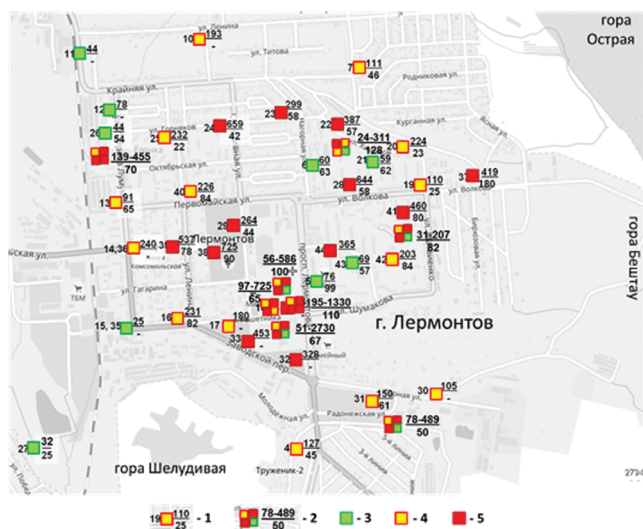


Рис. 1. Результаты измерений показателей потенциальной радоноопасности на территории г. Лермонтова. Условные обозначения: 1) отдельная точка измерения ППР и отбора проб грунта, цифра справа – ее номер, цифры слева – значение ППР (мБк/м²с) (в числителе) и удельной активности ^{226}Ra (Бк/кг) (в знаменателе); 2) участок измерения ППР и отбора проб грунта, цифры в числителе – диапазон значений ППР (мБк/м²с), в знаменателе – удельной активности ^{226}Ra (Бк/кг); 3) ППР менее 80 мБк/м²с; 4) ППР от 80 до 250 мБк/м²с; 5) ППР более 250 мБк/м²с

Fig. 1. The potential radon hazard indicators in the territory of the city of Lermontov. Symbols: 1) a point for RFD measuring and soil sampling, the number on the right is its number, the numbers on the left are the value of RFD [mBq/m²s] (in the numerator) and the specific activity of ^{226}Ra (Bq/kg) (in the denominator); 2) the site for RFD measuring and soil sampling, the numbers in the numerator are the range of the values of RFD (mBq/m²s), in the denominator – the specific activity of ^{226}Ra (Bq/kg); 3) RFD less than 80 mBq/m²s; 4) RFD from 80 to 250 mBq/m²s; 5) RFD more than 250 mBq/m²s

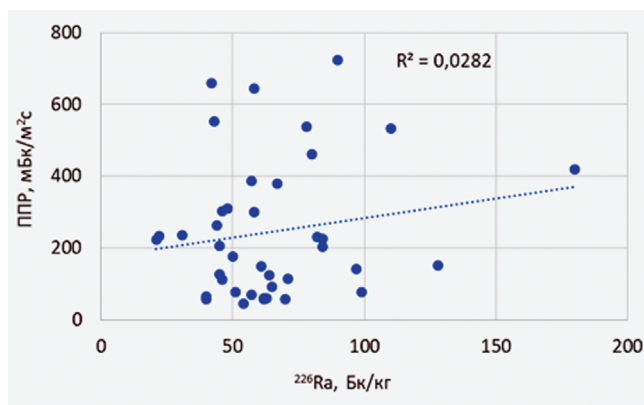


Рис. 2. Зависимость ППР с поверхности грунта от удельной активности ^{226}Ra в грунтах

Fig. 2. Dependence of the RFD from the soil surface on the specific activity of ^{226}Ra in the soil

кой удельной активностью радия в грунтах, что, по-видимому, связано с низкой проницаемостью грунтов в таких точках. И, наоборот, в некоторых точках регистрируются относительно высокие значения ППР при низком содержании радия в поверхностном слое почвы, что в свою очередь объясняется проникновением радона из подстилающих почвообразующих грунтов, которые характеризуются более высоким содержанием ^{226}Ra по сравнению с верхним слоем урбаноземов. То есть, в условиях высокого и в целом достаточно однородного содержания радия в грунтах города, не смотря на различный тип горных пород, ведущим фактором, определяющим вариации ППР является проницаемость грунтов, которая сильно варьирует в суглинисто-дресвяных

осыпных отложениях, слагающих большую часть территории города, в зависимости от степени их уплотнения, увлажнения и, возможно, других факторов.

Закключение

Полученные данные позволяют сделать вывод, что вся территория жилой зоны города Лермонтова является потенциально радоноопасной: на исследуемой территории регистрируются повышенные значения ППР с поверхности грунта (в среднем 232 мБк/м²с), существенно превышающие допустимые уровни, что обусловлено широким распространением почти на всей территории города покрова осыпных отложений, представленных суглинками и дресвой с включениями обломков бештаунитов, характеризующихся высокой удельной активностью ^{226}Ra в сочетании с относительно высокой проницаемостью, связанной с низкой уплотненностью осыпных отложений. В восточной части города, где мощность осыпных отложений невелика, радоноопасность определяется подстилающими майкопскими глинами, также характеризующимися высокой концентрацией радия. В центральной части города в трех отдельных близко расположенных точках выявлены радоновые аномалии, где значения ППР достигают 2730 мБк/м²с. Вариабельность значений ППР, включая выявленные аномалии, обусловлена, прежде всего, неоднородностью проницаемости грунтов в связи с их неравномерным уплотнением и увлажнением.

Повышенные значения удельной активности радионуклидов в грунтах, ППР с поверхности грунта, включая выявленные аномалии, а также ЭРОА радона в зданиях города обусловлены природными причинами и не связаны с прошлой деятельностью по добыче и переработке урановых руд.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2020/2021 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume III – Scientific Annex C. New York: United Nations Publications, 2022. 242 p.
2. ICRP Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115 // Ann. ICRP. 2010.V.40. No.1. 64 p.
3. WHO Handbook on Indoor Radon, WHO Handbook on Indoor Radon: a Public Health Perspective/Edited by Hajo Zeeb and Ferid Shannoun. Geneva: WHO Press, 2009. 94 p. Doi: 10.1080/00207230903556771.
4. European Council Directive 2013/59/Euratom on Basic Safety Standards for Protection against the Dangers Arising from Exposure to Ionising Radiation and Repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43 Euratom and 2003/122/Euratom // Official Journal of the European Union. 2014. V.L13. No.57. P. 1-73. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:EN:PDF> (Date of access: 15.10.2025).
5. Ярмошенко И.В. Радон как фактор облучения населения России // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. №2. С. 108-116.
6. Киселев С.М. и др. Радон: от фундаментальных исследований к практике регулирования. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2016. 432 с.
7. Васильев А.С., Романович И.К., Кормановская Т.А. и др. Сравнительная оценка доз облучения и радиационных рисков у обучающихся и сотрудников некоторых детских учреждений Ленинградской области в зависимости от методов и подходов к измерению содержания радона в воздухе помещений // Радиационная гигиена. 2022. Т.15. №2. С. 6-18.
8. Киселев С.М., Статат И.П., Маренный А.М., Ильин Л.А. Обеспечение защиты населения от облучения радоном. Проблемы и пути решения // Гигиена и санитария. 2018. Т.97. №2. С. 101-110. Doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-2-101-110.
9. Шандала Н.К., Киселев С.М., Тутов А.В. Научно-практический опыт надзорной деятельности в области обеспечения защиты населения и окружающей среды на объектах ядерного наследия России // Радиационная гигиена. 2019. Т.12. №2 (Спецвыпуск). С. 83-96.
10. Bossew P., Cinelli G., Ciotoli G., Crowley Q.G., De Cort M., Ello Medina J., Gruber V., Petermann E., Tollefsen T. Development of a Geogenic Radon Hazard Index - Concept, History, Experiences // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. V.17. No.11. P. 4134. Doi: 10.3390/ijerph17114134.
11. Benà E., Ciotoli G., Petermann E., Bossew P., Ruggiero L., Verdi L., Sassi R. A New Perspective in Radon Risk Assessment: Mapping the Geological Hazard as a First Step to Define the Collective Radon Risk Exposure // Science of the Total Environment. 2024. No.912. P. 169569. Doi: 10.1016/J.Scitotenv.2023.169569.
12. Петоян И.М., Шандала Н.К., Тутов А.В., Зиновьева Н.В. Заболеваемость взрослого населения, проживающего в районе «уранового наследия» в условиях воздействия радона // Гигиена и санитария. 2022. Т.101. №3. С. 281-287.
13. Карта четвертичных отложений: L-38-XXXI (Черкесск) / Под ред. Ростовцева К.О., Рудянова И.Ф. СПб.: Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П.Карпинского, 2004.
14. Карта дочетвертичных образований: L-38-XXXI (Черкесск). / Под ред. Ростовцева К.О., Рудянова И.Ф. СПб.: Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, 2004.
15. Годзевич Б.Л. Геологическое строение и история развития гор Пятигорья // Вестник Ставропольского государственного университета. 2002. №31. С. 110-120.
16. Пахолкина О.А., Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., Лежнин В.Л., Вереико С.П. Исследование связи рака легкого с профессионально-бытовым облучением радоном в городе Лермонтов по принципу случай-контроль // Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т.51. №6. С. 705-710.

17. Маренный А.М., Романов В.В., Астафуров В.Т., Губин А.Т., Киселев С.М., Неведов Н.А. и др. Проведение обследований зданий различного назначения на содержание радона на территориях обслуживаемых ФМБА России // Радиационная гигиена. 2015. №8. Т.1. С. 23-29.
18. Микляев П.С., Петрова Т.Б., Сидякин П.А., Маренный А.М., Текеев Р.А., Цапалов А.А., Щитов Д.В., Цебро Д.Н., Мурзабеков М.А., Карл Л.Э., Гаврильев С.Г. Формирование радоновой обстановки в зданиях образовательных учреждений г. Лермонтова // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т.70. №2. С. 40–48. Doi:10.33266/1024-6177-2025-70-2-40-48.
19. Бельских Ю.С., Титов А.В., Шандала Н.К., Исаев Д.В., Семенова М.П., Дороньева Т.А., Серегин В.А., Кроткова Ю.В., Филонова А.А. Радиологические угрозы на территории рудника № 1 Лермонтовского производственного объединения «Алмаз» // Гигиена и санитария. 2025. Т.104. №1. С. 6-12. Doi: 10.47470/0016-9900-2025-104-1-6-12.
20. Микляев П.С., Петрова Т.Б., Клишин А.В., Маренный А.М., Текеев Р.А., Финьковская Н.С., Щитов Д.В., Сидякин П.А., Мурзабеков М.А., Цебро Д.Н. Радиационная обстановка в районе горного массива Бештау // Бюллетень национального радиационно-эпидемиологического регистра «Радиация и риск». 2024. Т.33. №2. С. 65-78.

REFERENCES

1. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2020/2021 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume III – Scientific Annex C. New York, United Nations Publications, 2022. 242 p.
2. ICRP Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. Ann. ICRP. 2010;40;1:64.
3. WHO Handbook on Indoor Radon, WHO Handbook on Indoor Radon: a Public Health Perspective/Edited by Hajo Zeeb and Ferid Shannoun. Geneva, WHO Press, 2009. 94 p. Doi: 10.1080/00207230903556771.
4. European Council Directive 2013/59/Euratom on Basic Safety Standards for Protection against the Dangers Arising from Exposure to Ionising Radiation and Repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43 Euratom and 2003/122/Euratom. Official Journal of the European Union. 2014;L13;57:1-73. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:EN:PDF> (Date of access: 15.10.2025).
5. Yarmoshenko I.V. Radon as a Factor in Irradiation of the Population of Russia. *Biosfernaya Sovmestimost': Chelovek, Region, Tekhnologii* = Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2017;2:108-116 (In Russ.).
6. Kiselev S.M., et al. *Radon: ot Fundamental'nykh Issledovaniy k Praktike Regulirovaniya* = Radon: From Fundamental Research to Regulation Practice. Moscow, FMBTS im. AI Burnazyana FMBA Rossii Publ., 2016. 432 p. (In Russ.).
7. Vasil'yev A.S., Romanovich I.K., Kormanovskaya T.A., et al. Comparative Assessment of Radiation Doses and Radiation Risks in Students and Employees of Some Children's Institutions in the Leningrad Region Depending on the Methods and Approaches to Measuring Radon Content in Indoor Air. *Radiatsionnaya Gigiyena* = Radiation Hygiene. 2022;15;2:6-18 (In Russ.).
8. Kiselev S.M., Stamat I.P., Marennyy A.M., Il'in L.A. Ensuring the Protection of the Population from Radon Exposure. Problems and Solutions. *Gigiyena i Sanitariya* = Hygiene and Sanitation. 2018;97;2:101-110 (In Russ.). Doi: 10.18821/0016-9900-2018-97-2-101-110.
9. Shandala N.K., Kiselev S.M., Titov A.V. Scientific and Practical Experience of Supervisory Activities in the Field of Ensuring the Protection of the Population and the Environment at Nuclear Legacy Sites in Russia. *Radiatsionnaya Gigiyena* = Radiation Hygiene. 2019;12;2 Special Issue:83-96 (In Russ.).
10. Bossew P., Cinelli G., Ciotoli G., Crowley Q.G., De Cort M., Elío Medina J., Gruber V., Petermann E., Tollefsen T. Development of a Geogenic Radon Hazard Index - Concept, History, Experiences. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17;11:4134. Doi: 10.3390/ijerph17114134.
11. Benà E., Ciotoli G., Petermann E., Bossew P., Ruggiero L., Verdi L., Sassi R. A New Perspective in Radon Risk Assessment: Mapping the Geological Hazard as a First Step to Define the Collective Radon Risk Exposure. *Science of the Total Environment*. 2024;912:169569. Doi: 10.1016/J.Scitotenv.2023.169569.
12. Petoian I.M., Shandala N.K., Titov A.V., Zinov'yeva N.V. Morbidity of the Adult Population Living in the "Uranium Legacy" Area under Conditions of Radon Exposure. *Gigiyena i Sanitariya* = Hygiene and Sanitation. 2022;101;3:281-287 (In Russ.).
13. *Karta Chetvertichnykh Otlozheniy: L-38-XXXI (Cherkessk)* = Map of Quaternary deposits: L-38-XXXI (Cherkessk). Ed. Rostovtsev K.O., Rudyanov I.F. St. Petersburg, Vserossiyskiy Nauchno-Issledovatel'skiy Geologicheskii Institut im. A.P. Karpinskogo Publ., 2004 (In Russ.).
14. *Karta Dochetvertichnykh Obrazovaniy: L-38-XXXI (Cherkessk)* = Map of pre-Quaternary formations: L-38-XXXI (Cherkessk). Ed. Rostovtsev K.O., Rudyanov I.F. St. Petersburg, Vserossiyskiy Nauchno-Issledovatel'skiy Geologicheskii Institut im. A.P. Karpinskogo Publ., 2004 (In Russ.).
15. Godzevich B.L. Geological Structure and History of the Pyatigorsk Mountains. *Vestnik Stavropol'skogo Gosudarstvennogo Universiteta* = Bulletin of the Stavropol State University. 2002;31:110-120 (In Russ.).
16. Pakholkina O.A., Zhukovskiy M.V., Yarmoshenko I.V., Lezhnin V.L., Vereyko S.P. A Case-Control Study of the Relationship between Lung Cancer and Occupational and Household Radon Exposure in the City of Lermontov. *Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya* = Radiation Biology. Radioecology. 2011;51;6:705-710 (In Russ.).
17. Marennyy A.M., Romanov V.V., Astafurov V.T., Gubin A.T., Kiselev S.M., Nefedov N.A., et al. Surveys of buildings for various purposes for radon content in the areas served by the Federal Medical and Biological Agency of Russia. *Radiatsionnaya Gigiyena* = Radiation Hygiene. 2015;8;1:23-29 (In Russ.).
18. Miklyayev P.S., Petrova T.B., Sidiyakin P.A., Marennyy A.M., Tekeyev R.A., Tsapalov A.A., Shchitov D.V., Tsebro D.N., Murzabekov M.A., Karl L.E., Gavril'yev S.G. Formation of Radon Conditions in the Buildings of Educational Institutions in Lermontov. *Meditinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70;2:40-48 (In Russ.). Doi:10.33266/1024-6177-2025-70-2-40-48.
19. Bel'skikh Yu.S., Titov A.V., Shandala N.K., Isayev D.V., Semenova M.P., Doron'yeva T.A., Seregin V.A., Krotkova Yu.V., Filonova A.A. Radiological Threats on the Territory of Mine No.1 of the Lermontov Production Association "Almaz". *Gigiyena i Sanitariya* = Hygiene and Sanitation. 2025;104;1:6-12 (In Russ.). Doi: 10.47470/0016-9900-2025-104-1-6-12.
20. Miklyayev P.S., Petrova T.B., Klimshin A.V., Marennyy A.M., Tekeyev R.A., Fin'kovskaya N.S., Shchitov D.V., Sidiyakin P.A., Murzabekov M.A., Tsebro D.N. Radiation Situation in the Beshtau Mountain Range. *Byulleten' Natsional'nogo Radiatsionno-Epidemiologicheskogo Registra Radiatsiya i Risk* = Radiation and Risk. 2024;33;2:65-78 (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда грант № 24-17-00217.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.04.2026. **Принята к публикации:** 25.05.2026.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 24-17-00217.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.04.2026. **Accepted for publication:** 25.05.2026.