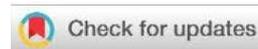


УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.264>

Пространственное распределение ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах г. Мончегорска (Мурманская область)

© 2024 С. А. Иглоvский , А. В. Баженов , Е. Ю. Яковлев 

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика РАН Н.П. Лавёрова
УрО РАН, Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, 163000, Россия. E-mail: iglovskys@mail.ru

Цель исследования. Установить закономерности пространственного распределения радиоактивности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K в почвах г. Мончегорска (Мурманская область).

Место и время проведения. Для изучения удельной активности радиоцезия и естественных радионуклидов ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K в почвах Мончегорска проведены экспедиционные работы летом 2018 года по отбору почвенных проб из верхнего слоя (0–5 см) в 82 точках, включая 68 точек внутри города (городские почвы) и 14 точек на подфакельных территориях, расположенных за его чертой и сильно подверженных техногенному воздействию КГМК ОАО «Североникель» (почвы под факелом). Подобные исследования почв в Мончегорске ранее не проводились.

Методы. В ходе экспедиционных работ и лабораторных исследований использовали почвенный, радиологический, математико-статистический методы. При проведении гамма-спектрометрических измерений радионуклиды ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K определили на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре ORTEC (США) на базе коаксиального германиевого детектора GEM10P4–70 высокой чистоты (HPGe) с процессором импульсных сигналов SBS-75 и программного обеспечения Гамма-про. Разрешение гамма-спектрометра по линии 1,33 МэВ (^{60}Co) составило 1,75 кэВ, а относительная эффективность – 15%. Калибровку и контроль качества гамма-спектрометрических измерений осуществляли с использованием измерений объемной активности – сосудами Маринелли (1 л) разной плотности (RITVERZ, Россия-Германия).

Основные результаты. Значения удельной активности радионуклидов в почвах Мончегорска составили: для ^{137}Cs – до 31,3 Бк/кг в черте города и до 63,4 Бк/кг в зоне влияния площадки «Североникель» на подфакельных территориях; для ^{226}Ra – до 14,2 и 21,6 Бк/кг; для ^{232}Th – до 18,3 и 17,0 Бк/кг; для ^{40}K – до 498 и 317 Бк/кг, соответственно.

Заключение. Гамма-съемка территории Мончегорска не выявила аномалии радиационного фона. Мощность дозы гамма-излучения территории города не превышает 0,074 мкЗв/час, что ниже значений по России (от 0,04 до 0,20 мкЗв/ч). Полученные данные по удельной активности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K в почвах Мончегорска характерны для Мурманской области.

Ключевые слова: удельная активность; городские почвы; ^{137}Cs ; ^{40}K ; ^{226}Ra ; ^{232}Th ; Мончегорск; Мурманская область.

Цитирование: Иглоvский С.А., Баженов А.В., Яковлев Е.Ю. Пространственное распределение ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в почвах г. Мончегорска (Мурманская область) // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 2. e264. DOI: [10.31251/pos.v7i2.264](https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.264)

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими источниками антропогенной радиоактивности для территории г. Мончегорска являются стратосферные выпадения в результате атмосферных ядерных испытаний и локальные выпадения в результате испытаний на ядерном полигоне архипелага Новая Земля. Исследования предыдущих лет (Романович и др., 2006; Воробьева и др., 2017; Никанов и др., 2019; Мелентьев, 2021; Kuzmenkova, Vorobyova, 2015) не определили повышенных значений естественной и техногенной радиоактивности в почвах Мурманской области. Удельная активность техногенного ^{137}Cs в верхнем слое почв изменяется от 3 до 60 Бк/кг (Воробьева и др., 2017). Кольский полуостров является местом, потенциально опасным для загрязнения радионуклидами в результате их воздушного переноса (Романович и др., 2006; Никанов и др., 2019; Мелентьев, 2021; Kuzmenkova, Vorobyova, 2015). Загрязнение почв ^{137}Cs соответствует уровню мирового фона; ранее «существенных участков со следами выпадения радиоактивных осадков после аварии на Чернобыльской АЭС не выявлено» (Никанов и др., 2019). Удельная активность естественных радионуклидов ^{226}Ra и ^{232}Th в ненарушенных почвах Хибинской болотной тундры варьирует от 7,03 до 71,06 Бк/кг, в горной тундре — от 15,17 до 27,75 Бк/кг (Воробьева и др., 2017). Так как подавляющая часть населения Арктики

проживает в городах, а данных о пространственном распределении удельной радиоактивности городских почв недостаточно, представляется необходимым изучение их состава как компонента окружающей среды человека.

Цель работы – установить закономерности пространственного распределения радиоактивности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K в почвах г. Мончегорска (Мурманская область).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристика района исследования. Значительная часть г. Мончегорска территориально размещена на сравнительно ровной территории, высотой от 120 до 130 м над уровнем моря. Подножие горы Нюд, в пределах которого расположен входящий в территорию города поселок Монча, представляет собой равнинную, наклонную к озеру Монче-губа территорию. Абсолютные отметки поверхности здесь изменяются от 127 м до 180 м вверх по склону. Территория города занимает 36,5 км² (Генеральный план..., 2009). Коренные породы залегают до глубины 30 м и выходят на дневную поверхность на вершинах и крутых склонах гор. Горы относятся к массиву Мончегорского никеленосного плутона и сложены интрузивным комплексом пород – пироксенитами, перидонитами, норитами и габбро-норитами. В пределах равнинной части территории коренные породы представлены гнейсами, кристаллическими сланцами, грано-диоритами, диоритами и диорито-гнейсами, что определяет фон естественных радионуклидов. Четвертичные отложения образованы ледниковыми, флювиогляциальными, озерно-ледниковыми и послеледниковыми образованиями. К площадям с техногенным ландшафтом относится промзона КГМК ОАО «Североникель». Морена залегает повсеместно, непосредственно на коренных породах. В ее разрезе в пределах Мончегорска встречаются супесь; гравелистые, разнозернистые, реже пылеватые пески; суглинок с прослоями пылеватых песков; галечниковые и щебенистые образования. Болотные отложения отмечаются на озерных террасах, в котловинах и других понижениях между холмами и грядами, на склонах и развиты на побережье озера Нюдъявр (Генеральный план..., 2009).

Отбор почвенных проб. Летом 2018 года исследовали удельную радиоактивность почв на территории г. Мончегорска. На предварительном этапе были выбраны зоны в соответствии с типом застройки, а также определены точки отбора почвенных проб. Экспедиционные работы по отбору почвенных проб из верхнего слоя (0–5 см) проведены в 82 точках (рис. 1), включая 68 точек во всех районах города (городские почвы) и 14 точек за его чертой – на подфакельных территориях, сильно подверженных техногенному воздействию КГМК ОАО «Североникель» (почвы под факелом). Подобные исследования почв в Мончегорске ранее не проводились.

Методы исследования. Пробы почвы высушили при температуре 105 °С в сушильном шкафу. При проведении гамма-спектрометрических измерений радионуклиды ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K определяли на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре ORTEC (США) на базе коаксиального германиевого детектора GEM10P4–70 высокой чистоты (HPGe) с процессором импульсных сигналов SBS-75 и программного обеспечения Гамма-про. Разрешение гамма-спектрометра по линии 1,33 МэВ (^{60}Co) составило 1,75 кэВ, а относительная эффективность – 15%. Калибровка и контроль качества гамма-спектрометрических измерений осуществлялась с использованием измерений объемной активности – сосудами Маринелли (1 л) разной плотности (RITVERZ, Россия-Германия). Для обнаружения ^{226}Ra и определения его активности использовали основные энергии гамма-излучения ^{214}Pb (351,93 кэВ) и ^{214}Bi (609,32 кэВ, 1120,29 кэВ, 1764,49 кэВ). Для идентификации ^{232}Th и измерения его активности использовали основные энергии гамма-излучения ^{212}Pb (238,63 кэВ), ^{228}Ac (911,20 кэВ) и ^{208}Tl (583,19 кэВ, 2614,51 кэВ). Активность радионуклида ^{137}Cs определили по методу гаммы-линии (661,66 кэВ). Активность радионуклида ^{40}K определили с помощью энергии (1460,82 кэВ). Минимальная обнаруживаемая активность при времени воздействия $t=12$ с в геометрии Маринелли для детектора GEM10P4–70 0 составила 0,3 Бк для ^{226}Ra , 15,0 Бк для ^{40}K , 0,1 Бк для ^{137}Cs и 0,2 Бк для ^{232}Th (Yakovlev et al., 2023). Фракционный состав почв определяли с помощью просеивающей машины AS200 (Retsch, Германия) с набором сит от 45 мкм до 2 мм.

Автомобильные гамма-спектрометрические исследования выполнили с использованием мобильного сцинтилляционного гамма-спектрометрического комплекса RS-700 (Канада), который имеет цифровой спектрометр с разрешением (1024 канала), позволяющий сделать измерения общей радиоактивности местности через скорость счета в секунду. В связи с тем, что измерения осуществляли в автомобильном варианте на высоте 1,7 м, то проводили их корректировку с учетом

записи спектров на высоте 1 м с пересчетом фактических результатов на величину ослабления сигнала от поверхности земли. В общей сложности при гамма-спектрометрической съемке было обработано 370 точек измерений (рис. 2). Точность привязки составила $\pm 1-1,5$ м (Мобильная система..., дата обращения 25.09.2023).

Статистическую обработку данных провели с помощью программного обеспечения StatSoft, Inc. (2011) STATISTICA (data analysis software system), version 10, включая расчет среднего арифметического значения, медианы, стандартного отклонения, стандартной ошибки среднего, среднеквадратичного отклонения по выборке, коэффициента вариации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСЖДЕНИЕ

В г. Мончегорске широкое распространение получили урбиквазиземы с горизонтом «урбик» – зоной аккумуляции и биогенной трансформации органо-минерального и искусственного материала, который сформировался синлитогенно под влиянием хозяйственной деятельности человека. В этом слое содержится не менее 10% антропогенных включений. Реплантоземы формируются на газонах в кварталах с каменной мало- и многоэтажной застройкой (Игловский и др., 2023а; 2023б; 2023в). Хорошо сформировавшийся почвенный профиль отмечается под древесной и кустарниковой растительностью в парковых и лесных зонах (Крячюнас и др., 2020).

В зону застройки домами малой этажности попадают точки отбора почвенных проб № 6, 7, 61, 62; многоэтажными многоквартирными домами – № 1–5, 8–16, 19, 23–28, 31–35, 43–45, 48, 49, 51–53, 55, 56, 60, 68, 69; центра города – № 24, 25, 32, 35; торговыми объектами – № 50, 57; учреждениями здравоохранения – № 65; размещения парков и скверов – № 17, 66; городских лесов, лесопарков – № 20, 22, 23, 54; объектов спорта – № 21, производственно-коммунальной сферы – № 16–18, 29, 38–41, 64, 67; объектов инженерного обеспечения – № 36–38, 59 (рис. 1, 2).

Наибольшие значения удельной активности ^{137}Cs характерны для почв парков, елово-березовых лесопарков, расположенных вдоль Ленинградской набережной (т. 17, 20) недалеко от детского экологического парка и почв южной части города в пределах застройки многоэтажными панельными домами (т. 1). Предполагаем, что древесные насаждения могут выступать здесь в роли «фильтра», улавливая пыль из воздуха и повышая концентрацию загрязняющих веществ в почве за счет опада листьев. Значения активности ^{137}Cs до 20 Бк/кг выявлены в почвах центральной и южной частей города в пределах застройки мало- и многоэтажными многоквартирными жилыми домами (т. 5, 6, 22, 24, 32, 33, 35, 40, 50, 54, 56, 60, 61).

Распределение удельной активности естественных радионуклидов в почвах различных функциональных зон планировочной структуры Мончегорска имеет равномерный характер, причем распределение ^{232}Th и ^{226}Ra довольно схоже (см. рис. 2). Максимальные значения удельной активности ^{40}K определены в почвах березового и ивового леса вблизи пересечения пр. Ленина и ул. Комарова на берегу реки Ньюдай (т. 67), где отмечены высокие значения удельной активности ^{232}Th и ^{226}Ra . Значения удельной активности ^{40}K от 40 до 200 Бк/кг выявлены в почвах западной части города, в производственно-коммунальной зоне (т. 38–40, 58), а также в почвах застройки мало- и многоэтажными жилыми домами в центре (т. 31, 32, 35, 36, 48, 49, 60, 64), восточной части, непосредственно примыкающей к озеру Монча-губа (т. 14, 17, 20, 26, 28), и в южной части города (т. 5, 6, 11, 61). Низкие значения удельной активности ^{40}K (менее 40 Бк/кг) определены в почвах у озера (т. 41) и привокзального шоссе (т. 57), а также в юго-западной части города в пределах многоэтажной панельной застройки вблизи озера Ньюдъявр (т. 1, 3).

В почвах березового и ивового леса вблизи пересечения пр. Ленина и ул. Комарова на берегу реки Ньюдай (т. 67), в районе частного деревянного сектора (т. 39), панельной застройки окрестностей морга (т. 65), ЗАГСа, центрального парка (т. 50, 66), у привокзального шоссе (т. 1, 38), на пересечении ул. Ньюдовской и Новопроложенной на участке малоэтажной застройки (т. 51) отмечено максимальное значение удельной активности ^{226}Ra в почвах. На остальной территории города значения удельной активности ^{226}Ra в почвах было менее 10 Бк/кг.

В почвах березового и ивового леса вблизи пересечения пр. Ленина и ул. Комарова на берегу реки Ньюдай (т. 67), в производственно-коммунальной зоне (т. 39), в районе малоэтажной кирпичной застройки (т. 33), вблизи многоэтажной панельной застройки (т. 4) удельная активность ^{232}Th и ^{226}Ra максимальна. Значения ^{232}Th ниже 6 Бк/кг зафиксированы в почвах парковых и лесопарковых зон, расположенных вдоль Ленинградской набережной (т. 17, 20) и в пробах торфяных отложений у безымянного озера (т. 41) и озера Ньюдъявр (т. 59).

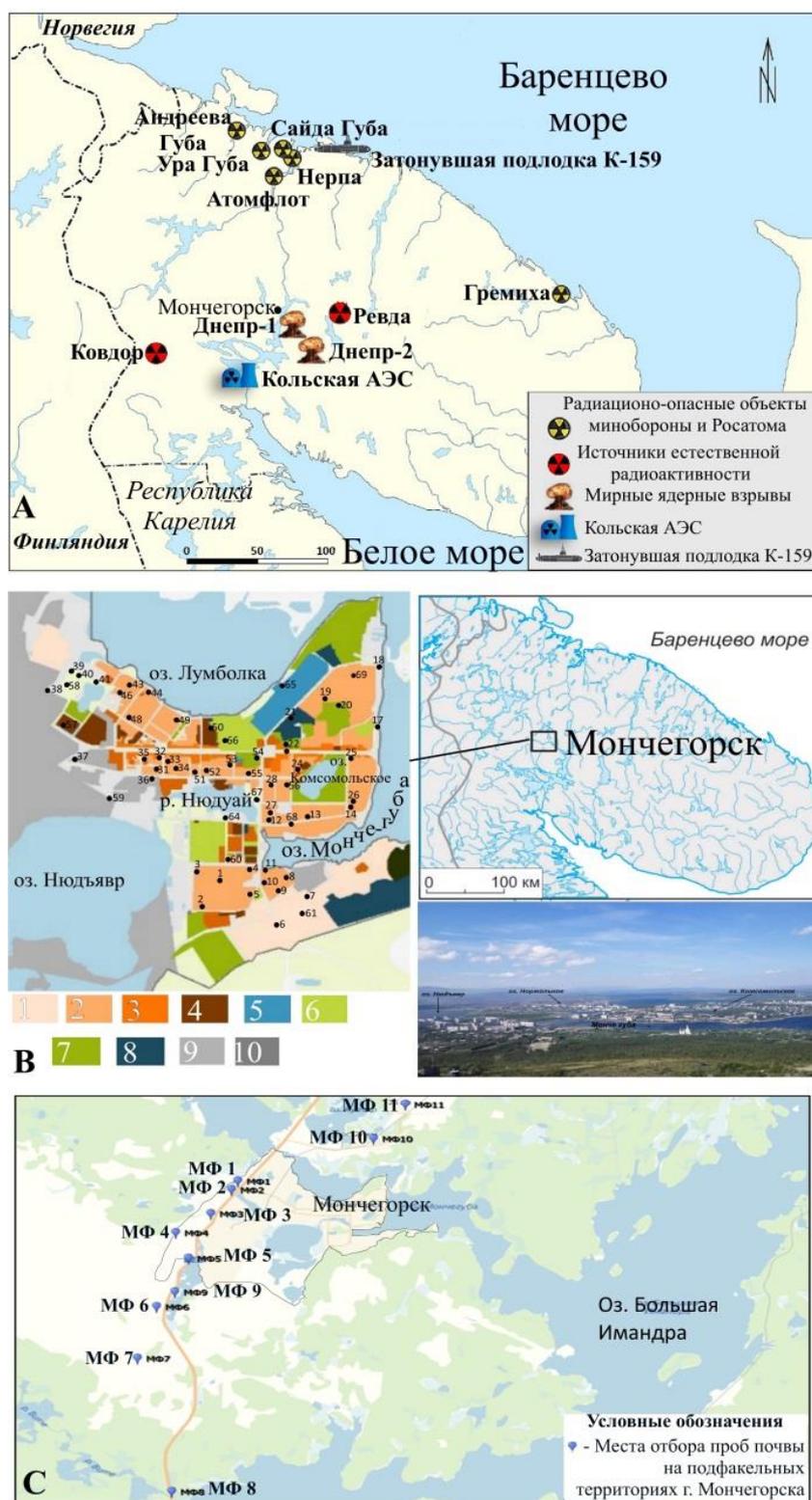


Рисунок 1. Радиационно-опасные объекты на территории Кольского полуострова (А); точки отбора почвенных проб в 2018 г. во всех районах г. Мончегорска (В, городские почвы) на фрагменте карто-схемы функционального зонирования территории (Генеральный план..., 2009) и за чертой города в зоне влияния площадки КГМК ОАО «Североникель» на подфакельных территориях (С, почвы под факелом) на фрагменте космоснимка Google.

Отбор проб городских почв включал следующие зоны: 1 – малоэтажной жилой застройки, 2 – застройки многоэтажными многоквартирными домами, 3 – жилой застройки центра города, 4 – размещения торговых объектов, 5 – размещения учреждений здравоохранения; 6 – парков и скверов, 7 – городских лесов, лесопарков, 8 – объектов спорта, 9 – производственно-коммунальную, 10 – размещения объектов инженерного обеспечения.

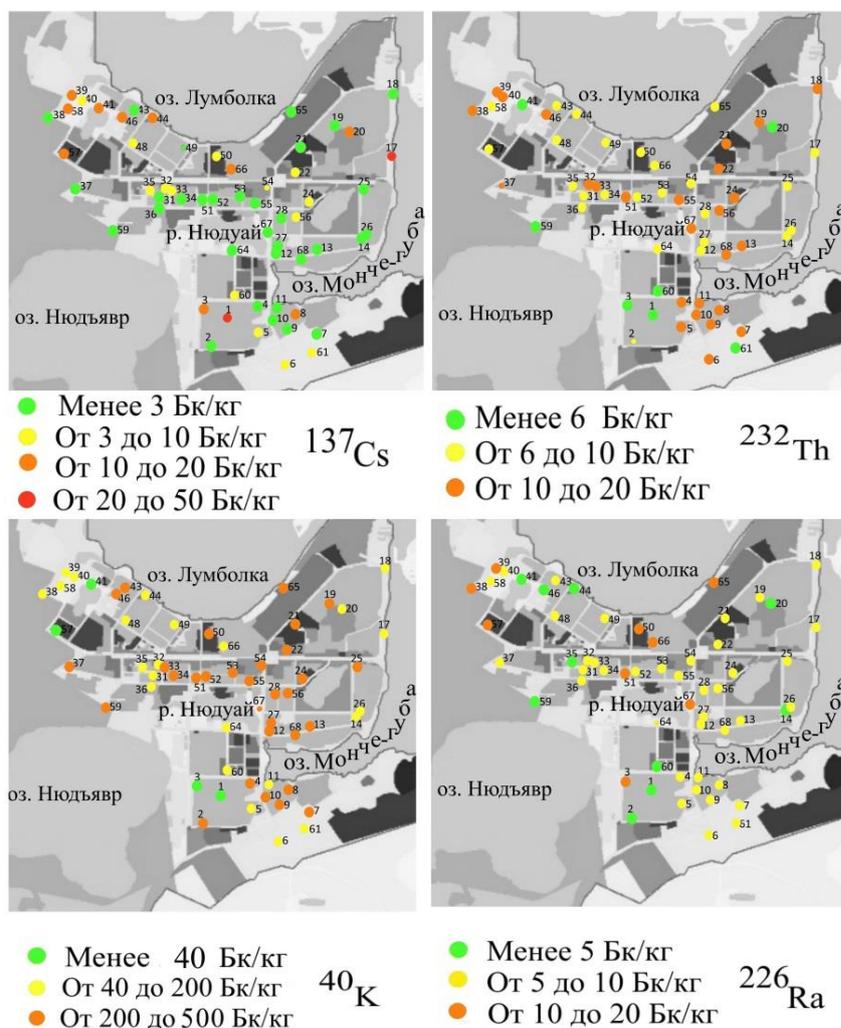


Рисунок 2. Пространственное распределение удельной активности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{232}Th , ^{40}K и ^{226}Ra в почвах г. Мончегорска.

Максимальные значения удельной активности радионуклидов в 68 пробах городских почв составили: ^{137}Cs – 31,3, ^{226}Ra – 14,2, ^{232}Th – 18,3, ^{40}K – 498 Бк/кг. Средние значения удельной активности ^{137}Cs , ^{226}Ra и ^{232}Th в зоне влияния промзоны «Североникель» были выше, чем в городских почвах (табл. 1).

Таблица 1

Удельная активность радионуклидов в почвах г. Мончегорска, Бк/кг

| Радионуклиды | Почвы* | |
|-------------------|--|---------------------------------------|
| | городские | под факелом (МФ1-МФ11) |
| ^{137}Cs | 0 – 31,3 $11,78 \pm 8,4(0)$; 61 | 0 – 63,4 $20,5 \pm 21,9(6,4)$; 12 |
| ^{226}Ra | 0 – 14,2 $8,08 \pm 2,2(0)$; 61 | 0 – 21,6 $6,2 \pm 7,2(4,4)$; 7 |
| ^{232}Th | 0 – 18,3 $10,25 \pm 2,9(10,3)$; 61 | 0 – 17,0 $11,1 \pm 5,2(12,8)$; 12 |
| ^{40}K | 0 – 498 $212,94 \pm 68,8(244)$; 61 | 0 – 317 $176 \pm 91(195)$; 13 |

Примечание.

*Почвенные пробы отобраны во всех районах г. Мончегорска (городские почвы) и в зоне влияния площадки КГМК ОАО «Североникель» на подфакельных территориях (почвы под факелом). Над чертой – минимальное и максимальное значения, Бк/кг; под чертой – среднее значение и стандартное отклонение, в скобках – медиана, Бк/кг; цифра после точки с запятой – число проб (n) выше нижнего предела обнаружения.

Среднее значение удельной активности ^{137}Cs в почвах вблизи многоэтажных жилых домов составило 11,74 Бк/кг, вблизи объектов производственно-коммунальной сферы – 15,44, малоэтажных жилых домов – 4,55, в районах застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 7,58, а в зоне объектов инженерного обеспечения менее 3 Бк/кг (рис. 3).

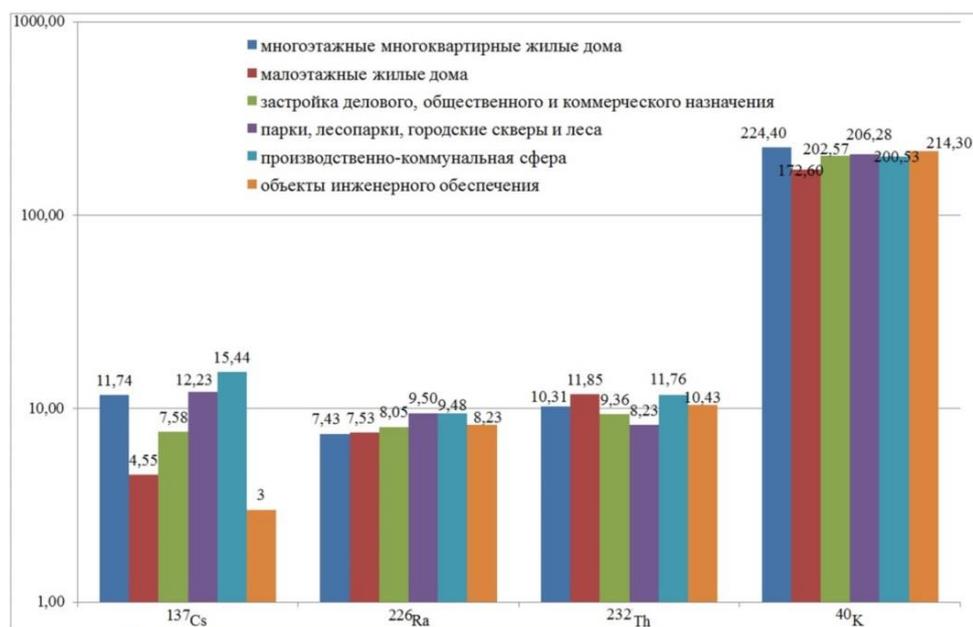


Рисунок 3. Средние значения удельной активности ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra в почвах функциональных зон г. Мончегорска (Бк/кг): синий – многоэтажной застройки жилыми домами; красный – застройки малоэтажными домами; зеленый – застройки делового, общественного и коммерческого назначения; фиолетовый – парков, лесопарков, городских скверов и лесов; голубой – производственно-коммунальной сферы; коричневый – объектов инженерного обеспечения. Использован логарифмический масштаб.

В таблице 2 представлены статистические показатели изменения удельной активности радионуклидов в почвах г. Мончегорска. Среднеквадратическое отклонение позволяет оценить, насколько значения из множества могут отличаться от среднего значения. Так, например, для ^{137}Cs это отклонение меньше среднего значения, для ^{226}Ra и ^{232}Th – почти в два раза меньше, а для ^{40}K – почти в три раза меньше среднего значения. Для ^{137}Cs совокупность оказалась неоднородной (73%), для других естественных радионуклидов – однородной (33% или менее).

Таблица 2

Статистические показатели изменения удельной активности радионуклидов в почвах

| Статистический параметр | ^{137}Cs | ^{226}Ra | ^{232}Th | ^{40}K |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| Выборка, n | 58 | 58 | 58 | 58 |
| Максимум, Бк/кг | 31,3 | 14,2 | 18,3 | 498,0 |
| Минимум, Бк/кг | 3,1 | 4,7 | 4,9 | 74,8 |
| Среднеквадратичное отклонение по выборке, Бк/кг | 8,65 | 2,25 | 2,98 | 69,53 |
| Коэффициент вариации, % | 73 | 28 | 29 | 33 |

Основную часть почвенных образцов составили фракции мелкозема (мелкозернистого песка) с размером 100 и 250 мкм (по 27 и 24%, соответственно). Минимальное количество было характерно для фракции от тонкой глины до среднезернистого ила (пелиты) – с размером <45 мкм (5%) (рис. 4). Анализ гранулометрического состава почв показал, что состав городских почв в основном представлен фракциями мелкозема с размером 100, 250 и 500 мкм. Преобладают песчаные частицы со значительным содержанием гравия.

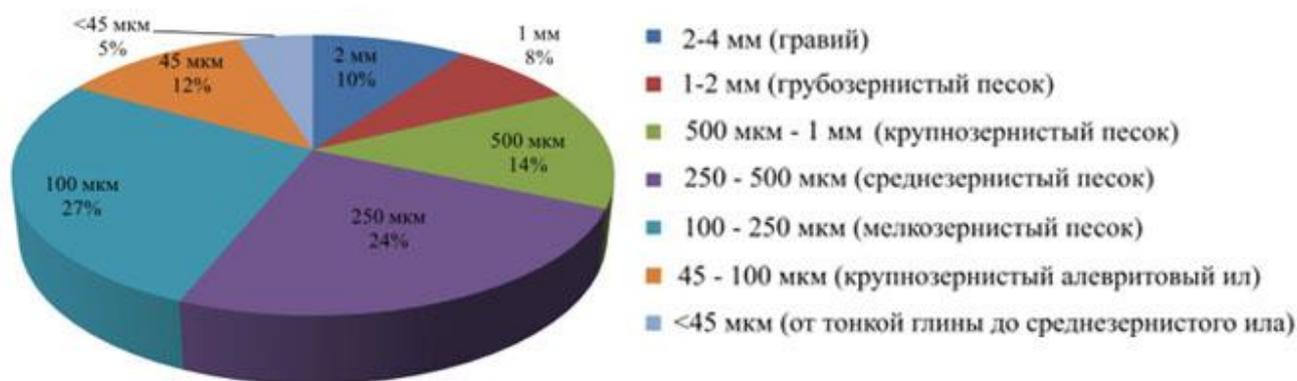


Рисунок 4. Соотношение гранулометрических фракций в почвах г. Мончегорска, %.

Корреляционный анализ удельной активности радионуклидов выявил связь между ^{226}Ra и ^{137}Cs с высоким уровнем статистической значимости (табл. 3). Не обнаружено значимой корреляционной связи между удельной активностью радионуклидов и содержанием частиц почвенного скелета (2 мм), а также с содержанием фракций почвенного мелкозёма (менее 1 мм).

Таблица 3

Корреляционная матрица между удельной активностью радионуклидов в почвах и содержанием частиц почвенного скелета (2 мм), фракций почвенного мелкозёма (менее 1 мм)*

| | 2 мм | 1 мм | 500 мкм | 250 мкм | 100 мкм | 45 мкм | <45 мкм | ^{137}Cs | ^{226}Ra | ^{232}Th | ^{40}K |
|-------------------|-------|-------|---------|-------------|---------|--------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 2 мм | 1 | | | | | | | | | | |
| p-value | - | | | | | | | | | | |
| 1 мм | 0,11 | 1 | | | | | | | | | |
| p-value | 0,40 | - | | | | | | | | | |
| 500 мкм | 0,00 | 0,68 | 1 | | | | | | | | |
| p-value | 0,98 | 0,00 | - | | | | | | | | |
| 250 мкм | -0,33 | -0,35 | 0,15 | 1 | | | | | | | |
| p-value | 0,01 | 0,01 | 0,28 | - | | | | | | | |
| 100 мкм | -0,65 | -0,65 | -0,54 | 0,19 | 1 | | | | | | |
| p-value | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,17 | - | | | | | | |
| 45 мкм | -0,39 | -0,23 | -0,60 | -0,48 | 0,40 | 1 | | | | | |
| p-value | 0,00 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | - | | | | | |
| <45 мкм | 0,02 | -0,18 | -0,55 | -0,66 | 0,12 | 0,77 | 1 | | | | |
| p-value | 0,87 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 0,39 | 0,00 | - | | | | |
| ^{137}Cs | 0,15 | -0,02 | 0,19 | 0,20 | -0,18 | -0,26 | -0,19 | 1 | | | |
| p-value | 0,48 | 0,94 | 0,36 | 0,34 | 0,40 | 0,21 | 0,35 | - | | | |
| ^{226}Ra | -0,06 | -0,17 | -0,12 | -0,03 | 0,14 | 0,23 | 0,02 | 0,70 | 1 | | |
| p-value | 0,69 | 0,24 | 0,41 | 0,83 | 0,35 | 0,11 | 0,88 | 0,00 | - | | |
| ^{232}Th | 0,12 | -0,02 | 0,10 | 0,02 | -0,10 | -0,12 | -0,05 | -0,19 | 0,19 | 1 | |
| p-value | 0,41 | 0,91 | 0,48 | 0,88 | 0,50 | 0,41 | 0,74 | 0,44 | 0,19 | - | |
| ^{40}K | 0,00 | -0,01 | -0,18 | -0,33 | 0,11 | 0,26 | 0,31 | -0,43 | -0,02 | 0,17 | 1 |
| p-value | 0,99 | 0,92 | 0,19 | 0,02 | 0,42 | 0,06 | 0,02 | 0,05 | 0,89 | 0,24 | - |

Примечание.

*Градиенты силы связи обозначены цветом от красного с минимальным до зелёного с максимальным значением коэффициента корреляции; критические значения коэффициентов корреляции выделены жирным цветом. p-value – наименьшее значение уровня значимости.

В рамках исследований Мончегорска была проведена гамма-съемка местности (рис. 5) с использованием мобильного гамма-спектрометра RS-700 (Мобильная система..., дата обращения 25.09.2023). В пределах города можно выделить три локальные зоны гамма-излучения (от 0,056 до 0,074 мкЗв/ч), которое, тем не менее, не превышает средних значений по России (от 0,04 до 0,20 мкЗв/ч). Западная граница одной из этих зон расположена в районе застройки панельными многоэтажными домами по ул. 10 Гвардейской дивизии и Школьной. Далее центральная зона тянется вдоль пр. Металлургов и ул. Комсомольской до пересечения с ул. Нюдовской. Северо-восточная зона значений гамма-излучения приурочена к кварталу с панельными многоэтажными домами в районе Ленинградской набережной и ул. Кирова.

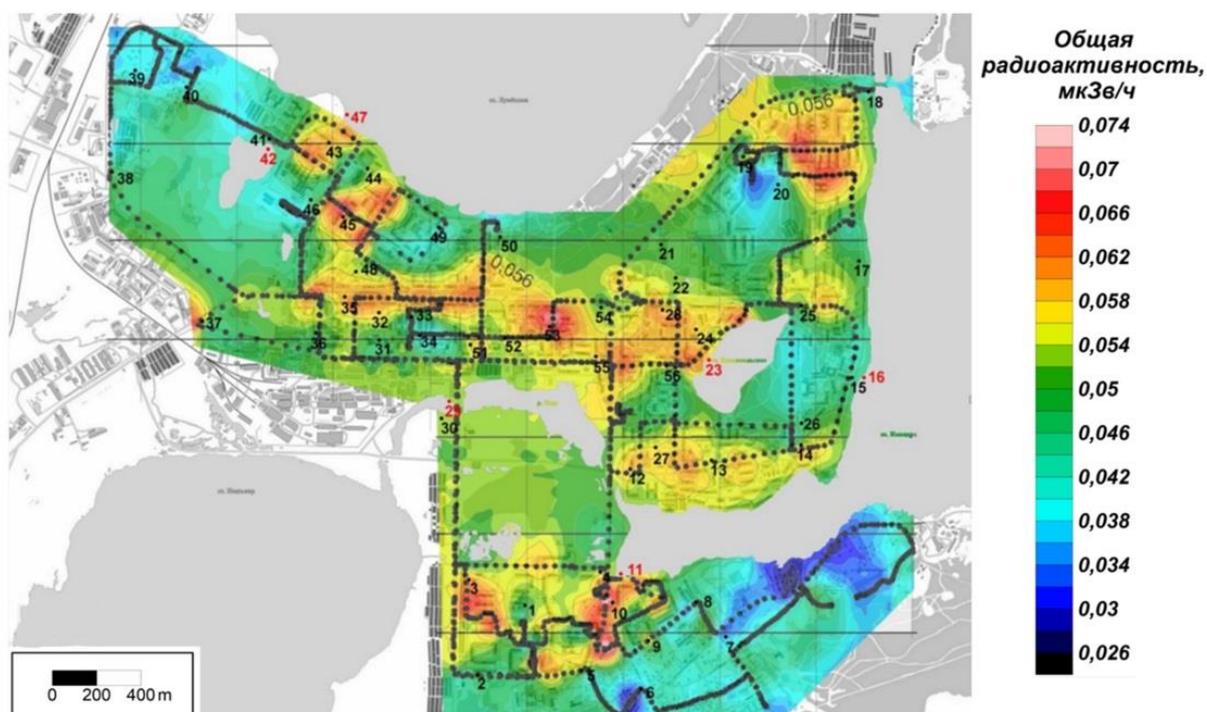


Рисунок 5. Гамма-съемка территории г. Мончегорска с использованием мобильного гамма-спектрометра RS-700. Пунктиром показаны автомобильные маршруты измерений мощности дозы гамма-излучения.

Южная зона значений приурочена к панельным многоэтажным домам в районе ул. Грузовой и Моршковой и южной части пр. Ленина. Также можно выделить две зоны гамма-излучения на востоке города с меньшими значениями в районе пятиэтажных панельных домов по ул. Бредова и пр. Металлургов. Повышение значений гамма-излучения в г. Мончегорске характерны для территорий с кирпичной застройкой 70-80-х годов XX века и в районах расположения малых архитектурных форм, построенных с применением гранита. В остальных частях города значения общей гамма-активности составили менее 0,05 мкЗв/ч, а в юго-восточной (Свято-Вознесенский кафедральный собор) и северо-западной частях города (район ул. Северной) значения были менее 0,03 мкЗв/ч (см. рис. 5).

ВЫВОДЫ

1. Максимальное значение удельной активности техногенного ^{137}Cs в почвах г. Мончегорска составило 31,3 Бк/кг вблизи объектов производственно-коммунальной сферы. Среднее значение удельной активности ^{137}Cs в почвах составило: возле многоэтажных жилых домов – 11,74 Бк/кг, объектов производственно-коммунальной сферы – 15,44 Бк/кг, малоэтажных жилых домов – 4,55 Бк/кг, застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 7,58 Бк/кг, объектов инженерного обеспечения – менее 3 Бк/кг.

2. Максимальные значения удельной активности естественных радионуклидов в почвах г. Мончегорска составили: для ^{226}Ra – 14,2 Бк, ^{232}Th – 18,3 и ^{40}K – 498 Бк/кг. Распределение средних значений удельной активности данных радионуклидов в почвах различных функциональных зон планировочной структуры города имело равномерный характер.

3. В зоне влияния площадки КГМК ОАО «Североникель» на подфакельных территориях средние значения удельной активности ^{137}Cs , ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах были выше, чем в черте города. Максимальное значение удельной активности ^{137}Cs достигало 63,4 Бк/кг в почвах под факелом на юго-западе от Мончегорска. Удельная активность ^{40}K в городских почвах была ниже. Более высокие значения удельной активности ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th в почвах на подфакельных территориях могут быть связаны с рекультивационными работами, в том числе с перемешиванием почвенных горизонтов.

4. Мощность дозы гамма-излучения территории г. Мончегорска не превышает 0,074 мкЗв/час, что ниже значений по России (от 0,04 до 0,20 мкЗв/ч). Более высокие значения характерны для территорий с кирпичной застройкой 70-80-х годов XX века и в районах расположения малых архитектурных форм, построенных с применением гранита.

5. Полученные данные по удельной активности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K в почвах г. Мончегорска характерны, в целом, для Мурманской области. Гамма-съёмка территории Мончегорска не выявила аномалии радиационного фона.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ проекта 122011300333-1).

ЛИТЕРАТУРА

Воробьева Т. А., Евсеев А. В., Кузьменкова Н. В. Радиогеохимические исследования состояния ландшафтов Кольского полуострова // Арктика: экология и экономика. 2017. Том 26. № 2. С. 17–26. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2017-2-17-26>

Генеральный план города Мончегорска. Пояснительная записка. ОАО Российский институт градостроительства и инвестиционного развития. Москва, 2009. 68 с. URL: <https://monchegorsk.gov-murman.ru/vlast/administratsiya/sostav/otdel-arkhitektury-i-gradostroitelstva/generalnyy-plan-goroda-monchegorska/generalnyy-plan-goroda-monchegorska/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%B0.pdf> (дата обращения 10.04.2024).

Игловский С.А., Баженов А.В., Крячюнас В.В., Яковлев Е.Ю. Особенности пространственного распределения ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в почвах города Кировска (Мурманская область) // Арктика: экология и экономика. 2023а. Том 13. № 3. С. 473–481. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-3-473-481>

Игловский С. А., Баженов А. В., Яковлев Е. Ю. Особенности пространственного распределения ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в почвах г. Полярные Зори (Мурманская область) // Вестник геонаук. 2023б. №10 (346). С. 51–56. <https://doi.org/10.19110/geov.2023.10.6>

Игловский С. А., Баженов А. В., Яковлев Е. Ю. Пространственное распределение ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в почвах г. Оленегорска (Мурманская область) // Почвы и окружающая среда. 2023в. Том 6. № 4. е225. <https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.225>

Крячюнас В.В., Кузнецова И.А., Котова Е.И., Игловский С.А., Мироненко К.А., Суханов С.Г. Содержание и особенности распределения естественных и техногенных радионуклидов в почвах малого арктического города // Экология человека. 2020. № 5. С. 11–20. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-5-11-20>

Мелентьев Г.Б. Естественная радиоактивность редкометалльно-специализированного минерального сырья и урбанизированных территорий Карело-Кольского региона как фактор их радиэкологической оценки // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2021. № 2. С. 27–43. <https://doi.org/10.17076/geo1284>

Мобильная система радиометрического контроля RS-700. URL: <https://agtsys.ru/storage/instructions/December2019/tPgJvmbN-67MXpVzMiiOE.pdf> (дата обращения 25.09.2023).

Никанов А.Н., Гудков А.Б., Шелков М.В., Попова О.Н., Щербина Ф.А., Щербина А.Ф. Характеристика радиационного фона арктической территории в районе расположения горно-обогадательного комплекса // Экология человека. 2019. № 5. С. 11–14. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-5-11-14>

Kuzmenkova N.V., Vorobyova T.A. Landscape-geochemical mapping of territory in the North-West of Kola Peninsula // Journal of Geochemical Exploration. 2015. Vol. 154. P. 194–199. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.016>

Поступила в редакцию 15.04.2024

Принята 06.05.2024

Опубликована 14.05.2024

Сведения об авторах:

Иглоvский Станислав Анатольевич – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинaмики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика РАН Н.П. Лавёрова УрО РАН (г. Архангельск, Россия); iglovskys@mail.ru

Баженов Александр Викторович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинaмики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика РАН Н.П. Лавёрова УрО РАН (г. Архангельск, Россия); abv-2009@yandex.ru

Яковлев Евгений Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией экологической радиологии Института геодинaмики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика РАН Н.П. Лавёрова УрО РАН (Архангельск, Россия); yakov24lev99@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Spatial distribution of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th in soils of Monchegorsk city (Murmansk region)

© 2024 S. A. Iglovsky , A. V. Bazhenov , E. Y. Yakovlev 

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia. E-mail: iglovskys@mail.ru

The purpose of the study was to establish the patterns of spatial distribution of radioactivity of technogenic ^{137}Cs and natural radionuclides ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K in urban soils of Monchegorsk.

Location and time of the study. Soil samples, were collected in summer 2018 in the Monchegorsk city, Murmansk region, Russia. To study the specific activity of radiocesium and natural radionuclides, soil samples were taken from topsoil (0-5 cm) at 82 sites, including 68 sites within the city territory (urban soils) and 14 sites beyond the city limits in the subtorch areas strongly affected by the Severonickel factory. Similar studies of urban soils in Monchegorsk had not been carried out previously.

Methods. During expeditionary work and laboratory research, soil, radiological, and mathematical and statistical methods were used. When carrying out gamma spectrometric measurements, radionuclides ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K were determined on a low-background semiconductor gamma spectrometer ORTEC (USA) based on a high-purity coaxial germanium detector GEM10P4-70 (HPGe) with a SBS-75 pulse signal processor and Gamma-software. The resolution of the gamma spectrometer along the 1.33 MeV line (^{60}Co) was 1.75 keV, and the relative efficiency was 15%. Calibration and quality control of gamma spectrometric measurements was carried out using volumetric activity measurements with I-L Marinelli vessels of different densities (RITVERZ, Russia-Germany).

Main results. The values of specific activity of radionuclides in soil samples were as following: in the technogenic ^{137}Cs up to 31.3 Bq/kg and in the subtorch soils up to 63.4 Bq/kg. Specific activity of natural radionuclides in urban soils reached to 14.2 Bq/kg for ^{226}Ra , whereas in the subtorch soils it reached 21.6 Bq/kg. The specific activity of ^{232}Th in urban soils reached 18.3 Bq/kg, with 17 Bq/kg registered for the subtorch soils. As for ^{40}K , its specific activity reached 498 Bq/kg in the urban soils and 317 Bq/kg.

Conclusion. The gamma survey of the Monchegorsk territory did not reveal any anomaly in radiation. The dose rate of gamma radiation in the city does not exceed 0.074 $\mu\text{Sv}/\text{hour}$, which is less than the values elsewhere in Russia, ranging from 0.04 to 0.20 $\mu\text{Sv}/\text{hour}$. The obtained data about specific activity of technogenic ^{137}Cs and natural radionuclides ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K in the Monchegorsk soils are typical for the Murmansk region.

Keywords: specific activity; urban soils; ^{137}Cs ; ^{232}Th ; ^{226}Ra ; ^{40}K ; Monchegorsk; Murmansk region.

How to cite: Iglovsky S.A., Bazhenov A.V., Yakovlev E.Yu. Spatial distribution of ^{137}Cs ; ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th in soils of Monchegorsk city (Murmansk region). *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(2). e264 (in Russian with English abstract). DOI: [10.31251/pos.v7i2.264](https://doi.org/10.31251/pos.v7i2.264)

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 122011300333-1).

REFERENCES

- Vorobyova T. A., Evseev A. V., Kuzmenkova N. V. Radiogeochemical investigations of the Kola Peninsula landscapes. *Arctic: Ecology and Economy*. 2017. Vol. 26. No. 2. P. 17–26. (in Russian). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2017-2-17-26>
- General Plan of the City of Monchegorsk. Explanatory note. JSC Russian Institute of Town Planning and Investment Development. Moscow, 2009. 68 p. URL: <https://monchegorsk.gov-murman.ru/vlast/administratsiya/sostav/otdel-arkhitektury-i-gradostroitelstva/generalnyy-plan-goroda-monchegorska/generalnyy-plan-goroda-monchegorska/%D0%9F%D0%BE%D1%8F%D1%81%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F%20%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%B0.pdf> (accessed on 10.04.2024). (in Russian).
- Iglovsky S.A., Bazhenov A.V., Kriauciunas V.V., Yakovlev E.Yu. Features of the ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th spatial distribution in the soils of the city of Kirovsk (Murmansk region). *Arctic: Ecology and Economy*. 2023a. Vol. 13. No. 3. P. 473–481. (in Russian). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2023-3-473-481>
- Iglovsky S. A., Bazhenov A. V., Yakovlev E. Y. Specific spatial distribution of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th in soils of the city of Polyarnyye Zori (Murmansk region). *Vestnik of Geosciences*. 2023b. No. 10 (346). P. 51–56. (in Russian). <https://doi.org/10.19110/geov.2023.10.6>
- Iglovsky S. A., Bazhenov A. V., Yakovlev E. Yu. Spatial distribution of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th in soils of Olenegorsk city (Murmansk region). *The Journal of Soils and Environment*. 2023b. Vol. 6. No. 4. e225. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.225>
- Kriauciunas V.V., Kuznetsova I.A., Kotova E.I., Iglovsky S.A., Mironenko K.A., Sukhanov S.G. Natural and technogenic radionuclides in soils in a small Russian arctic town. *Human Ecology*. 2020. No. 5. P. 11–20. (in Russian). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-5-11-20>
- Melentiev G.B. Natural radioactivity of rare-metal specialized mineral raw materials and urbanized territories of the Karelian-Kola region as a factor in their radioecological assessment. *Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science*. 2021. No. 2. P. 27–43. (in Russian). <https://doi.org/10.17076/geo1284>
- Mobile radiometric control system RS-700. URL: <https://agtsys.ru/storage/instructions/December2019/tPgJvmbN-67MXpVzMIiOE.pdf> (accessed on 25.09.2023). (in Russian).
- Nikanov A.N., Gudkov A.B., Shelkov M.V., Popova O.N., Shcherbina F.A., Shcherbina A.F. Mining and processing plant activities and the levels of background radiation in an arctic setting. *Human Ecology*. 2019. No. 5. P. 11–14. (in Russian). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-5-11-14>
- Kuzmenkova N.V., Vorobyova T.A. Landscape-geochemical mapping of territory in the North-West of Kola Peninsula. *Journal of Geochemical Exploration*. 2015. Vol. 154. P. 194–199. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.016>

Received 15 April 2024

Accepted 06 May 2024

Published 14 May 2024

About the authors:

Stanislav A. Iglovsky – Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Ecological Radiology of the Institute of Geodynamics and Geology, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia); iglovskys@mail.ru

Aleksandr V. Bazhenov – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Ecological Radiology of the Institute of Geodynamics and Geology, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia); abv-2009@yandex.ru

Evgeniy Yu. Yakovlev – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Ecological Radiology in the Institute of Geodynamics and Geology, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia); yakov24lev99@mail.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)