Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 8. С. 27–41
Transactions of the Karelian Research Centre RAS. 2024. No. 8. P. 27–41
DOI: 10.17076/eco1900

УДК 504.054

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ГОРОДСКИХ ПОЧВАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР Г. МОНЧЕГОРСКА

С. А. Игловский*, А. В. Баженов, Е. Ю. Яковлев

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова УрО РАН (наб. Северной Двины, 109, Архангельск, Россия, 163000), *iglovskys@mail.ru*

Представлены результаты радиоэкологических исследований в районе г. Мончегорска (Мурманская область). Цель работы – выявление основных закономерностей пространственного распределения естественных и техногенных радионуклидов в городских почвах и донных отложениях озер исследуемой территории. Проведен отбор проб во всех зонах города из верхнего (0–5 см) слоя почвы, а также в подфакельной зоне за пределами городской черты (всего 68 проб). Отбор донных проб производился из поверхностного (0–5 см) слоя озер Лумболка, Нюдъявр, Комсомольское, Имандра и реки Нюдуай (19 проб). В ходе экспедиционных работ и лабораторных исследований использовались почвенный, радиологический, математико-статистический методы. Значения удельной активности радионуклидов в пробах городских почв составили: техногенного ^{137}Cs – до 31,3 Бк/кг, в подфакельных почвах – до 63,4 Бк/кг; естественных радионуклидов: ^{226}Ra – до 14,2 Бк/кг, в подфакельных почвах – до 21,6 Бк/кг, ^{232}Th – до 18,3 Бк/кг, в подфакельных почвах – до 17 Бк/кг, ^{40}K – до 498 Бк/кг, в подфакельных почвах – до 317 Бк/кг. В донных отложениях озер: техногенного ^{137}Cs – до 45,8 Бк/кг, естественных радионуклидов: ^{226}Ra – до 62,6 Бк/кг, ^{232}Th – 11 Бк/кг, ^{40}K – 268 Бк/кг. На пространственное распределение естественных радионуклидов в городских почвах и донных отложениях озер г. Мончегорска несомненное влияние оказывает близкое залегание коренных пород: гнейсов, кристаллических сланцев, гранодиоритов, диоритов, диорито-гнейсов. На распространение ^{137}Cs могли оказать влияние стратосферные выпадения в результате атмосферных ядерных испытаний, локальные выпадения в результате испытаний на ядерном полигоне архипелага Новая Земля, подземных ядерных взрывов «Днепр-1» и «Днепр-2».

Ключевые слова: удельная активность; городские почвы; донные отложения озер; ^{137}Cs; ^{40}K; ^{226}Ra; ^{232}Th; Мончегорск; Мурманская область; радиационная безопасность населения

Для цитирования: Игловский С. А., Баженов А. В., Яковлев Е. Ю. Закономерности пространственного распределения естественных и техногенных радионуклидов в городских почвах и донных отложениях озер г. Мончегорска // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 8. С. 27–41. doi: 10.17076/eco1900

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ гос. регистрации 122011300333-1). Работа по исследованию физико-химических показателей поддержана грантом РНФ № 20-77-10057.

S. A. Iglovsky*, A. V. Bazhenov, E. Yu. Yakovlev. PATTERNS IN THE SPATIAL DISTRIBUTION OF NATURAL AND MAN-MADE RADIONUCLIDES IN URBAN SOILS AND BOTTOM SEDIMENTS OF LAKES OF MONCHEGORSK

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (109 Nab. Severnoy Dviny, 163000 Arkhangelsk, Russia), *iglovskys@mail.ru*

The article presents the results of radioecological studies in Monchegorsk city area (Murmansk Region). The aim was to identify the main patterns in the spatial distribution of natural and man-made radionuclides in urban soils and bottom sediments of lakes in the study area. Samples were collected across the city from the top 0–5 cm of soil as well as in the flare plume outside the city limits (68 samples). Sediment samples were taken from the top (0–5 cm) layer in lakes Lumbolka, Nyudyavr, Komsomolskoye, Imandra and Nyuduay (19 samples). Pedological, radiological, and mathematical statistics methods were used in the field and laboratory work. The values of the man-made ^{137}Cs specific activity were up to 31.3 Bq/kg in urban soil samples and up to 63.4 Bq/kg in soils within the industry impact zone. The values for natural radionuclides in soils were up to 14.2 Bq/kg in urban soils and up to 21.6 Bq/kg in the flare plume for ^{226}Ra, up to 18.3 Bq/kg in urban soils and up to 17 Bq/kg in the flare plume for ^{232}Th, up to 498 Bq/kg in urban soils and up to 317 Bq/kg in the flame plume for ^{40}K. In lake sediments, man-made ^{137}Cs amounted to 45.8 Bq/kg, and natural radionuclide levels were up to 62.6 Bq/kg for^{226}Ra, 11 Bq/kg for 232Th, and 268 Bq/kg for ^{40}K. The spatial distribution of natural radionuclides in urban soils and lake sediments in Monchegorsk is undoubtedly influenced by the proximity of bedrock: gneisses, crystalline schists, granodiorites, diorites, diorite-gneisses. The distribution of ^{137}Cs was likely influenced by stratospheric fallout as a result of atmospheric nuclear tests, local fallouts upon tests at the Novaya Zemlya nuclear test site, and the underground nuclear explosions Dnepr-1 and Dnepr-2.

Keywords: specific activity; urban soils; lake sediments;^{137}Cs; ^{40}K; ^{226}Ra; ^{232}Th; Monchegorsk; Murmansk Region; public radiation safety

For citation: Iglovsky S. A., Bazhenov A. V., Yakovlev E. Yu. Patterns in the spatial distribution of natural and man-made radionuclides in urban soils and bottom sediments of lakes of Monchegorsk. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2024. No. 8. P. 27–41. doi: 10.17076/eco1900

Funding. The study was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state registration number 122011300333-1). The activities for the study of physicochemical parameters were funded within RSF grant No 20-77-10057.

Введение

Важнейшими источниками техногенной радиоактивности для территории г. Мончегорска являются стратосферные выпадения в результате атмосферных ядерных испытаний, локальные выпадения в результате испытаний на ядерном полигоне архипелага Новая Земля и аварии на Чернобыльской АЭС. Исследования предыдущих лет [Kuzmenkova, Vorobyova, 2015; Никанов и др., 2019; Мелентьев, 2021] не определили повышенных значений 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 (рис. 1) в результате трансграничного переноса [Kuzmenkova, Vorobyova, 2015; Никанов и др., 2019; Мелентьев, 2021]. Удельная активность естественных радионуклидов ^{226}Ra, ^{232}Th в ненарушенных почвах Хибинской тундры составляла в болотной тундре – от 7 до 71, а в горной – от 15,1 до 27,7 Бк/кг [Никанов и др., 2019]. Так как подавляющая часть населения Арктики проживает в городах, а данных о пространственном распределении удельной радиоактивности городских почв и донных отложений озер в черте городов недостаточно, представляется необходимым изучение их состава как компонента окружающей среды человека.

Характеристика района исследования

Значительная часть города размещена на ровной территории, на отметках от 120 до 130 м над уровнем моря. Прибрежная зона оз. Нюдъявр имеет отметки от 126 до 129 м и сильно заболочена. Между оз. Лумболка, Нюдъявр и заливом Монче-губа (центральная часть города) проходит водораздел высотой от 10 до 150 м. Перешеек между оз. Нюдъявр и заливом Монче-губа возвышается на высоту от 2 до 5 м над уровнем воды в озерах. Абсолютные отметки поверхности здесь изменяются от 127 до 180 м вверх по склону. Территория города занимает 36,5 км^2 [Даувальтер, Кашулин, 2016].

Коренные породы залегают до глубины 30 м и выходят на дневную поверхность на вершинах и крутых склонах гор. В пределах равнинной части территории коренные породы представлены гнейсами, кристаллическими сланцами, гранодиоритами, диоритами и диорито-гнейсами, что определяет фон естественных радионуклидов [Астафьев и др., 2012]. Четвертичные отложения образованы ледниковыми, флювиогляциальными, озерно-ледниковыми и послеледниковыми образованиями. К площадям с техногенным ландшафтом относится площадка Н-1 комбината «Североникель». В разрезе морены в пределах Мончегорска присутствуют: супесь; гравелистые, разнозернистые, реже пылеватые пески; суглинок с прослоями пылеватых песков; галечниковые и щебенистые образования. Современные озерные отложения слагают низкие берега и дно озер: диатомиты дна многих озер и на восточном берегу оз. Нюдъявр (мощностью от 1,5 до 12 м); линзы суглинков и илов (мощностью от 0,5 до 4 м); пески узких пляжей (шириной не более 2 м); валуны, галька и пески береговых валов некоторых озер (до 3 м) [г. Мончегорск…]. Болотные отложения отмечаются на озерных террасах, в котловинах и других понижениях между холмами, грядами и на склонах, развиты на побережье оз. Нюдъявр и к западу от него, а также на северном побережье оз. Лумболка. Мощность торфа в основном не превышает 2 м, на некоторых участках у западного берега оз. Нюдъявр она достигает 5,3 м, в пределах полуострова, вдающегося в это озеро, составляет от 2,5 до 4 м. Котловина оз. Имандра – тектонического происхождения. Залив Монче-губа имеет ряд притоков, а вытекает из него река Монча, впадающая в оз. Лумболка. Последнее соединено с озером Роговая Ламбина и далее небольшой протокой – с Монче-губой. Озеро Нюдъявр представляет собой мелководный водоем, соединенный протокой Нюдуай с заливом Монче-губа. Берега озера низкие, заболоченные, поросшие кустарником [Мотузова и др., 2004].

Материалы и методы

В 2018 и 2019 гг. авторы исследовали радиоэкологическую обстановку в районе г. Мончегорска. На предварительном этапе выбирались зоны отбора почвенных проб в соответствии с типом застройки, а также были определены точки отбора проб донных отложений в прилегающих к городу озерах. В результате экспедиционных работ во всех районах города отобрано 68 проб из 0–5-см слоя почвы во всех типах городской застройки, в том числе 14 подфакельных проб за чертой города, а также 25 донных проб (рис. 1). Образцы донных отложений отобраны с помощью дночерпателя размером 22×17×17 см с моторной лодки (рис. 1, D). Пробы почвы высушивались в сушильном шкафу при температуре 105 °C. При проведении гамма-спектрометрических измерений радионуклиды ^{137}Cs, ^{226}Ra, ^{232}Th и ^{40}K определялись 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 осуществлялись с использованием измерений объемной активности – сосудами Маринелли разной плотности (1 л) (RITVERZ, Россия-Германия). Каждый эталонный источник радионуклидов имел калибровочный сертификат. При подготовке счетной пробы высушенные образцы почвы и донных отложений предварительно измельчали до размера частиц < 500 мкм. Для обнаружения ^{226}Ra и определения его активности использованы основные энергии гамма-излучения ^{214}Pb (351,93 кэВ) и ^{214}Bi (609,32; 1120,29; 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; 2614,51 кэВ). Активность радионуклида ^{137}Cs определяли по методу гамма-линии (661,66 кэВ). Активность радионуклида ^{40}K определяли с помощью энергии (1460,82 кэВ). Минимальная обнаруживаемая активность при времени воздействия t = 12 с в геометрии Маринелли для детектора GEM10P4-70 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].

Рис. 1. Радиационно-опасные объекты на территории Кольского полуострова (A) и точки отбора почвенных образцов и донных отложений озер (B), проб почвы на подфакельных территориях (C), отбор проб озерных отложений с помощью дночерпателя с резиновой лодки (D) в г. Мончегорске в 2018–2019 гг. на фрагменте космоснимка Google

Fig. 1. Radiation hazardous objects on the territory of the Kola Peninsula (A) and sampling points for soil samples and lake bottom sediments (B), soil samples in flare areas (C), sampling of lake sediments using a bottom grab from a rubber boat (D) in the city of Monchegorsk in 2018–2019 on a fragment of a Google satellite image

Фракционный состав определялся с помощью просеивающей машины AS200 (Retsch, Германия) с набором сит от 45 мкм до 2 мм.

Автомобильные гамма-спектрометрические исследования выполнялись с использованием мобильного сцинтилляционного гамма-спектрометрического комплекса RS-700 (Канада), который имеет цифровой спектрометр с разрешением 1024 канала, позволяющий производить измерения общей радиоактивности местности через скорость счета в секунду. Измерения выполнялись на высоте 1,7 м над поверхностью земли. Спектрометр размещали в багажнике автомобиля. При гамма-спектрометрической съемке было обработано 370 точек измерений (рис. 2). Точность привязки составляла ± 1–1,5 м [Mobile…].

Статистическая обработка данных включала расчет среднего арифметического значения, медианы, стандартного отклонения, стандартной ошибки среднего, среднеквадратичного отклонения по выборке, коэффициента вариации, значения p-value и была произведена с помощью программного обеспечения StatSoft, Inc. (2011) Statistica (data analysis soft ware system), version 10.

Результаты и обсуждение

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

В зоны застройки и размещения домов малой этажности попадают точки отбора почв 6, 7, 61, 62; многоэтажных домов – 1–5, 8–16, 19, 23–28, 31–35, 43–45, 48, 49, 51–53, 55, 56, 60, 68; центра города – 24, 25, 32, 35; торговых объектов – 50, 57; учреждений здравоохранения – 65; парков и скверов – 17, 66; городских лесов, лесопарков – 20, 22, 23, 54; объектов спорта – 21, производственной сферы – 16–18, 29, 38–41, 64, 67; объектов обеспечения – 36–38, 59 (рис. 1, 2).

Максимальное значение удельной активности радионуклидов в пробах городских почв: ^{137}Cs – 31,3; ^{226}Ra – 14,2; ^{232}Th – 18,3; ^{40}K – 498 Бк/кг. Среднее значение удельной активности ^{137}Cs, ^{226}Ra и ^{232}Th в зоне влияния площадки Н-1 комбината «Североникель» было выше, в то время как отмечалась более низкая удельная активность ^{40}K в пробах городских почв (табл. 1). Установленные более высокие значения удельной активности ^{137}Cs характерны для почв парков, елово-березовых лесопарков, расположенных вдоль Ленинградской набережной (т. 17 и 20) и в южной части города в почвах в пределах застройки многоэтажными панельными домами (т. 1). Ранее было показано [Puhakainen et al., 2005], что ^{137}Cs накапливается в подстилке.

Значения активности ^{137}Cs до 20 Бк/кг выявлены в почвах центральной и южной частей города в пределах застройки мало- и многоэтажными жилыми домами, зданиями делового, общественного и коммерческого назначения (т. 5, 6, 22, 24, 32, 33, 35, 40, 50, 54, 56, 60, 61). В остальных частях города значения удельной активности ^{137}Cs в почвах были менее 10 Бк/кг.

Распределение удельной активности естественных радионуклидов в почвах функциональных зон г. Мончегорска имеет равномерный характер (рис. 3). Максимальные значения удельной активности ^{40}K определены в почвах березового и ивового леса вблизи пересечения пр. Ленина и ул. Комарова на берегу р. Нюдуай (т. 67), где отмечены также высокие значения этого параметра для ^{232}Th и ^{226}Ra. Значения удельной активности ^{40}K от 40 до 200 Бк/кг выявлены в почвах западной части в производственно-коммунальной зоне (т. 38–40, 58) и в почвах застройки мало- и многоэтажными домами в центре (т. 31, 32, 35, 36, 48, 49, 60, 64), в восточной части рядом с оз. 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 оз. Нюдъявр (т. 1, 3).

В почвах березового и ивового леса вблизи пересечения пр. Ленина и ул. Комарова на берегу р. Нюдуай (т. 67), на Привокзальном шоссе (т. 1, 38), вблизи частного деревянного сектора (т. 39), панельной застройки окрестностей морга (т. 65), ЗАГСа, центрального парка (т. 50, 66), на пересечении ул. Нюдовской и Новопроложенной на участке малоэтажной застройки (т. 51) отмечены максимальные значения удельной активности ^{226}Ra в почвах. На остальной территории города значения указанного параметра для ^{226}Ra были менее 10 Бк/кг.

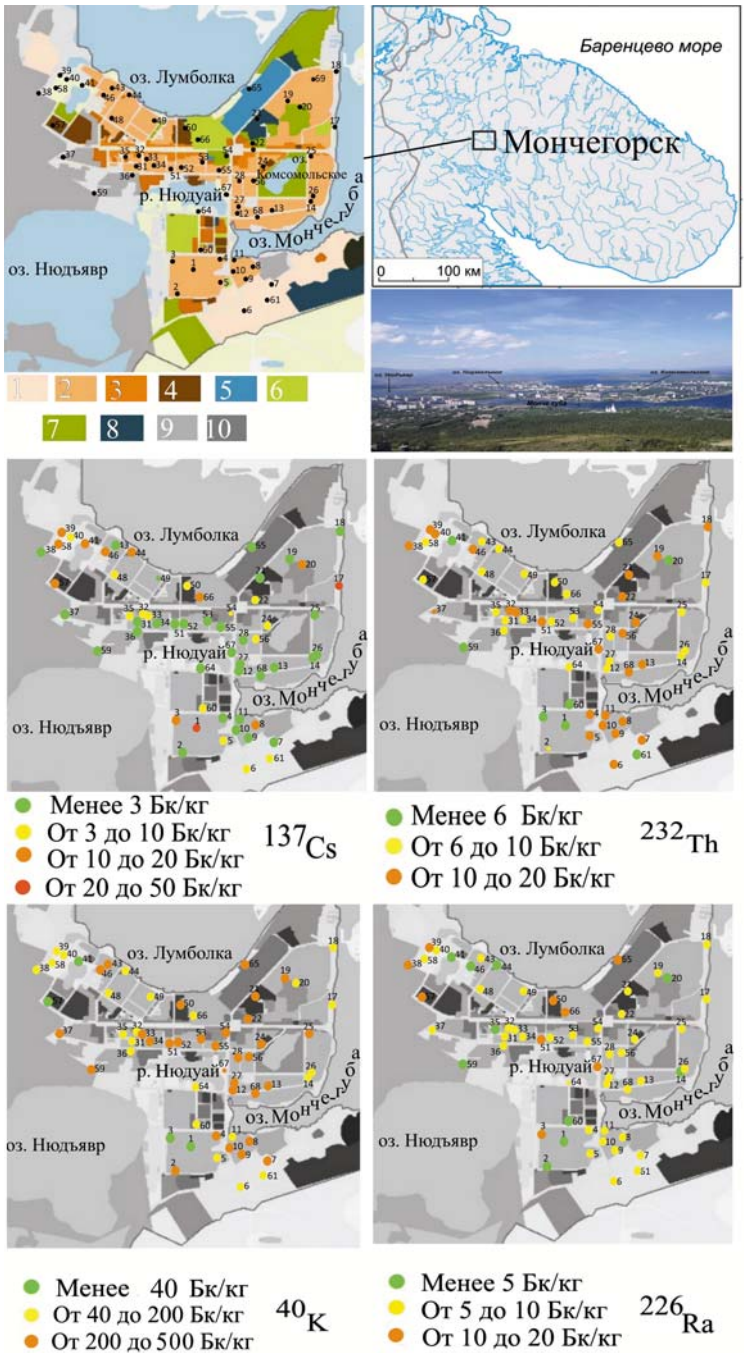

Рис. 2. Расположение точек отбора почвенных проб в г. Мончегорске на фрагменте картосхемы функционального зонирования территории [г. Мончегорск...], включая зоны:

1 – малоэтажной жилой застройки, 2 – застройки многоэтажными 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

Fig. 2. Location of soil sampling points in Monchegorsk on a fragment of the functional zoning map of the city territory [City of Monchegorsk...], including the zones:

1 – low-rise residential buildings, 2 – multi-storey buildings, 3 – residential buildings in the city center, 4 – retailfacilities, 5 – healthcare institutions; 6 – parks and squares, 7 – urban forests, forest parks, 8 – sports facilities, 9 – industrial and communal services, 10 – engineering support facilities

Таблица 1. Удельная активность радионуклидов в пробах городской почвы, Бк/кг

Table 1. Specific activity of radionuclides in urban soil samples, Bq/kg

Радионуклиды Radionuclides	Удельная активность радионуклидов Specific activity of radionuclides					
	Городские почвы Urban soils			Почвы в зоне влияния промышленной площадки комбината «Североникель» Н-1 (точки отбора проб МФ1–МФ11 обозначены на рис. 1, С) The soils exposed to the impact of the Severonickel Combine H-1 industrial site (sampling points MF1–MF11 are marked in Fig. 1, C)		
	Минимальные и максимальные значения Minimum and maximum values	Среднее значение и стандартное отклонение Average value and standard deviation	Количество образцов выше нижнего предела обнаружения Number of samples above the lower limit of detection	Минимальные и максимальные значения Minimum and maximum values	Среднее значение и стандартное отклонение Average value and standard deviation	Количество образцов выше нижнего предела обнаружения Number of samples above the lower limit of detection
^{137}Cs	3,1–31,3	11,78 ± 8,5	0	3,5–63,4	20,5 ± 21,9	6,4
^{226}Ra	4,7–14,2	8,08 ± 2,2;	0	5,1–21,6	6,2 ± 7,2	4,4
^{232}Th	4,9–18,3	10,25 ± 2,9	10,3	5,3–17	11,1 ± 5,2	12,8
^{40}K	74,8–498	212,94 ± 68,8	244	82,2–317	176 ± 91	195

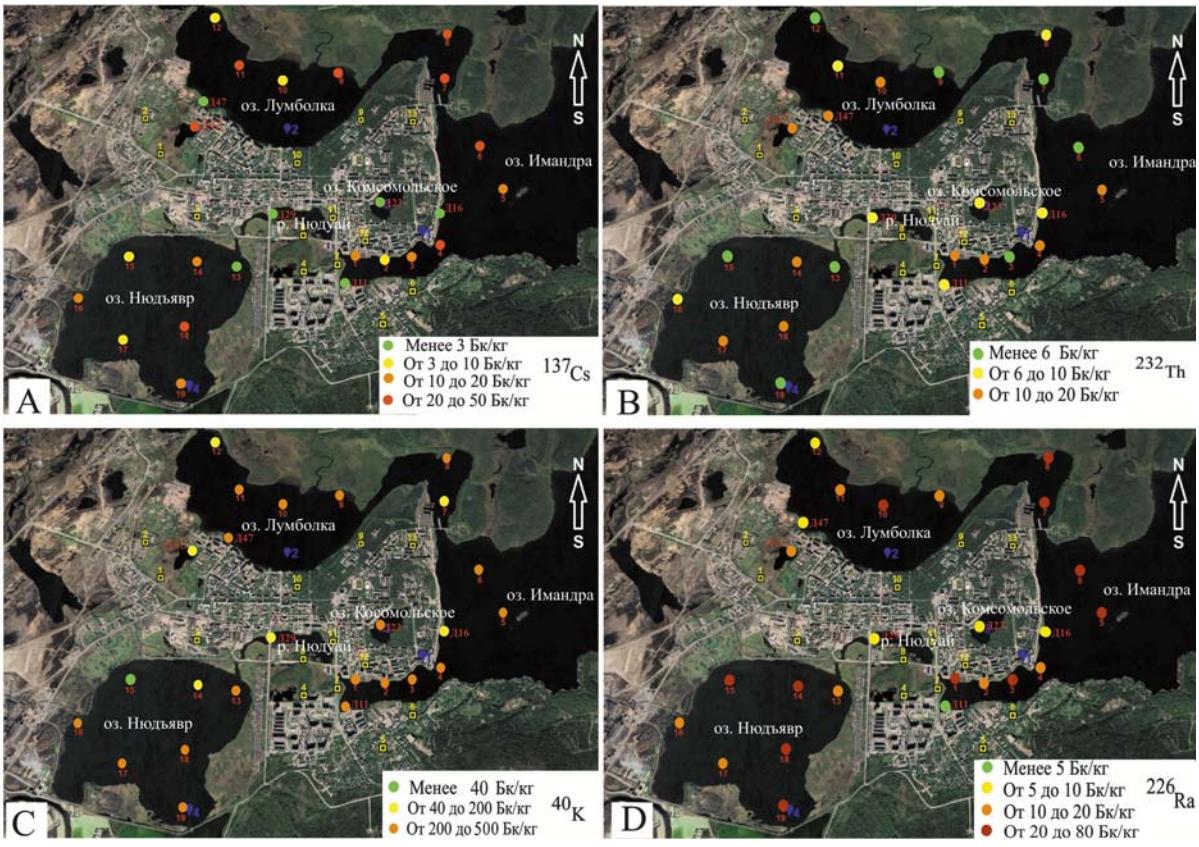

Рис. 3. Пространственное распределение удельной активности ^{137}Cs (A) и естественных радионуклидов в донных отложениях озер Лумболка, Нюдъявр, Комсомольское, Имандра и реки Нюдуай г. Мончегорска (Бк/кг): ^{232}Th (B), ^{40}K (C) и ^{226}Ra (D)

Fig. 3. Spatial distribution of specific activity of ^{137}Cs (A) and natural radionuclides in bottom sediments of Lakes Lumbolka, Nyudyavr, Komsomolskoye, Imandra, and the River Nyuduay of the city of Monchegorsk (Bq/kg): ^{232}Th (B), ^{40}K (C) and ^{226}Ra (D)

В почвах березового и ивового леса вблизи пересечения пр. Ленина и ул. Комарова на берегу р. Нюдуай (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, как и ^{226}Ra, была 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 Нюдъявр (т. 59).

Среднее значение удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в почвах вблизи многоэтажных домов составило 11,7, в пределах производственно-коммунальной зоны – 15,4, вблизи малоэтажных домов – 4,5, в районах застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 7,6, а в зоне объектов инженерного обеспечения – менее 3 (рис. 4). Среднее значение удельной активности ^{137}Cs в донных отложениях озер Лумболка, Нюдъявр, Комсомольское, Имандра и р. Нюдуай составило 16,9 Бк/кг (рис. 5).

Распределение максимальных значений удельной активности естественных радионуклидов (Бк/кг) в донных отложениях озер выглядит следующим образом. В оз. Лумболка: ^{226}Ra – 62,6, ^{232}Th – 4,5, а распределение ^{40}K (247,7) в донных отложениях сопоставимо с таковым в почвах. В оз. Нюдъявр: ^{226}Ra – 32,9, ^{232}Th – менее 5, ^{40}K – 268. В оз. Комсомольское: ^{226}Ra – 5,8, ^{232}Th – менее 6,5, ^{40}K – 231,4. В р. Нюдуай: ^{226}Ra – 6,7, ^{232}Th – 9,1, ^{40}K – 151,5. В оз. Имандра: ^{226}Ra – 25, ^{232}Th – 7,3, ^{40}K – 265.

Распределение же средних значений удельной активности естественных радионуклидов (Бк/кг) в донных отложениях озер показало, что для ^{226}Ra это 21,8, то есть почти в 2,3 раза больше, чем в почвах, а для ^{232}Th – 10,2,

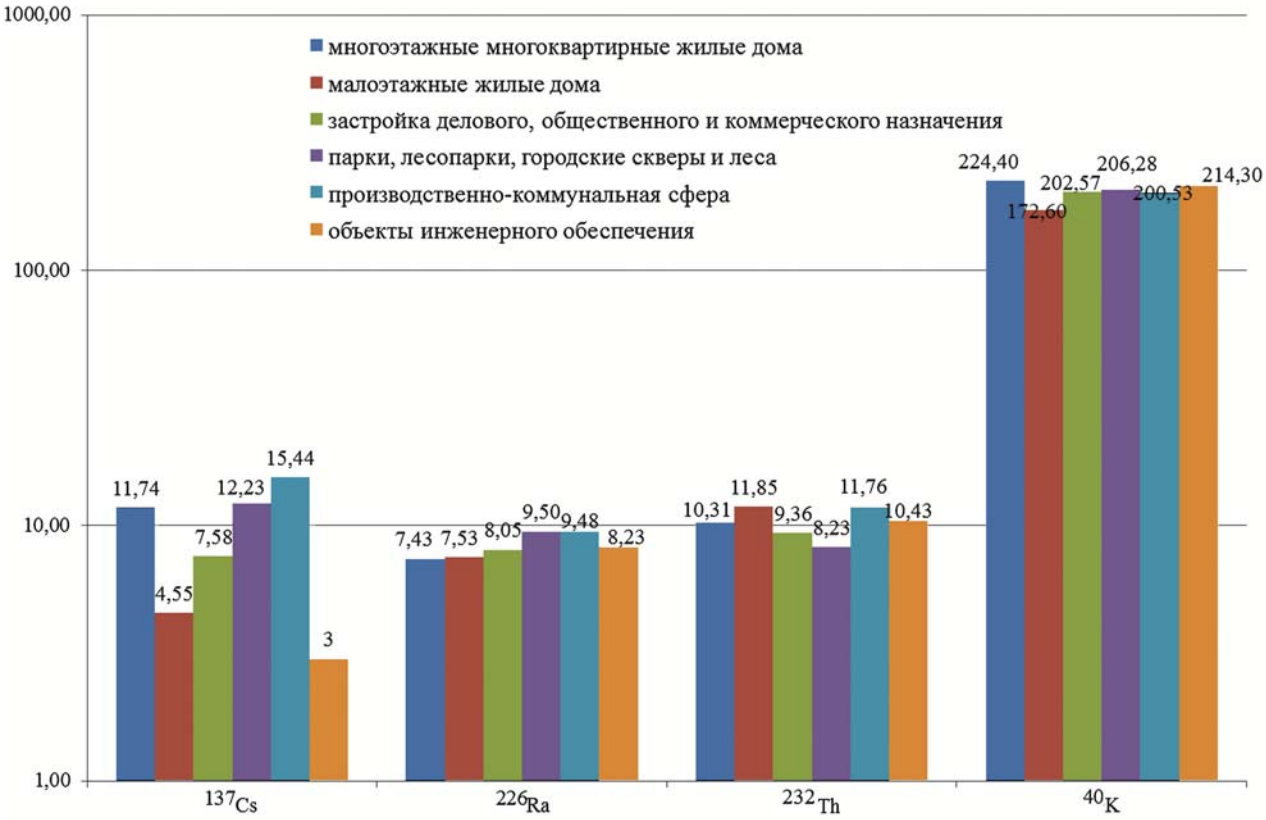

Рис. 4. Средние значения удельной активности ^{137}Cs и естественных радионуклидов (Бк/кг) в почвах функциональных зон г. Мончегорска.

Здесь и на рис. 5 использован логарифмический масштаб

Fig. 4. Average values of specific activity of ^{137}Cs and natural radionuclides (Bq/kg) in soils of the functional zones of Monchegorsk:

dark blue – multi-storey residential buildings, red – low-rise buildings, green – business, public and commercial buildings, purple – parks, forest parks, city squares and forests, blue – industrial and communal sphere, brown – engineering support facilities. Here and in Fig. 5: a logarithmic scaleis used

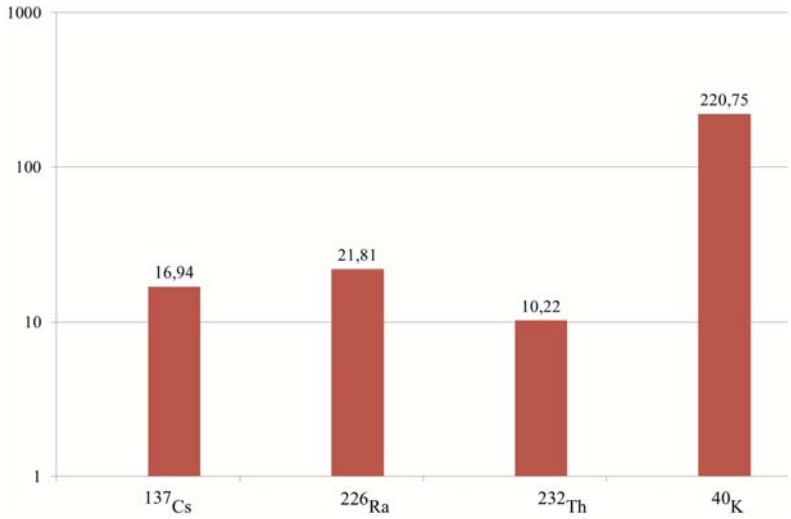

Рис. 5. Средние значения удельной активности ^{137}Cs и естественных радионуклидов (Бк/кг) в донных отложениях озер Лумболка, Нюдъявр, Комсомольское, Имандра и р. Нюдуай г. Мончегорска (n = 25)

Fig. 5. Average values of specific activity of ^{137}Cs and natural radionuclides (Bq/kg) in bottom sediments of Lakes Lumbolka, Nyudyavr, Komsomolskoye, Imandra, and the River Nyuduay, Monchegorsk (n = 25)

почти в 1,15 раза меньше, чем в почвах. Распределение ^{40}K 220,7 Бк/кг в донных отложениях озер сопоставимо с таковым в почвах.

Статистические показатели изменения удельной активности радионуклидов в почвах и в донных отложениях озер г. Мончегорска представлены в табл. 2. Среднеквадратическое отклонение позволяет оценить, насколько значения из множества могут отличаться от среднего значения. Так, в городских почвах 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 естественных радионуклидов – однородной (33 % или менее).

В донных отложениях оз. Лумболка, Нюдъявр, Комсомольское, Имандра и р. Нюдуай выявлено среднеквадратическое отклонение для ^{226}Ra меньше среднего значения в 1,6 раза, для ^{137}Cs – в 1,4 раза, для ^{232}Th – в 2 раза, а для ^{40}K – почти в 4,7 раза. Для ^{137}Cs, ^{226}Ra и ^{232}Th совокупность оказалась неоднородной (70, 62, 50 % соответственно), для ^{40}K – однородной (33 % или менее) (табл. 2).

Таблица 2. Статистические показатели изменения удельной активности радионуклидов в почвах и донных отложениях озер Лумболка, Нюдъявр, Комсомольское, Имандра и реки Нюдуай

Table 2. Statistical indicators of changes in the specific activity of radionuclides in soils and bottom sediments of Lakes Lumbolka, Nyudyavr, Komsomolskoye, Imandra, and the River Nyuduay

Статистический параметр / Statistical parameter	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Городские почвы / Urban soils				
Выборка / Sample, n	58	58	58	58
Максимум / Maximum	31,3	14,2	18,3	498
Минимум / Minimum	3,1	4,7	4,9	74,8
Среднеквадратичное отклонение по выборке / Sample standard deviation	8,6	2,2	3	69,5
Коэффициент вариации / The coefficient of variation, %	73	28	29	33
Донные отложения / Bottom sediments				
Выборка /Sample, n	25	25	25	25
Максимум / Maximum	45,8	62,6	23,5	268
Минимум / Minimum	4,1	4,3	2,8	127
Среднеквадратичное отклонение по выборке / Sample standard deviation	11,8	13,6	5	46,4
Коэффициент вариации / The coefficient of variation, %	70	62	50	21

Корреляционный анализ удельной активности радионуклидов и фракционного состава почвы (табл. 3) выявил получение корреляции с высоким уровнем статистической значимости (с учетом p-value) между ^{226}Ra и ^{137}Cs.

Аналогичный анализ удельной активности радионуклидов и содержания песка (1–2 мм, 500 мкм – 1 мм, 250–500 мкм, 125–250 мкм) и илистой фракции (45 и < 45 мкм) в донных отложениях озер (табл. 4) выявил получение корреляции с высоким уровнем статистической значимости (с учетом p-value) между ^{232}Th и фракцией 1 мм, а также отмечена корреляция с тесной связью между ^{226}Ra и фракцией < 45 мкм.

Основную часть почвенных образцов составили фракции мелкозема (мелкозернистого песка) размером 100 и 250 мкм (по 27 и 24 % соответственно). Минимальное количество было характерно для фракций от тонкой глины до среднезернистого ила (пелиты) размером < 45 мкм (5 %) (рис. 6, А). Анализ гранулометрического состава почв показал, что состав городских почв в основном представлен фракциями мелкозема размером 100, 250 и 500 мкм. Преобладают песчаные частицы (42 %), среди которых значительно содержание гравия (19 %).

Анализ отобранных проб донных отложений показал, что в исследованных озерах преобладают фракции мелко- и среднезернистого песка размером 100 мкм (27 %) и 250 мкм (21 %). Возможно, это связано с тем, что большая часть донных отложений отбиралась дночерпателем на глубинах до 10 м в прибрежной зоне озер. Фракции грубозернистого песка (1–2 мм) занимают 25 %, среднезернистого песка (250–500 мкм) – 34 % (рис. 6, В). Илистая фракция (45–100 мкм) составляет 37 %, что отмечено в [Мясникова, Потахин, 2021].

В рамках исследований Мончегорска проведена гамма-съемка местности с использованием мобильного гамма-спектрометра RS-700 [Mobile...] (рис. 7). В пределах города можно выделить три локальные зоны гамма-излучения (от 0,056 до 0,074 мкЗв/ч) (рис. 7), которое, однако, не превышает среднего по России (от 0,04 до 0,20 мкЗв/ч). Западная граница одной из этих зон расположена в районе застройки панельными многоэтажными домами в районе улиц 10-й Гвардейской дивизии и Школьной. Далее центральная зона протягивается вдоль пр. Металлургов и Комсомольской улицы до пересечения с ул. Нюдовской. Северо-восточная зона гамма-излучения приурочена к кварталу с панельными многоэтажными домами в районе Ленинградской набережной и ул. Кирова.

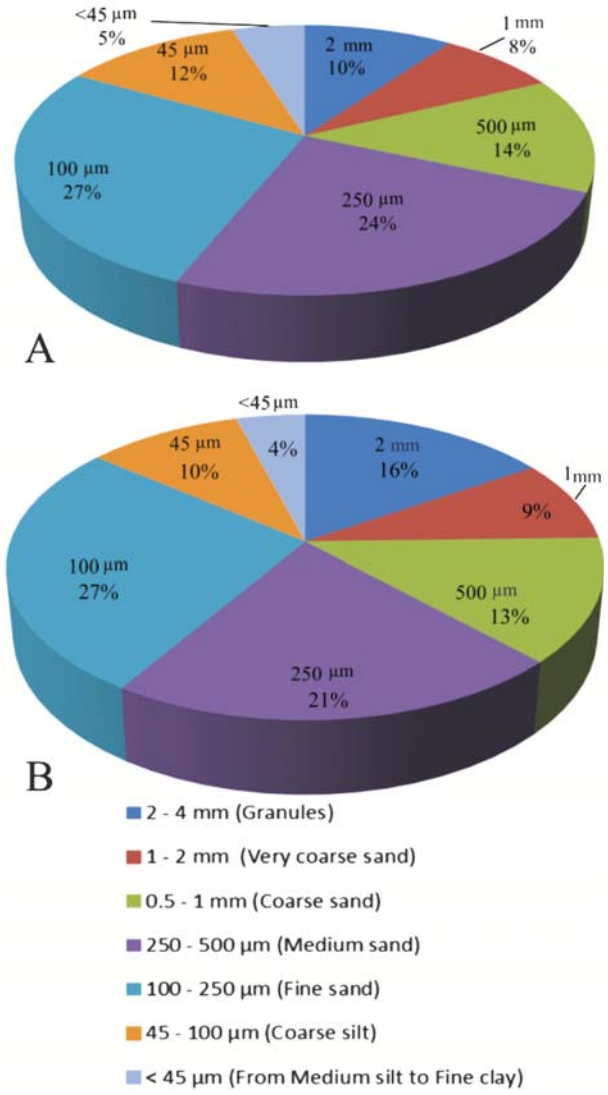

Рис. 6. Соотношение фракционного состава почв (А) и донных отложений озер Лумболка, Нюдъявр, Комсомольское, Имандра и реки Нюдуай (В) г. Мончегорска (%)

Fig. 6. The ratio of the fractional composition of soils (A) and bottom sediments of Lakes Lumbolka, Nyudyavr, Komsomolskoye, Imandra, and the River Nyuduay (B), Monchegorsk (%)

Южная зона гамма-излучения приурочена к панельным многоэтажным домам в районе улиц Грузовой и Морошковой и к югу пр. Ленина. Также можно выделить две зоны гамма-излучения с меньшими значениями на востоке города в районе пятиэтажных панельных домов на ул. Бредова и пр. Металлургов. Повышение значений гамма-излучения в Мончегорске характерно для территорий с кирпичной застройкой 70–80-х годов XX века и районов расположения малых архитектурных форм, построенных с применением гранита.

Таблица 3. Корреляционная матрица между удельной активностью радионуклидов и содержанием частиц почвенного скелета (2 мм), фракций почвенного мелкозема (менее 1 мм) в почве

Table 3. Correlation matrix between the specific activity of radionuclides and the content of soil skeleton particles (2 mm), fractions of soil fine earth (less than 1 mm) in the soil

	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	–,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. Здесь и в табл. 4: градиенты силы связи обозначены цветом от красного с минимальным до зеленого с максимальным значением коэффициента корреляции; критические значения коэффициентов корреляции выделены полужирным шрифтом. p-value – наименьшее значение уровня значимости.

Note. Here and in Table 4: gradients of connection strength are indicated by color from red with a minimum value of the correlation coefficient to green with a maximum one; critical values of correlation coefficients are given in bold. p-value – the lowest value of the significance level.

Таблица 4. Корреляционная матрица между удельной активностью радионуклидов и содержанием песка: очень грубого (1–2 мм), грубого (500 мкм – 1 мм), среднего (250–500 мкм), мелкого (125–250 мкм) и ила (пелиты): очень грубого (45 мкм) и среднего (< 45 мкм) до тонкой глины в донных отложениях озер

Table 4. Correlation matrix between the specific activity of radionuclides and the content of sand: very coarse (1–2 mm), coarse (500 μm – 1 mm), medium (250–500 μm), fine (125–250 μm) and silt (pelites): very coarse (45 μm) and medium (< 45 μm) to fine clay in sediments of lakes

	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	0,54	1									
p-value	0	-									
500 мкм	0,06	0,14	1								
p-value	0,76	0,49	-								
250 мкм	–0,19	–0,28	0,37	1							
p-value	0,35	0,15	0,06	-							
100 мкм	–0,41	–0,50	–0,67	–0,04	1						
p-value	0,03	0,01	0,00	0,83	-						
45 мкм	–0,54	–0,26	–0,14	–0,41	–0,07	1					
p-value	0,00	0,19	0,49	0,03	0,74	-					
< 45 мкм	–0,40	–0,27	0,12	–0,29	–0,28	0,58	1				
p-value	0,04	0,17	0,54	0,14	0,16	0,00	-				
^{137}Cs	–0,07	–0,09	0,01	–0,23	–0,16	0,38	0,33	1			
p-value	0,76	0,68	0,96	0,30	0,47	0,08	0,13	-			
^{226}Ra	–0,31	–0,12	0,09	–0,17	–0,19	0,48	0,52	0,43	1		
p-value	0,14	0,57	0,68	0,41	0,37	**0,02**	**0,01**	**0,04**	-		
^{232}Th	0,09	0,62	–0,07	–0,25	–0,22	0,15	–0,21	–0,32	0,28	1	
p-value	0,69	**0,00**	0,75	0,27	0,33	0,51	0,36	0,20	0,23		
^{40}K	–0,29	–0,09	–0,39	–0,54	0,37	0,36	0,24	–0,14	–0,01	0,02	1
p-value	0,17	0,66	0,06	**0,01**	0,08	0,09	0,25	0,56	0,95	0,94	0,17

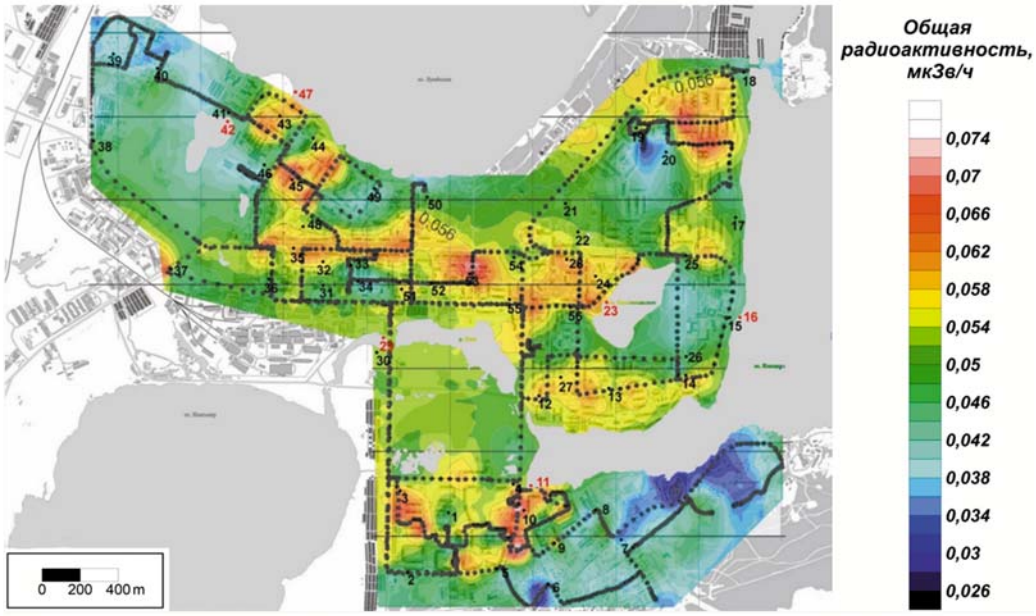

Рис. 7. Гамма-съемка территории города с использованием мобильного гамма-спектрометра RS-700. Пунктиром показаны автомобильные маршруты измерений мощности дозы гамма-излучения

Fig. 7. Gamma survey of the city territory using a mobile gamma spectrometer RS-700; gamma radiation dose rate, μSv/h. The dotted line shows automobile routes for gamma radiation dose rate measurements

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 значения были менее 0,03 мкЗв/ч (рис. 7).

Выводы

1. Полученные оригинальные данные по удельной активности техногенного ^{137}Cs в почвах г. Мончегорска не превышают значений глобального радиоактивного фона и характерных для исследуемой территории. На его пространственное распределение могли оказать влияние выпадения в результате стратосферного переноса радиоактивности в результате ядерных испытаний на земном шаре, а также испытания на ядерном полигоне архипелага Новая Земля и антропогенный фактор. На пространственное распределение и активность естественных радионуклидов (^{232}Th, ^{226}Ra, ^{40}K) в почвах г. Мончегорска влияние оказывают близкое залегание горных пород, которые представлены гнейсами, кристаллическими сланцами, гранодиоритами, диоритами и диорито-гнейсами, привнесение в почвенный покров строительного мусора, перемешивание почвы во время застройки территории (рекультивационные работы).

2. При анализе внутригородского распределения радионуклидов выяснено, что максимальное значение удельной активности ^{137}Cs 31,3 Бк/кг отмечалось в городской черте в почвах в пределах распространения производственно-коммунальной сферы. Среднее значение удельной активности ^{137}Cs в почвах вблизи многоэтажных домов составило 11,7 Бк/кг, производственно-коммунальной сферы – 15,4 Бк/кг, малоэтажных домов – 4,5 Бк/кг, застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 7,6 Бк/кг, объектов инженерного обеспечения – менее 3 Бк/кг. Распределение средних значений удельной активности естественных радионуклидов в почвах функциональных зон г. Мончегорска имеет равномерный характер, причем распределение ^{232}Th (11,8 Бк/кг) в почвах вблизи малоэтажных домов и ^{226}Ra (9,5 Бк/кг) в почвах парков и лесопарков имеет схожий характер. Средние значения удельной активности ^{137}Cs, ^{226}Ra и ^{232}Th в зоне влияния площадки Н-1 комбината «Североникель» на подфакельных территориях были выше, чем в городе. Возможно, это связано с периодическим обновлением почвенного покрова в этой зоне в результате рекультивационных работ.

3. Гамма-съемка территории г. Мончегорска не выявила аномалии радиационного фона.

Мощность дозы гамма-излучения территории города не превышает 0,074 мкЗв/час, что меньше значений по России (от 0,04 до 0,20 мкЗв/ч). Повышение значений характерно для территорий с кирпичной застройкой 70–80-х годов XX века и районов расположения малых архитектурных форм, построенных с применением гранита. В целом радиационная обстановка в городе вполне благополучная. Пониженные фоновые значения характерны для городских окраин, пустырей, парковых зон и спортивных площадок. Высоко- и среднеэтажные жилые массивы и промышленные территории характеризуются более высокими значениями. Подобные колебания гамма-фона связаны в первую очередь с особенностями применяемых при строительстве материалов – кирпича, щебня, наполнителей асфальта.

4. Основную часть анализируемых почвенных образцов составили фракции мелко- и среднезернистого песка с размером частиц 100 и 250 мкм (по 27 и 24 % соответственно), минимальное количество – с размером < 45 мкм (5 %). В донных отложениях озер также преобладают фракции мелко- и среднезернистого песка размером 100 и 250 мкм – по 27 и 21 % соответственно, 1–2 мм – 25 %, 250–500 мкм – 34 %. Илистая фракция (45–100 мкм) составляет 37 %.

5. Анализ радиоактивности и фракционного состава почвы выявил получение корреляции с высоким уровнем статистической значимости (с учетом p-value) между ^{226}Ra и ^{137}Cs. Анализ удельной активности радионуклидов и содержания песка и илистой фракции в донных отложениях озер выявил корреляцию с высоким уровнем статистической значимости между ^{232}Th и фракцией 1 мм. Также была отмечена корреляция с тесной связью между ^{226}Ra и фракцией < 45 мкм.

6. Максимальное значение активности ^{137}Cs в донных отложениях озер Лумболка, Нюдъявр, Комсомольское, Имандра, р. Нюдуай составило 45,8 Бк/кг при среднем 16,9 Бк/кг. Распределение же средних значений активности естественных радионуклидов в донных отложениях показало для ^{226}Ra величину 21,8 Бк/кг, что в 2,2 раза больше, чем в почвах, а для ^{232}Th – 10,2 Бк/кг, что в 1,5 раза меньше по сравнению с почвами. Распределение ^{40}K (220,7 Бк/кг) в донных отложениях озер сопоставимо с таковым в почвах.

Литература

Астафьев Б. Ю., Богданов Ю. Б., Воинова О. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Q-(35), 36 Апатиты. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 436 с.

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

г. Мончегорск с подведомственной территорией [Электронный ресурс]. URL: https://monchegorsk.gov-murman.ru/vlast/administratsiya/sostav/otdel-arkhitektury-i-gradostroitelstva/generalnyy-plan-goroda-monchegorska/generalnyy-plan-goroda-monchegorska (дата обращения: 16.04.2024).

Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Тяжелые металлы в донных отложениях озер центральной и юго-западной частей Мурманской области // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 3(26). С. 73–88.

Игловский С. А., Баженов А. В., Кряучюнас 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. Т. 13, № 3. С. 473–481. doi: 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. С. 51–57. doi: 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. Оленегорск (Мурманская область) // Почвы и окружающая среда. 2023в. Т. 6, № 4. e225. doi: 10.31251/pos.v6i4.225

Кряучюнас 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. doi: 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 радиоэкологической оценки // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 2. С. 27–43. doi: 10.17076/geo1284

Мотузова Г. В., Лукина Н. В., Никонов В. В., Даувальтер М. В., Зорина А. В. Влияние природных и техногенных факторов на почвы, почвенные и грунтовые воды Кольского полуострова // Водные ресурсы. 2004. Т. 31, № 3. С. 325–331.

Мясникова Н. А., Потахин М. С. Гранулометрический состав донных отложений озера Торосъярви (бассейн Белого моря) // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. 2021. № 1. С. 45–56. doi: 10.17308/geo.2021.1/3255

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-обогатительного комплекса // Экология человека. 2019. № 5. С. 11–14. doi: 10.33396/1728-0869-2019-5-11-14

Kuzmenkova N., Vorobyova T. Landscape-geochemical mapping of territory in the north-west of Kola Peninsula // J. Geochem. Explor. 2015. No. 154. P. 194–199. doi: 10.1016/j.gexplo.2014.12.016

Mobile radiometric control system RS-700. URL: http://www.radiationsolutions.ca/wp-content/uploads/2019/02/RS700-Feb-2019.pdf (дата обращения: 16.04.2024).

Puhakainen M., Heikkinen T., Steinnes E., Thørring H., Outola I. Distribution of ^{90}Sr and ^{137}Cs in Arctic soil profiles polluted by heavy metals // J. Environ Radioact. 2005. Vol. 81(2-3). P. 295–306. doi: 10.1016/j.jenvrad.2005.01.006

Yakovlev E., Puchkov A., Druzhinin S. Evaluation of current natural and anthropogenic radionuclide activity in coastal area bottom sediments of the Barents Sea (North of the Kola Peninsula) // Mar. Pollut. Bull. 2023. Vol. 189. Art. 114809. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.114809

References

Astaf'ev B. Yu., Bogdanov Yu. B., Voinova O. A. et al. State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Baltic series. Sheet Q-(35), 36 – Apatity. Explanatory letter. St. Petersburg: VSEGEI; 2012. 436 p. (In Russ.)

City of Monchegorsk and its administered area. URL: https://monchegorsk.gov-murman.ru/vlast/administratsiya/sostav/otdel-arkhitektury-i-gradostroitelstva/generalnyy-plan-goroda-monchegorska/generalnyy-plan-goroda-monchegorska (accessed: 16.04.2024).

Dauval'ter V. A., Kashulin N. A. Heavy metals in lake sediments of the central and southwest parts of the Murmansk Region. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN = Herald of the Kola Science Centre of the RAS.* 2016;3(26):73–88. (In Russ.)

Iglovskii S. A., Bazhenov A. V., Kryauchyunas V. V., Yakovlev E. Yu. Features of the spatial distribution of ^{137}Cs, ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th in the soils of the city of Kirovsk (Murmansk Region). *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economy*. 2023;13(3):473–481. (In Russ.). doi: 10.25283/2223-4594-2023-3-473-481

Iglovskii S. A., Bazhenov A. V., Yakovlev E. Yu. Specific spatial distribution of ^{137}Cs, ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th in soils of the city of Polyarnyye Zori (Murmansk Region). *Vestnik geonauk = Vestnik of Geosciences*. 2023;10(346):51–57. (In Russ.). doi: 10.19110/geov.2023.10.6

Iglovskii S. A., Bazhenov A. V., Yakovlev E. Yu. Spatial distribution of ^{137}Cs, ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th in soils of the city of Olenegorsk (Murmansk Region). *Pochvy i okruzhayushchaya sreda = The Journal of Soils and Environment.* 2023;6(4):e225. (In Russ.). doi: 10.31251/pos.v6i4.225

Kryauchyunas V. V., Kuznetsova I. A., Kotova E. I., Iglovskii S. A., Mironenko K. A., Sukhanov S. G. Natural and technogenic radionuclides in soils in a small Russian arctic town. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology.* 2020;5:11–20. (In Russ.). doi: 10.33396/1728-0869-2020-5-11-20

Kuzmenkova N., Vorobyova T. Landscape-geochemical mapping of territory in the north-west of Kola Peninsula. *J. Geochem. Explor.* 2015;154:194–199. doi: 10.1016/j.gexplo.2014.12.016

Melent'ev G. B. Natural radioactivity of rare-metal specialized mineral raw materials and urbanized areas in the Karelian-Kola region as a factor in their radioecological assessment. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS*. 2021;2:27–43. (In Russ.). doi: 10.17076/geo1284

Mobile radiometric control system RS-700. URL: http://www.radiationsolutions.ca/wp-content/uploads/2019/02/RS700-Feb-2019.pdf (accessed: 16.04.2024).

Motuzova G. V., Lukina N. V., Nikonov V. V., Dauval'ter M. V., Zorina A. V. Influence of natural and technogenic factors on soils, soil and groundwater of the Kola Peninsula. *Vodnye resursy = Water Resources*. 2004;31:3:325–331. (In Russ.)

Myasnikova N. A., Potakhin M. S. Granulometric composition of bottom sediments of Lake Torosyarvi (White Sea basin). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology.* 2021;1:45–56. (In Russ.). doi: 10.17308/geo.2021.1/3255

Nikanov A. N., Gudkov A. B., Shelkov M. V., Popova O. N., Shcherbina F. A., Shcherbina A. F. Characteristics of the radiation background of the Arctic territory in the area of the mining and processing complex. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology.* 2019;5:11–14. (In Russ.). doi: 10.33396/1728-0869-2019-5-11-14

Puhakainen M., Heikkinen T., Steinnes E., Thørring H., Outola I. Distribution of ^{90}Sr and ^{137}Cs in Arctic soil profiles polluted by heavy metals. *J. Environ. Radioact*. 2005;81(2-3):295–306. doi: 10.1016/j.jenvrad.2005.01.006

Vorob'eva T. A., Evseev A. V., Kuz'menkova N. V. Radiogeochemical studies of the state of the landscapes of the Kola Peninsula. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economy*. 2017;2:(26):17–26. (In Russ.). doi: 10.25283/2223-4594-2017-2-17-26

Yakovlev E., Puchkov A., Druzhinin S. Evaluation of current natural and anthropogenic radionuclide activity in coastal area bottom sediments of the Barents Sea (North of the Kola Peninsula). *Mar. Pollut. Bull.* 2023;189:114809. doi: 10.1016/j.marpolbul.2023.114809

Поступила в редакцию / received: 17.04.2024; принята к публикации / accepted: 29.11.2024.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Игловский Станислав Анатольевич

канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии

e-mail: iglovskys@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Iglovsky, Stanislav

Cand. Sci. (Geogr.), Leading Researcher

Баженов Александр Викторович

канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии

e-mail: abv-2009@yandex.ru

Яковлев Евгений Юрьевич

канд. геол.-мин. наук, заведующий лабораторией экологической радиологии Института геодинамики и геологии

e-mail: yakov24lev99@mail.ru

Bazhenov, Alexander

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher

Yakovlev, Evgeny

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Head of Laboratory of Ecological Radiology, Institute of Geodynamics and Geology