



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 502.53(470.21)

DOI:10.19110/geov.2023.10.6

Особенности пространственного распределения ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в почвах г. Полярные Зори (Мурманская область)

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

ФИЦ комплексного изучения Арктики УрО РАН, Архангельск
iglovskys@mail.ru; abv-2009@yandex.ru; yakov24lev99@mail.ru

В статье рассмотрены закономерности пространственного распределения ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в верхнем (0–5 см) слое почв основных функциональных зон г. Полярные Зори. Анализ общей гамма-активности территории с использованием мобильного гамма-спектрометрического комплекса RS-700 показал, что в пределах города можно выделить три локальные аномалии повышенного гамма-излучения, которые приурочены к домам высокой этажности. В ненарушенных торфяных почвах в районе Кольской АЭС и в зоне городских лесов и парков максимальная удельная активность техногенного ^{137}Cs составила 29.5 и 28.8 Бк/кг соответственно. В других функциональных зонах города активность ^{137}Cs в 5 раз меньше. По результатам корреляционного анализа можно утверждать, что техногенный ^{137}Cs имеет умеренную связь (по шкале Чеддока) с фракцией 45 и 500 мкм. ^{232}Th имеет высокую связь с ^{226}Ra , а ^{40}K – с ^{232}Th , что является статистически значимыми результатами при учете P-Value. Можно предположить, что естественные радионуклиды ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra имеют умеренную связь с фракцией 1 мм из-за присутствия в верхнем слое почв частиц этого размера. Отмечается умеренная связь между ^{232}Th и ^{40}K .

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

Specific spatial distribution of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th in soils of the city of Polyarnyye Zori (Murmansk region)

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

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the UB RAS

The article examines patterns of spatial distribution of ^{137}Cs and natural radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K in the upper (0–5 cm) layer of soils in the main functional zones of the city of Polyarnyye Zori. The analysis of the general gamma activity of the territory, using RS-700 mobile gamma spectrometric complex, showed, three local anomalies of increased gamma radiation, which were confined to high-rise buildings within the city. In undisturbed peat soils in the area of the Kola Nuclear Power Plant and in the area of urban forests and parks, the maximum specific activity of technogenic ^{137}Cs was 29.5 and 28.8 Bq/kg, respectively. In other functional zones of the city, the activity of ^{137}Cs was 5 times less. According to the results of the correlation analysis, the technogenic ^{137}Cs has a moderate relationship (on the Chaddock scale) with the 45 and 500 μm fraction. ^{232}Th has a high affinity with ^{226}Ra , and ^{40}K with ^{232}Th , which are statistically significant results when taking P-Value into account. It can be assumed that natural radionuclides ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra have a moderate association with the 1 mm fraction due to the presence of particles of this size in the upper soil layer. There is a moderate relationship between ^{232}Th and ^{40}K .

Keywords: specific radioactivity, urban soils, ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , Polyarnyye Zori, Murmansk region.

Основными источниками техногенной радиоактивности для изучаемой территории являлись: стратосферные выпадения в результате атмосферных ядерных испытаний, локальные (тропосферные) выпадения в результате испытаний на ядерном полигоне архипелага Новая Земля. Более ранние исследования (Kuzmenkova, Vorobyova, 2015; Никанов и др., 2019; Мелентьев, 2021) не определили повышенных значений естественной и техногенной радиоактивности в почвах Мурманской области. Удельная активность техногенного ^{137}Cs в верхнем слое почв (0–5 см) изменя-

ется от 3 до 60 Бк/кг (Воробьева и др., 2017). Несмотря на это, Кольский полуостров является местом, потенциально опасным для загрязнения радионуклидами в результате трансграничного воздушного переноса (Kuzmenkova, Vorobyova, 2015; Никанов и др., 2019; Мелентьев, 2021). Загрязнение почв ^{137}Cs соответствует уровню мирового фона, и ранее «существенных участков со следами выпадения радиоактивных осадков после аварии на Чернобыльской АЭС не выявлено» (Романович и др., 2006). Удельная активность естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th в ненарушенных

Для цитирования: 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. 2023. 10 (346). С. 51–57. DOI: 10.19110/geov.2023.10.6

For citation: 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, 2023, 10 (346), pp. 51–57, doi: 10.19110/geov.2023.10.6

почвах Хибинской тундры составляла: в болотной — от 7.03 до 71.06, а в горной тундре — от 15.17 до 27.75 Бк/кг (Никанов и др., 2019).

Город Полярные Зори расположен на возвышенной части берега оз. Пинозеро, а русло р. Нивы разделяет его на правую и левую части. Правобережный район сформирован системой городских озелененных территорий, водных объектов, а так же сеткой улиц и дорог. К городским озелененным территориям относятся: лесопарковая зона у берега оз. Пинозеро, парковые массивы внутри жилых кварталов. Правобережье р. Нивы — жилая зона, которая представлена преимущественно многоэтажной застройкой. Четвертый микрорайон сформирован 3- и 9-этажными жилыми домами. На севере города располагается промышленная зона (Карта ..., 2018).

Целью данной работы является получение оригинальных данных и выявление основных закономерностей пространственного распределения естественных и техногенных радионуклидов в почвах г. Полярные Зори в зависимости от типа городской застройки.

Предметом исследования являлась удельная активность ^{137}Cs , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K в городских и в фоновых ненарушенных почвах к югу от Кольской АЭС. Подобные исследования городских почв в Полярных Зорях не проводились.

Материалы и методы

Пробы почвы доводили до абсолютно сухого состояния при температуре 105 °С. В сосуде Маринелли проводились измерения удельной активности изотопов при помощи гамма-спектрометра «ПРОГРЕСС-2000» (Методика ..., 2016). Фракционный состав проб почвы выполнялся просеивающей машиной AS200 (Retsch, Германия) ситами с диаметром 200 мм и размером ячеек < 45, 45, 100, 250, 500 мкм, 1.2 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 выполнять измерения общей радиоактивности местности через скорость счета в секунду. Измерения выполнялись на высоте 1.7 м над поверхностью земли. Спектрометр размещали в багажнике, установленном на автомобиле. В общей сложности при гамма-спектрометрической съемке было обработано 370 точек измерений (рис. 3). Точность привязки составляла $\pm 1-1.5$ м (Мобильная система радиометрического контроля RS-700).

Результаты исследования

Летом 2018 г. проведены измерения удельной активности ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в почвах г. Полярные Зори. На первоначальном этапе определены зоны в соответствии с типом застройки и точки отбора проб почвы. В ходе экспедиционных работ было отобрано 18 проб во всех районах города, в пунктах, представленных на рисунке 1.

На большей части города широкое распространение получили урбиквиземы, индикатором которых служит генетический горизонт «урбик» — горизонт аккумуляции и биогенной трансформации органоминер-

ального и искусственного материала, формирующийся синлитогенно под воздействием антропогенной деятельности. Он характеризуется тем, что содержит не менее 10 % антропогенных включений. Реплантоземы представлены на газонах в кварталах с каменной застройкой. Наиболее сформировавшийся почвенный профиль отмечается под участками с древесной и кустарниковой растительностью в парковых и лесных зонах (Крячюнас и др., 2020). Функциональное зонирование территории г. Полярные Зори приведено на рисунке 1 (Карта ..., 2018). В зоны застройки домами высокой этажности попадают точки отбора проб почвы: 1, 6, 7, 11, 12, 14, 15, 17, 18; в зоны городских лесов и парков — 5, 8, 9; в зоны зеленых насаждений общего пользования — 2—4, 10, 13, 16.

По данным проведенных исследований установлено, что значения удельной активности ^{137}Cs в почвах от 10 до 29.5 Бк/кг (точки 3, 4, 9) получены в юго-восточной части города в почвах городских лесов, парков и в зоне зеленых насаждений общего пользования (рис. 1, а). Значения от 3 до 10 Бк/кг выявлены в почвах зон многоэтажной застройки и озелененных территорий специального назначения. Для почв остальных районов города значения ^{137}Cs составили менее 3 Бк/кг.

По данным выполненных исследований установлено, что максимальные значения удельной активности ^{40}K в почвах (от 40 до 340.5 Бк/кг) распределены практически равномерно по всей территории города. Значения менее 40 Бк/кг выявлены в почвах юго-восточной части города в зонах городских лесов, парков и зеленых насаждений общего пользования и коррелируют с распространением максимальных значений техногенного ^{137}Cs (рис. 1, д).

На рисунке 1, с показано, что максимальные значения удельной активности ^{232}Th в почвах (от 6 до 14.9 Бк/кг) относятся к почвам зоны застройки высокой и средней этажности. Значения менее 6 Бк/кг встречаются практически равномерно в почвах всех зон города.

По данным проведенных исследований установлено, что максимальные значения удельной активности ^{226}Ra в почвах (от 5 до 17.1 Бк/кг) относятся к зонам многоэтажной застройки и озелененных территорий специального назначения. Значения менее 5 Бк/кг встречаются практически равномерно в почвах всех зон города (рис. 1, б).

Обсуждение результатов

Более ранние исследования близлежащих территорий показали, что наибольшие значения удельной активности ^{137}Cs отмечаются в лесной подстилке и гумусовом горизонте (от 30 до 103) Бк/кг в окрестностях Кольской АЭС. Удельная активность ^{137}Cs в 15-километровой зоне от Кольской АЭС соответствует фоновым уровням, формирующимся в результате глобальных выпадений техногенных радионуклидов (Кизеев и др., 2018). Для сравнительного анализа авторами были отобраны пробы из верхнего 5-сантиметрового слоя ненарушенных торфяно-подзолистых почв в 2 км к югу от Кольской АЭС, где максимальные значения ^{137}Cs достигали 29.5 Бк/кг.

Средние значения удельной активности радионуклидов составили: ^{137}Cs в почвах вблизи домов высокой этажности г. Полярные Зори — 3.33 Бк/кг,

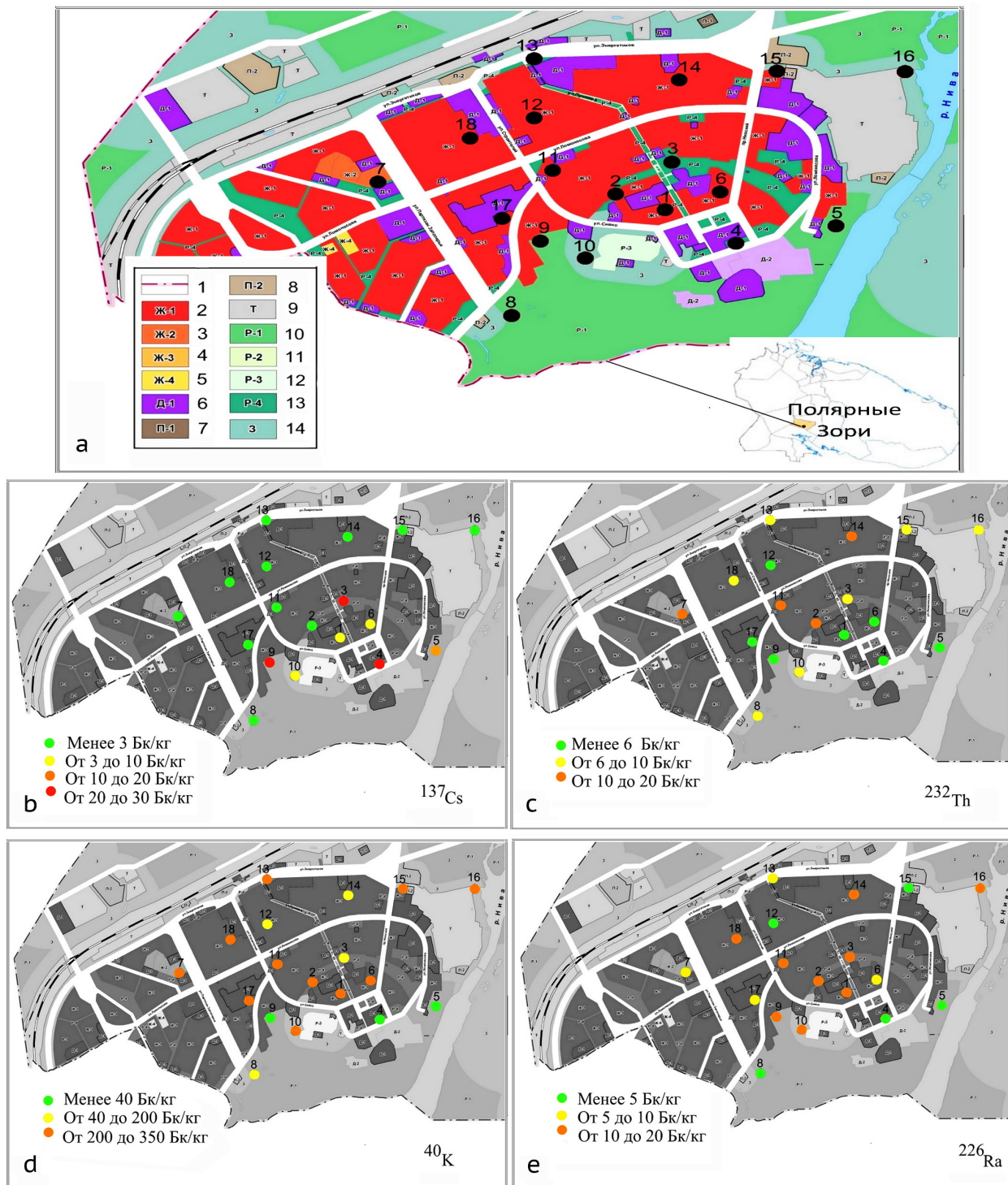


Рис. 1. Расположение точек отбора проб почвы в г. Полярные Зори на фрагменте картосхемы функционального зонирования территории города (а) по данным (Карта..., 2018) с изменениями: 1 – граница города, 2–14 – границы зон; 2–5 – жилые застройки: 2 – домами высокой этажности, 3 – многоквартирными домами средней этажности, 4 – малоэтажными блокированными домами, 5 – индивидуальными домами; 6 – зона многофункциональной общественно-деловой застройки; 7–9 – производственные зоны: 7 – I и III класса, 8 – IV и V класса, 9 – инженерной и транспортной инфраструктуры; 10–14 – рекреационные зоны: 10 – городских лесов и парков, 11 – спортивно-рекреационная, 12 – спортивных сооружений, 13 – зеленых насаждений общего пользования, 14 – озеленённых территорий спецназначения. Пространственное распределение активности техногенных ^{137}Cs (b) и естественных радионуклидов: ^{232}Th (c), ^{40}K (d), ^{226}Ra (e) (Бк/кг) в почвах города по данным (Карта..., 2018) с изменениями

Fig. 1. Location of soil sampling points in the city of Polyarnye Zori on a fragment of the map of the functional zoning of the city according (a) to (Urban..., 2018) with changes: 1 – boundary of the city, 2–14 – boundaries of the zones; 2–5 – residential buildings: 2 – high-rise, 3 – mid-rise multi-apartment, 4 – low-rise block, 5 – individual houses; 6 – multifunctional public and business buildings; 7–9 – industrial zones: 7 – I and III class, 8 – IV and V class, 9 – engineering and transport infrastructure; 10–14 – recreational zones: 10 – urban forests and parks, 11 – sports and recreational, 12 – sports facilities, 13 – public green spaces, 14 – green spaces for special purposes. Spatial distribution of the activity of technogenic ^{137}Cs (b) and natural radionuclides: ^{232}Th (c), ^{40}K (d), ^{226}Ra (e) (Bq/kg) in the soils of the city according to (Urban..., 2018) with changes

в пределах городских лесов и парков — 6.78 Бк/кг, в почвах зеленых насаждений общего пользования — 10.18 Бк/кг; ^{226}Ra в почвах рядом с домами высокой этажности — 9.36 Бк/кг, в почвах городских лесов и парков — 8.35 Бк/кг, в почвах зеленых насаждений общего пользования — 10.17 Бк/кг (рис. 2); ^{232}Th в почвах рядом с домами высокой этажности — 9.04 Бк/кг, в почвах городских лесов и парков — 7.79 Бк/кг, в почвах зеленых насаждений общего пользования — 8.2 Бк/кг; ^{40}K в почвах рядом с домами высокой этажности 216.58 Бк/кг, в почвах городских лесов и парков — 161.43 Бк/кг, в почвах зеленых насаждений общего пользования — 196.86 Бк/кг (рис. 3).

Анализ общего гамма-излучения территории г. Полярные Зори по результатам гамма-спектрометрических исследований с использованием мобильного комплекса RS-700 показал, что в пределах города можно выделить три локальные аномалии повышенного гамма-излучения (0.08—0.084 мкЗв/ч) (рис. 3), что не превышает средних значений по России (0.04—0.20 мкЗв/ч). Также можно выделить три зоны гамма-излучения на северо-западе, в средней части и

на востоке города с меньшими значениями (0.068—0.072 мкЗв/ч). Все аномалии приурочены к домам высокой этажности. В остальных частях города значения общей гамма-активности составили менее 0.06 мкЗв/ч.

Максимум анализируемых образцов почв исследован с помощью сит с размером ячеек 100 мкм и 250 мкм (по 23 % соответственно), а минимум — ситом с размером ячеек < 45 мкм (4 %) (рис. 4). По результатам корреляционного анализа взаимосвязей между радионуклидами и фракционным составом можно утверждать, что техногенный ^{137}Cs имеет умеренную по силе связь (по шкале Чеддока) с фракцией 45 и 500 мкм. ^{232}Th имеет высокую по силе связь с ^{226}Ra , а ^{40}K — с ^{232}Th , что является статистически значимыми результатами при учете P-Value. Интересной особенностью явилось отсутствие связи активностей ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra с фракциями 45 и < 45 мкм и наличие умеренной по силе связи ^{226}Ra с фракцией 1 мм. Можно предположить, что естественные радионуклиды ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra имеют умеренную по силе связь с фракцией 1 мм из-за присутствия в верхнем слое почв частиц этого размера. Отмечается умеренная по силе связь между ^{232}Th и ^{40}K (табл. 1).

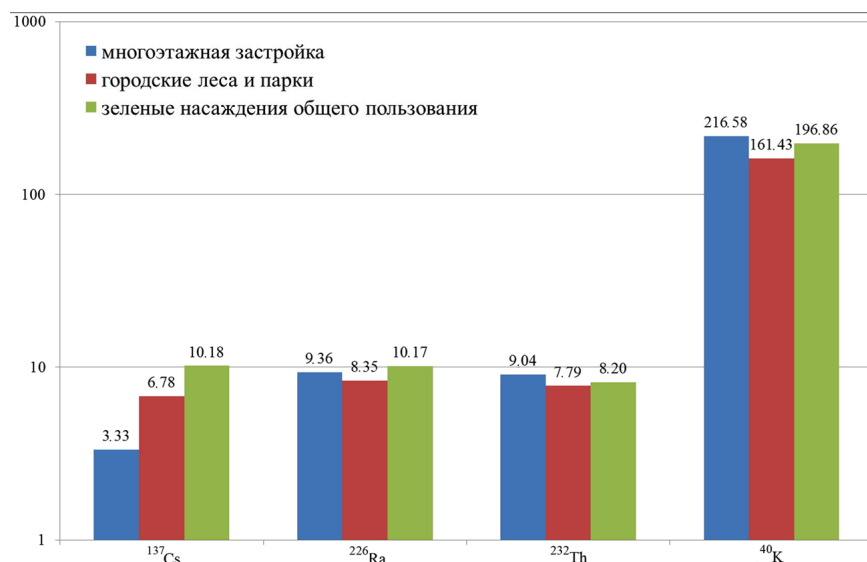


Рис. 2. Средние значения удельной активности техногенного ^{137}Cs и естественных ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra -радионуклидов (Бк/кг) в почвах функциональных зон г. Полярные Зори: многоэтажной застройки (синий), городских лесов и парков (красный), зеленых насаждений общего пользования (зеленый). Использован логарифмический масштаб

Fig. 2. Average specific activity values of technogenic ^{137}Cs and natural radionuclides ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra (Bq/kg) in the soils of the functional zones of the city of Polyarnye Zori: multi-storey buildings (blue), urban forests and parks (red), public green spaces (green). The logarithmic scale is used

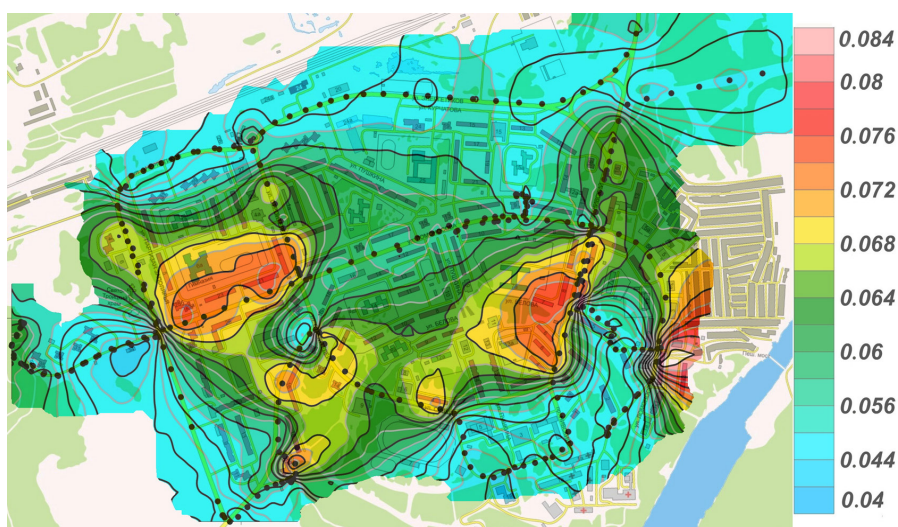


Рис. 3. Общая гамма-активность (мкЗв/ч) территории г. Полярные Зори по результатам гамма-спектрометрических исследований с использованием комплекса RS-700. Точками показаны автомобильные маршруты исследований

Fig. 3. Total gamma activity (mkSv/h) of the territory of the city of Polyarnye Zori according to the results of gamma-spectrometric studies using RS-700 complex. The dots show the vehicle routes of the surveys



Таблица 1. Корреляционная матрица взаимосвязей между радионуклидами и просеиваемыми фракциями и наименьшее значение уровня значимости (P-value)

Table 1. Correlation matrix of relationships between radionuclides and sifted fractions and the smallest value of the significance level (P-value)

	2 mm	1 mm	500 µm	250 µm	100 µm	45 µm	< 45 µm	¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
2 mm	1										
p-value	—										
1 mm	0.7428	1									
p-value	0	—									
500 µm	0.3806	0.5165	1								
p-value	0.119	0.028	—								
250 µm	-0.599	-0.609	-0.522	1							
p-value	0.009	0.007	0.026	—							
100 µm	-0.785	-0.874	-0.557	0.3298	1						
p-value	0.000	0.000	0.016	0.181	—						
45 µm	-0.641	-0.584	-0.788	0.42	0.655	1					
p-value	0.004	0.011	0.000	0.083	0.003	—					
< 45 µm	-0.55	-0.575	-0.585	0.1774	0.6679	0.6883	1				
p-value	0.018	0.013	0.011	0.481	0.002	0.002	—				
¹³⁷ Cs	-0.124	-0.022	0.5501	-0.262	-0.009	0.4293	-0.073	1			
p-value	0.791	0.963	0.201	0.570	0.984	0.336	0.877	—			
²²⁶ Ra	0.0719	0.3503	0.1179	-0.06	-0.3	-0.139	0.0281	-0.007	1		
p-value	0.777	0.154	0.641	0.814	0.226	0.582	0.912	0.989	—		
²³² Th	0.0163	-0.012	0.0239	0.0244	-0.018	-0.091	0.0586	-0.51	0.4873	1	
p-value	0.949	0.961	0.925	0.923	0.944	0.719	0.817	0.242	0.040	—	
⁴⁰ K	0.0559	-0.077	0.1486	0.1285	-0.102	-0.233	0.021	-0.699	0.2334	0.4533	1
p-value	0.826	0.762	0.556	0.611	0.687	0.352	0.934	0.080	0.351	0.059	—

Примечание. В таблице сгруппированы градиенты цветами от красного с минимальным до зеленого с максимальным значением коэффициента корреляции.

Note. The table groups gradients in colors from red with the minimum to green with the maximum value of the correlation coefficient.

Заклучение

При анализе пространственного распределения полученных оригинальных данных установлено, что максимальное значение удельной активности ¹³⁷Cs в почвах г. Полярные Зори (28.8 Бк/кг) отмечается в юго-восточной части города в зонах городских лесов, парков и зеленых насаждений общего пользования. Значения от 3 до 10 Бк/кг выявлены в почвах зон многоэтажной застройки и озеленённых территорий спецназначения. Для почв остальных районов города значения ¹³⁷Cs составили менее 3 Бк/кг. По нашим данным, в 2 км к югу от Кольской АЭС в верхнем (0–5 см) слое ненарушенных торфяно-подзолистых почв максимальные значения удельной активности ¹³⁷Cs достигают 29.5 Бк/кг.

Максимальные значения удельной активности естественных радионуклидов в городских почвах составили: для ²³²Th в зонах застройки многоквартирными домами высокой и средней этажности — 14.9 Бк/кг; для ²²⁶Ra в зоне застройки многоквартирными домами высокой этажности — 17.1 Бк/кг; для ⁴⁰K в зоне озеленённых территорий — 340.5 Бк/кг. Для ²²⁶Ra и ²³²Th более высокие активности в почвах города связаны с гранулометрическим составом и характером подстилающих почву четвертичных отложений. Распределение удель-

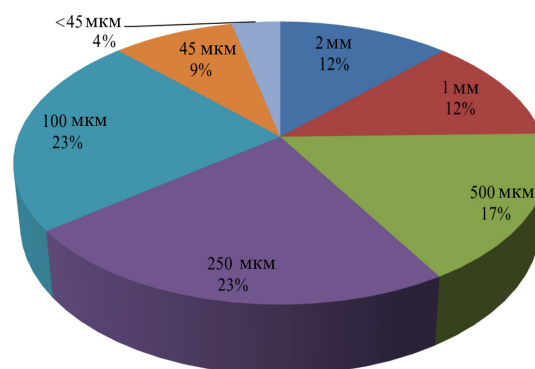


Рис. 4. Соотношение фракционного состава анализируемых почв г. Полярные Зори (%)

Fig. 4. Fractional composition of the analyzed soils in the city of Polyarnyye Zori (%)

ной активности ⁴⁰K в почвах объясняется разной плотностью растительности на изученной территории, легко вовлекающей его в биологический круговорот.

Анализ общего гамма-излучения территории г. Полярные Зори по результатам гамма-спектрометрических исследований показал, что можно выделить три локальные аномалии повышенного гамма-излу-

чения в диапазоне от 0.08 до 0.084 мкЗв/час. Все выявленные аномалии приурочены к домам высокой этажности.

По результатам корреляционного анализа можно утверждать, что техногенный ^{137}Cs имеет умеренную связь (по шкале Чеддока) с фракцией 45 и 500 мкм. ^{232}Th имеет высокую связь с ^{226}Ra , а ^{40}K — с ^{232}Th , что является статистически значимыми результатами при учете P-Value. Можно предположить, что естественные радионуклиды ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra имеют умеренную связь с фракцией 1 мм из-за присутствия в верхнем слое почв частиц этого размера. Отмечается умеренная связь между ^{232}Th и ^{40}K .

Радиоэкологические исследования осуществлены при финансовой поддержке государственного задания «Особенности миграции элементов и их изотопов в абиотических компонентах окружающей среды западного сектора Российской Арктики в условиях климатических и техногенных изменений», № гос. регистрации 122011300333-1, и гранта Президента РФ для молодых учёных № МК-4298.2022.1.5.

Литература / References

- 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
- Vorobyeva T. A., Evseev A. V., Kuzmenkova N. V. Radiogeochemical studies of the state of the landscapes of the Kola Peninsula. Arctic: Ecology and Economy, 2017, No. 2 (26), pp. 17–26. (in Russian)
- Карта градостроительного зонирования г. Полярные Зори. 2018. URL: <http://www.pz-city.ru/index.php/pravila-zemlepolzovaniya-i-zastrojki/62-gradostroitelstvo/945-karty-gradostroitel'nogo-zonirovaniya> (дата обращения: 25.09.2023).
- Urban zoning map of Polyarnye Zori. <http://www.pz-city.ru/index.php/pravila-zemlepolzovaniya-i-zastrojki/62-gradostroitelstvo/945-karty-gradostroitel'nogo-zonirovaniya> (in Russian)
- Кизеев А. Н., Манахов Д. В., Силкин К. Ю., Ушамова С. Ф., Попова М. Б. Состояние почвенно-растительного покрова в 30-км зоне Кольской атомной электростанции // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 4 (82). С. 199–205.
- Kizeyev A. N., Manakhov D. V., Silkin K. Yu., Ushamova S. F., Popova M. B. Soil and vegetation cover in the 30-km zone of the Kola nuclear power plant. Science and business: ways of development, 2018, No. 4 (82), pp. 199–205. (in Russian)
- 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
- Kryauchyunas V. V., Kuznetsova I. A., Kotova E. I., Iglovsky S. A., Mironenko K. A., Sukhanov S. G. Content and features of the distribution of natural and technogenic radionuclides in the soils of a small Arctic city. Journal Human Ecology, 2020, No. 5, pp. 11–20. (in Russian)
- 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
- 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. Proc. KarRC RAS, 2021, No. 2, pp. 27–43. (in Russian)
- Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». М.: Амплитуда. 2016, 12 с.
- Method for measuring the activity of radionuclides using a scintillation gamma spectrometer with the "Progress" software. Moscow: Amplituda, 2016, 12 p. (in Russian)
- Мобильная система радиометрического контроля RS-700. URL: <https://agtsys.ru/storage/instructions/December2019/tPgJvmbN67MXpVzMiiOE.pdf> (дата обращения: 25.09.2023).
- Mobile radiometric control system RS-700. <https://agtsys.ru/storage/instructions/December2019/tPgJvmbN67MXpVzMiiOE.pdf> (in Russian)
- 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
- 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. Journal Human Ecology, 2019, No.5, pp. 11–14. (in Russian)
- Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) // Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 115 с.
- Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary and epidemiological rules and regulations. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology Rospotrebnadzor, 2009, 115 p. (in Russian)
- Романович И. К., Чернев А. В., Стамат И. П, Венков В. А., Кормановская Т. А. Дозы облучения населения Мурманской области природными источниками излучения и радионуклидами глобальных выпадений // Экология промышленного производства. 2006. № 1. С. 36–38. DOI:10.17076/geo1284
- Romanovich I. K., Chernev A. V., Stamat I. P., Venkov V. A., Kormanovskaya T. A. Exposure doses of the population of the Murmansk region by natural sources of radiation and radionuclides of global fallout. Industrial ecology, 2006, No. 1, pp. 36–38. (in Russian)
- Kuzmenkova N., Vorobyova T. Landscape-geochemical mapping of territory in the north-west of Kola Peninsula // J. of geochemical exploration, 2015, No. 154, P. 194–199. doi:10.1016/j.gexplo.2014.12.016

Поступила в редакцию / Received 28.09.2023