

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th В ПОЧВАХ ГОРОДА КИРОВСКА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

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

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика РАН
Н. П. Лавёрова Уральского отделения РАН (Архангельск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 7 марта 2023 г.

Для цитирования

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. — 2023. — Т. 13, № 3. — С. 473—481. — DOI: 10.25283/2223-4594-2023-3-473-481.

Представлены результаты исследования почв Кировска. Цель работы — установить основные закономерности пространственного распределения естественных и техногенных радионуклидов в городских почвах Кировска. Отбирались пробы почв во всех частях города. В ходе экспедиционных работ и лабораторных исследований использовались почвенный, радиологический, математико-статистический методы. Значения удельной активности в пробах городских почв составили: для техногенного ^{137}Cs — от 3 до 48,3 Бк/кг, для естественных радионуклидов ^{226}Ra — от 11,8 до 44,2 Бк/кг, ^{232}Th — от 9,8 до 34,8 Бк/кг, ^{40}K — от 232,2 до 2086 Бк/кг. Значения эффективной удельной активности естественных радионуклидов в пробах городских почв находились в диапазоне от 47 до 277 Бк/кг, техногенного ^{137}Cs — от 3,2 до 48,3 Бк/кг.

Ключевые слова: удельная активность, городские почвы, ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , Кировск, Мурманская область, радиационная безопасность населения.

Введение

Последние исследования [1—3] не выявили повышенных значений естественной и техногенной радиоактивности в почвах Кольского полуострова. Содержание техногенного ^{137}Cs в почвах варьирует от 3 до 60 Бк/кг [4]. Несмотря на это, Кольский полуостров является потенциально опасным местом загрязнения техногенными радионуклидами в результате трансграничного атмосферного переноса.

Загрязнение почв ^{137}Cs соответствует уровню глобального фона. При этом «существенных ареалов со следами выпадения радиоактивных осадков после аварии на Чернобыльской АЭС не выявлено» [5]. По данным [2], удельная активность естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th в ненарушенных почвах Хибинской тундры составляла: «в болотной тундре — от 7,03 до 71,06, в горной тундре — от

15,17 до 27,75 Бк/кг». Также в работе [2] отмечено, что «основным источником ионизирующего излучения на исследуемой территории являются коренные горные породы, активность фонового излучения которых изменяется незначительно и может считаться постоянной» [2].

Целью данной работы является выявление основных закономерностей пространственного распределения естественных и техногенных радионуклидов в городских почвах Кировска.

Характеристика района исследования

Особенности пространственного распределения ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в городских почвах Кировска таковы. Площадь территории города — 23,9 км². Крупнейшее предприятие — Кировский филиал АО «Апатит», в состав которого входят три рудника, на которых добыча руды ведется как открытым, так и подземным способами, и две апатитонефелиновые обогатительные фабрики. В связи с при-

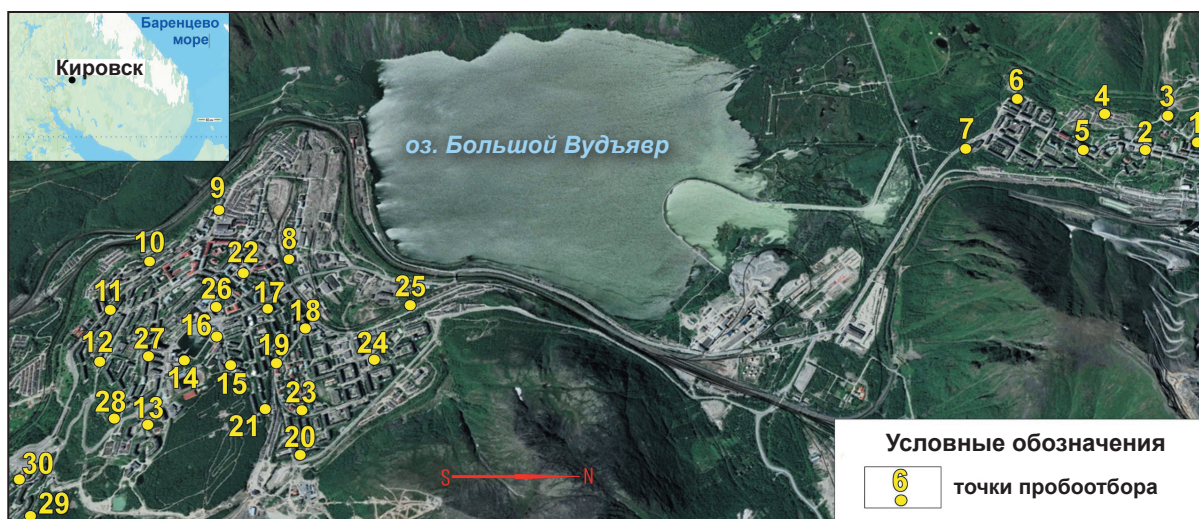


Рис. 1. Схема расположения отбора проб почвы на глубине от 0 до 5 см в Кировске (для картосхемы использован спутниковый снимок из сервиса Google Карты)

Fig 1. Scheme of the location of soil sampling at a depth of 0 to 5 cm in the city of Kirovsk (a satellite image from the Google Maps service was used for the map)

надлежностью исследуемого района к Крайнему Северу экосистемы обладают малым биоразнообразием [6].

Для Кировска ранее была выявлена активность естественных радионуклидов в почвах, в частности ^{40}K — от 150 до 370 Бк/кг, ^{226}Ra — от 14 до 70 Бк/кг, техногенного ^{137}Cs в почвах — от 2 до 36 Бк/кг. Вблизи горы Куэльпорр часть проб показала наличие удельной активности ^{137}Cs — от 270 до 312 Бк/кг. Ранее здесь проводились маломощные подземные ядерные взрывы. Вызывают опасения также бывшие поселки-спутники в 25 км (Кировский рудник) и 23 км, где размещались предприятия по обогащению аномально радиоактивной ловчорритовой руды из долины Гакмана. Территорию проведения исследований в Кировске можно отнести к пограничной закрытой геохимической арене (бассейну озера Имандра) с доминированием осаждения мигрирующих веществ из вод и их аккумуляции. Используя эколого-геохимическое районирование, территорию города можно отнести к районам преимущественной аккумуляции радионуклидов [4].

К зонам, формирующим экологическую устойчивость Кировска, относятся лесные массивы, озеро Большой Вудъявр, Ботанический сад. В пределах территории со сплошной многоэтажной кирпичной и панельной застройкой к этой зоне принадлежит и городской парк. Линейные элементы связаны с придорожными насаждениями вдоль автодорог и придомовой растительностью (рябинами, березами, осинами, разнотравьем) [7; 8].

Материалы и методы

Летом 2018 г. авторами была исследована радиоактивность почв на территории Кировска. На предварительном этапе выделялись зоны в соответствии с типом застройки, а также определены точки отбо-

ра проб почвы. В ходе экспедиционных работ было отобрано 30 проб во всех районах города из пятисантиметрового поверхностного слоя почв (рис. 1).

Пробы почвы высушивались при температуре 105°C . В сосуде Маринелли измерялась удельная активность изотопов методом гамма-спектрометрии с использованием программы «Прогресс-2000». Минимальное время экспонирования счетного образца составило 3600 с. Однако в зависимости от активности пробы время экспонирования в отдельных образцах со слабой активностью приходилось изменять [9]. Фракционный состав определялся с помощью просеивающей машины AS200 (Retsch, Германия) с набором сит от 45 мкм до 2 мм.

Авторами определена эффективная удельная активность естественных радионуклидов $A_{\text{эф}}$ согласно [10]:

$$A_{\text{эф}} = A_{\text{Ra}} + 1,3A_{\text{Th}} + 0,09A_{\text{K}},$$

где A_{Ra} — удельная активность ^{226}Ra , Бк/кг; A_{Th} — удельная активность ^{232}Th , Бк/кг; A_{K} — удельная активность ^{40}K , Бк/кг.

Пространственное распределение радионуклидов в пятисантиметровом слое почвы на картосхеме выполнено при помощи пакета Surfer (Golden Software, LLC).

Результаты и обсуждение

Почвы Кировска — типичные городские почвы группы квазиземы: урбиквазиземы и реплантоземы [11]. Функциональное зонирование территории Кировска приведено на рис. 2 [12].

Из рис. 2—4 следует, что значения удельной активности ^{137}Cs от 10 до 15 Бк/кг приурочены к почвам на окраине города. Эта территория располагается непосредственно у горы Нукисвумчорр

(точка 1) и в районе гаражного кооператива (точка 2). Значения удельной активности ^{137}Cs от 5 до 10 Бк/кг в почвах отмечены в районе точки 6. В остальных точках измеренные в этом районе показатели удельной активности ^{137}Cs были ниже 3 Бк/кг.

Повышенные значения удельной активности ^{137}Cs в окрестностях горы Кукисвумчорр приурочены к почвам селитебной зоны многоэтажной застройки и зоне размещения гаражей (рис. 2) (точки 1, 4, 6). На рис. 3 показано, что в этом районе преобладают пятиэтажная кирпичная и панельная застройка и одноэтажные кирпичные гаражные кооперативы. Растительный покров — березы, осины, рябины, разнотравье.

По данным рис. 2Б установлено, что значения удельной активности ^{137}Cs в почвах центральной части города (от 40 до 60 Бк/кг) получены в почвах береговой зоны у озера Верхнее, в районе улицы 50 лет Октября (точка 14). В этом же районе на небольшом удалении (точка 15) значения снижаются до 40 Бк/кг. Значения удельной активности ^{137}Cs от 5 до 20 Бк/кг приурочены к почвам в районе точек 10, 12, 17, 19. В остальных точках в центральной части города показатели удельной активности ^{137}Cs были менее 3 Бк/кг. Повышенные значения удельной активности ^{137}Cs в центральной части города выявлены в почвах общественно-деловой зоны многоэтажной застройки и селитебной зоны многоэтажной застройки (рис. 2А, 2Б) [8] (точки 15, 17, 19). В этом районе преобладает четырех- и пятиэтажная панельная застройка. Среднее значение удельной активности ^{137}Cs в почвах селитебной зоны многоэтажной застройки составило 8,2 Бк/кг, в общественно-деловой зоне многоэтажной застройки — 3 Бк/кг, в пределах размещения гаражей — 10,4 Бк/кг, в почвах зеленых насаждений — 25,65 Бк/кг (см. рис. 3).

На рис. 4В отображено распределение удельной активности

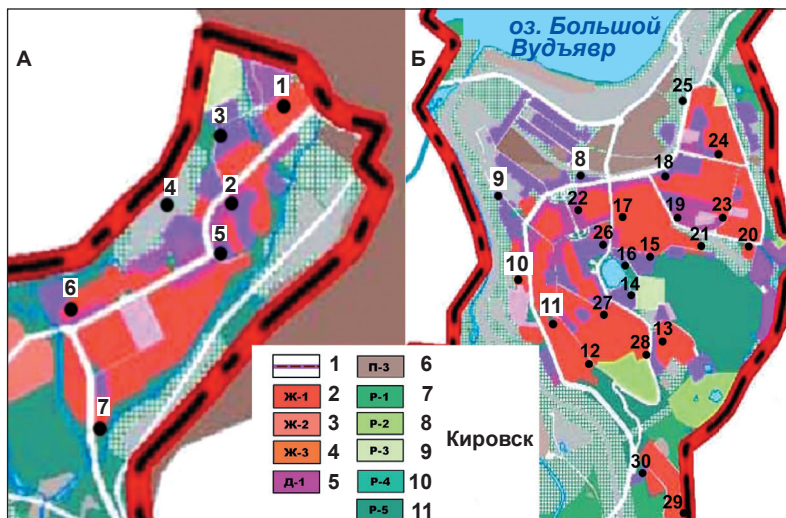


Рис. 2. Картограмма функционального зонирования территории Кировска. А — в окрестностях горы Кукисвумчорр, Б — центральная часть города с размещенными на ней точками отбора проб по данным [12] с изменениями; 1 — граница Кировска; 2–12 — границы зон; 2–5 — жилые зоны: 2 — зона застройки домами высокой этажности, 3 — зона застройки многоквартирными домами малой и средней этажности, 4 — зона застройки малоэтажными блокированными домами, 5 — зона городского центра, 6 — производственная зона; 7–11 — рекреационные зоны: 7 — зона лесов и лесопарков, 8 — спортивно-рекреационная зона, 9 — зона спортивных сооружений, 10 — зона особо охраняемых природных территорий, 11 — зона зеленых насаждений общего пользования

Fig. 2. Map of the functional zoning of the territory of the city of Kirovsk. A — in the vicinity of Mount Kukisvumchorr, B — the central part of the city, with sampling points located on it according to the data [12] with changes; 1 — border of Kirovsk; 2–12 — zone boundaries; 2–5 — residential zones: 2 — building zone with high-rise buildings, 3 — building zone with low and medium-rise apartment buildings, 4 — building zone with low-rise block houses, 5 — city center zone, 6 — industrial zone; 7–11 — recreational zones: 7 — zone of forests and forest parks, 8 — sports and recreational, 9 — sports facilities, 10 — specially protected natural areas, 11 — area of public green spaces

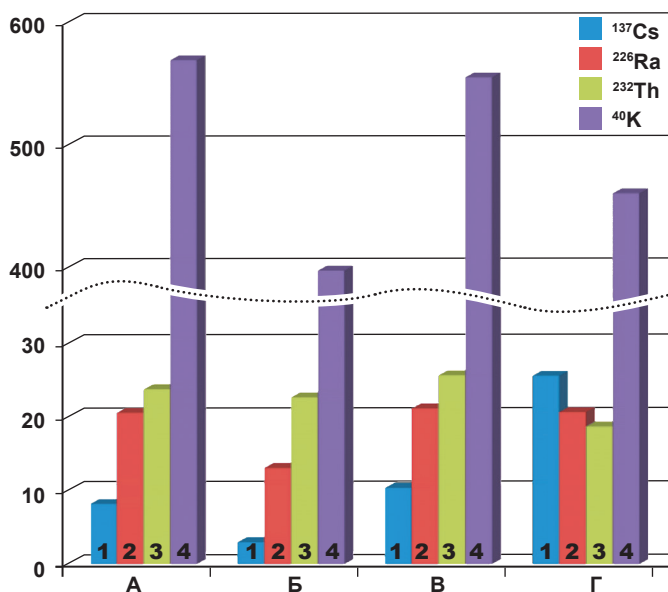


Рис. 3. Средние значения удельной активности радионуклидов (Бк/кг) (1 — ^{137}Cs , 2 — ^{226}Ra , 3 — ^{232}Th , 4 — ^{40}K) в почвах функциональных зон Кировска: А — селитебной многоэтажной застройки, Б — общественно-деловой многоэтажной застройки, В — размещения гаражей, Г — зеленых насаждений

Fig. 3. Average values of specific activity of radionuclides (Bq/kg) (1 — ^{137}Cs , 2 — ^{226}Ra , 3 — ^{232}Th , 4 — ^{40}K) in the soils of the Kirovsk functional zones: А — residential multi-storey buildings, Б — public and business high-rise buildings, В — placement of garages, Г — green spaces

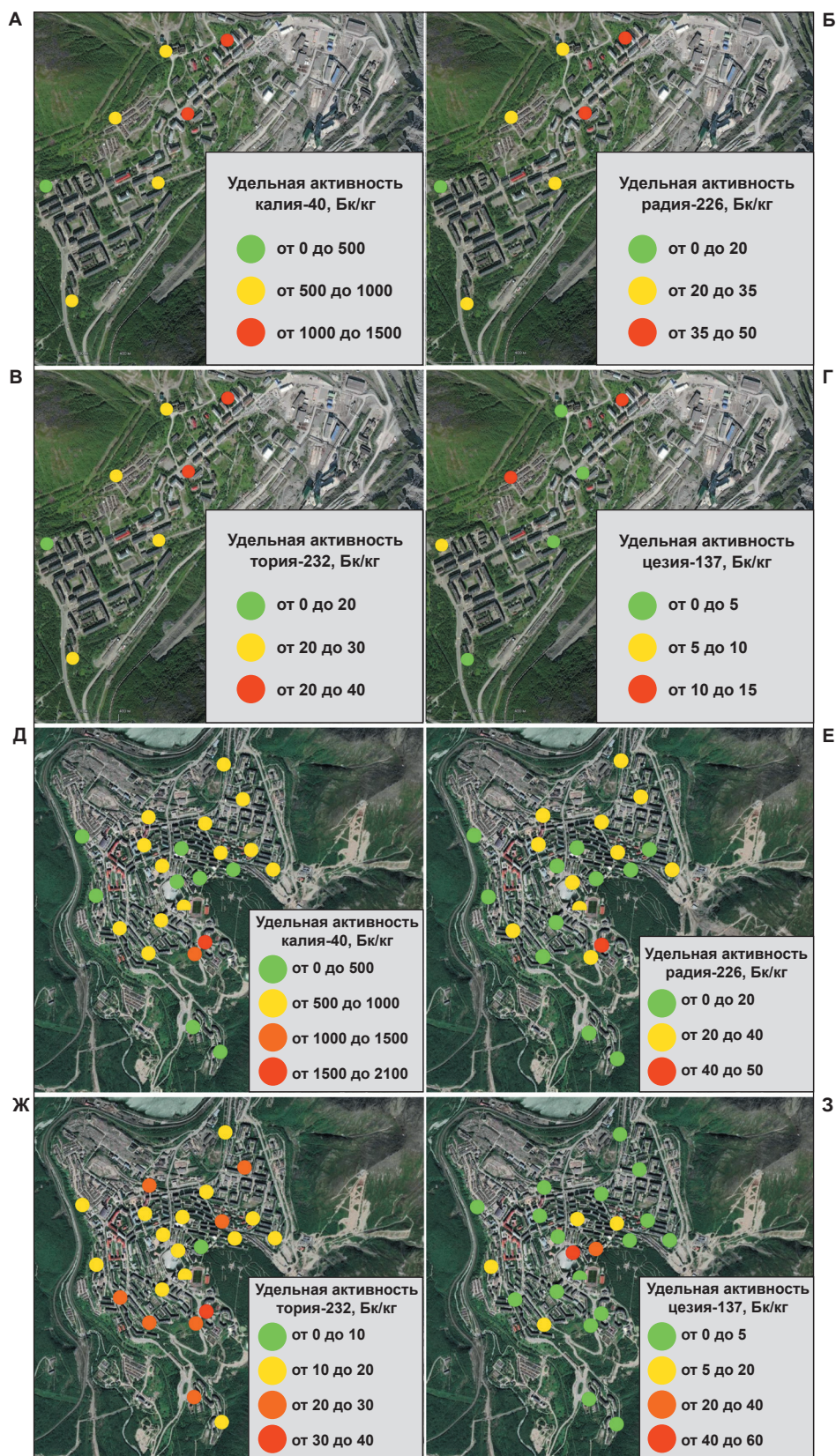


Рис. 4. Пространственное распределение удельной активности естественных радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs (Бк/кг) в почвах окрестностей горы Кукисвумчорр (А, Б, В, Г) и в центральной части Кировска (Д, Е, Ж, З). Для картосхемы использован спутниковый снимок из сервиса Google Карты

Fig. 4. Spatial distribution of the specific activity of natural radionuclides ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs (Bq/kg) in the soils around Mount Kukisvumchorr (A, Б, В, Г) and in the central part of Kirovsk (Д, Е, Ж, З). A satellite image from the Google Maps service was used for the map

^{232}Th в почвах района горы Кукисвумчорр в диапазоне от 6 до 33 Бк/кг. Максимальные из них приурочены к почвам многоэтажной застройки селитебной (точка 1) и общественно-деловой (точка 2) зон. Средние значения ^{232}Th от 20 до 30 Бк/кг в почвах приходятся на многоэтажную застройку общественно-деловой зоны (точки 3, 5) и зону гаражей (точка 4). Остальные значения ^{232}Th меньше 20 Бк/кг.

На рис. 4Ж показано распределение удельной активности ^{232}Th в почвах центра Кировска — от 6 до 35 Бк/кг. Максимальные значения приурочены к почвам многоэтажной застройки селитебной зоны (точки 13, 24, 28), значения от 20 до 30 Бк/кг приходятся на почвы многоэтажной застройки селитебной (точки 12, 24) и общественно-деловой (точки 8, 19, 30) зон, менее 20 Бк/кг приурочены к почвам многоэтажной застройки селитебной (точки 7, 10, 20, 21, 27) и общественно-деловой (точки 14, 15, 18, 23, 26) зон и зеленым насаждениям (точка 25). Максимальные значения удельной активности ^{232}Th Бк/кг в почвах города приурочены к многоэтажной застройке селитебной (точки 1, 13) и общественно-деловой (точка 2) зон.

Растительный покров представлен березами, осинами и разнотравьем. Среднее значение удельной активности ^{232}Th в почвах селитебной зоны многоэтажной застройки составило 23,8 Бк/кг, в общественно-деловой зоне многоэтажной застройки — 22,7 Бк/кг, в почвах вблизи гаражей — 25,7 Бк/кг, в почвах зеленых насаждений — 18,7 Бк/кг (см. рис. 3).

На рис. 4Б показано распространение удельной активности ^{226}Ra в почвах в районе горы Кукисвумчорр в диапазоне от 5 до 42 Бк/кг. Максимальные из них приурочены к почвам многоэтажной застройки селитебной (точка 1) и общественно-деловой (точка 2) зон. Средние значения ^{226}Ra от 20 до 35 Бк/кг отмечены в почвах общественно-деловой зоны многоэтажной застройки (точки 3, 5) и в зоне гаражей (точка 4). Остальные значения ^{226}Ra меньше 20 Бк/кг. На рис. 4Е показано распространение удельной активности ^{226}Ra в почвах центральной части Кировска в диапазоне от 5 до 44 Бк/кг. Максимальные из них приурочены к почвам селитебной зоны многоэтажной застройки (точка 13), значения от 20 до 40 Бк/кг приходятся на почвы многоэтажной застройки селитебной (точки 11, 20, 24, 28) и общественно-деловой (точки 8, 14, 18, 22) зон, менее 20 Бк/кг — к почвам многоэтажной застройки селитебной (точки 12, 17, 21, 27, 29) и общественно-деловой (точки 10, 15, 19, 23, 26, 30) зон и почвам зеленым насаждениям (точка 25). Максимальные значения удельной активности ^{226}Ra приурочены к почвам многоэтажной застройки селитебной (точки 1, 13) и общественно-деловой (точка 2) зон. Из растительности преобладают березы, осины и разнотравье. Средняя удельная активность ^{226}Ra в почвах селитебной зоны многоэтажной застройки составили 20,6 Бк/кг, в общественно-деловой зоне многоэтажной застройки — 13,1 Бк/кг, в зоне раз-

мещения гаражей — 21,2 Бк/кг, в зоне зеленых насаждений — 20,7 Бк/кг.

На рис. 4А показано распределение удельной активности ^{40}K в почвах района горы Кукисвумчорр в диапазоне от 40 до 1371 Бк/кг. Максимальные из них приурочены к почвам многоэтажной застройки селитебной (точка 1) и общественно-деловой (точка 2) зон, от 500 до 1000 Бк/кг приходятся на почвы общественно-деловой зоны многоэтажной застройки (точки 3, 5) и зону гаражей (точка 4). На рис. 4Д показано распространение удельной активности ^{40}K в почвах центральной части города в диапазоне от 40 до 2086 Бк/кг. Максимальные значения приурочены к почвам селитебной зоны многоэтажной застройки (точка 13), значения от 1000 до 1500 Бк/кг приходятся на почвы селитебной зоны многоэтажной застройки (точка 28), от 500 до 1000 Бк/кг приурочены к почвам многоэтажной застройки селитебной (точки 11, 12, 20, 24, 27) и общественно-деловой (точки 8, 14, 18, 19, 22, 23, 26) зон, а также к почвам зоны зеленых насаждений (точка 25), менее 500 Бк/кг — к почвам многоэтажной застройки селитебной (точки 10, 17, 21), общественно-деловой (точки 9, 15) зон и зоны зеленых насаждений (точка 16). Максимальные значения удельной активности ^{40}K приурочены к почвам многоэтажной застройки селитебной (точка 1, 13) и общественно-деловой (точка 2) зон. Растительный покров представлен березами, осинами и разнотравьем. Среднее значение удельной активности ^{40}K в почвах селитебной зоны многоэтажной застройки составило 569 Бк/кг, в общественно-деловой зоне многоэтажной застройки — 397,2 Бк/кг, в зоне размещения гаражей — 555 Бк/кг, в зоне зеленых насаждений — 460,35 Бк/кг.

Показатели эффективной удельной активности $A_{\text{эф}}$ естественных радионуклидов в пробах почв Кировска варьируют в диапазоне от 47 до 277 Бк/кг, а техногенного ^{137}Cs — от 3,2 до 48,3 Бк/кг. В зоне селитебной многоэтажной застройки — от 57,5 до 277 Бк/кг, ^{137}Cs — от 3,2 до 12,5 Бк/кг, общественно-деловой многоэтажной застройки — от 47 до 208 Бк/кг, ^{137}Cs — от 3,1 до 24,5 Бк/кг, в зоне размещения гаражей до 10,4 Бк/кг, зеленых насаждений общего пользования — от 66 до 107 Бк/кг, ^{137}Cs — от 3,2 до 48,3 Бк/кг. Эффективная удельная активность естественных радионуклидов в почвах Кировска достигает 277 Бк/кг и не больше показателей, используемых в строительстве в пределах городов (щебень, гравий, песок, кирпич в жилых и общественных зданиях — 370 Бк/кг, щебень, гравий, песок для дорожного строительства, а также при возведении производственных зданий и сооружений — 740 Бк/кг) [10].

Согласно рис. 5, большинство анализируемых отобранных почв в Кировске по фракционному составу попадает в размерность 100 мкм (24%), а минимум приурочен к менее 45 мкм (5%), максимум (2 мм) составляет 14%, что в целом составляет небольшую долю всех анализируемых проб. Остальные раз-

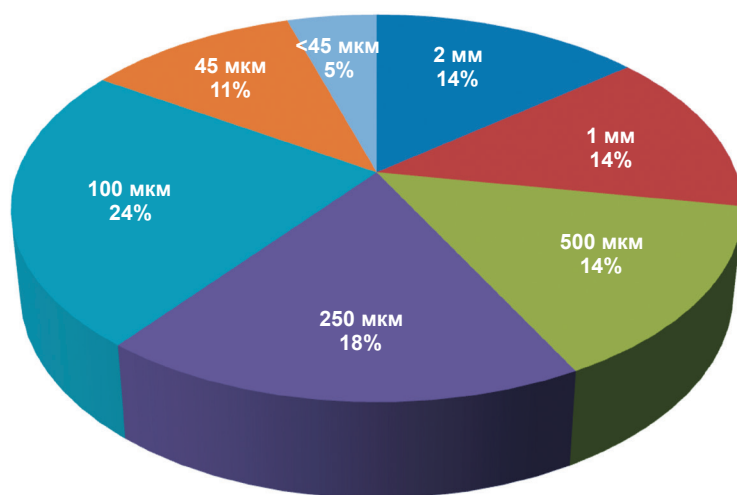


Рис. 5. Процентное соотношение фракционного состава анализируемых почв Кировска, %
Fig. 5. Percentage of the fractional composition of the analyzed soils in the city of Kirovsk, %

мерности распределены среди анализируемых почв Кировска более или менее равномерно. Свыше половины отобранных почв (56%) по фракционному составу попадают в размерность более 100 мкм.

По результатам корреляционного анализа взаимосвязей между радионуклидами и просеиваемыми фракциями можно утверждать, что техногенный ^{137}Cs имеет умеренную связь (по шкале Чеддока) с фракциями 45 и 100 мкм. ^{232}Th имеет высокую (по силе) связь с ^{226}Ra , а ^{40}K — с ^{232}Th . Интересная особенность — отсутствие связи ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra с просеиваемыми фракциями 45 мкм и менее 45 мкм, а также наличие умеренной (по силе) связи с фракцией 1 мм. Можно предположить, что естественные радионуклиды ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra имеют умеренную связь с данным гранулометрическим комплексом 1 мм из-за присутствия в верхнем (0—5 см) слое частиц с фракционной размерностью около 1 мм. Отмечается высокая связь между ^{232}Th и ^{40}K (табл. 1).

Заключение

1. Почвы Кировска представлены урбиквазиземами и реплантоземами из группы квазиземы. Наибольшее влияние на изотопный состав оказывают фракционный состав почв (^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K) и органическое вещество (^{137}Cs).

2. Максимальные значения удельной активности техногенного ^{137}Cs в почвах центральной части города приурочены к почвам общественно-деловой и селитебной зон многоэтажной застройки, образуя участок с несколько повышенными значениями (48,3 Бк/кг). В этом районе преобладает четырех- и пятиэтажная панельная застройка. Среднее значение удельной активности ^{137}Cs в почвах селитебной зоны многоэтажной застройки составило 8,2 Бк/кг, в почвах общественно-деловой зоны многоэтажной застройки — 3 Бк/кг, в почвах зоны размещения гаражей — 10,4 Бк/кг, в почвах зоны зеленых насаждений — 25,6 Бк/кг.

3. Повышенные значения удельной активности ^{232}Th в почвах Кировска приурочены к многоэтажной застройке селитебной и общественно-деловой

зон — 34,8 Бк/кг. Средние значения в почвах селитебной зоны многоэтажной застройки составили 23,8 Бк/кг, общественно-деловой зоны многоэтажной застройки — 22,7 Бк/кг, зоны размещения гаражей — 25,7 Бк/кг, зоны зеленых насаждений — 18,7 Бк/кг. Повышенные значения ^{226}Ra в почвах отмечены в многоэтажной застройке селитебной и общественно-деловой зон — 44,2 Бк/кг. Средние значения в почвах селитебной зоны многоэтажной застройки составили 20,6 Бк/кг, в общественно-деловой зоне многоэтажной застройки — 13,1 Бк/кг, в зоне размещения гаражей — 21,2 Бк/кг, в зоне зеленых насаждений — 20,7 Бк/кг. Повышенные значения ^{40}K в почвах приурочены к многоэтажной застройке селитебной и общественно-деловой зон (2086 Бк/кг). Средние значения в почвах селитебной зоны многоэтажной застройки составили 569 Бк/кг, в общественно-деловой зоне многоэтажной застройки — 397,2 Бк/кг, в зоне размещения гаражей — 555 Бк/кг, в зоне зеленых насаждений — 460,35 Бк/кг.

4. Почвы Кировска длительное время подвергаются высокой техногенной нагрузке. Значения эффективной удельной активности $A_{\text{эф}}$ естественных радионуклидов ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K в пробах городских почв варьируют в диапазоне от 47 до 277 Бк/кг, значения ^{137}Cs — от 3,2 до 48,3 Бк/кг. В почвах зоны селитебной многоэтажной застройки значения изменяются от 57,5 до 277 Бк/кг, а ^{137}Cs — от 3,2 до 12,5 Бк/кг, в зоне общественно-деловой многоэтажной застройки — от 47 до 208 Бк/кг, а значения ^{137}Cs — от 3,1 до 24,5 Бк/кг, в зоне размещения гаражей — до 10,4 Бк/кг, в зоне зеленых насаждений общего пользования — от 66 до 107 Бк/кг, а значения ^{137}Cs — от 3,2 до 48,3 Бк/кг.

5. Большинство отобранных почв в Кировске по фракционному составу попадают в размерность 100 мкм (24%), а минимум приурочен к менее 45 мкм (5%), максимум (2 мм) составляет 14%, что в целом составляет небольшую долю всех анализируемых проб. Более половины отобранных почв по фракционному составу попадают в размерность

Таблица 1. Корреляционная матрица взаимосвязей между радионуклидами и просеиваемыми фракциями

Table 1. Correlation matrix of relationships between radionuclides and sieved fractions

	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										
1 мм	0,643563	1									
500 мкм	-0,13815	0,290064	1								
250 мкм	-0,56133	-0,60962	-0,15438	1							
100 мкм	-0,78914	-0,75989	-0,27298	0,496434	1						
45 мкм	-0,67865	-0,82767	-0,23923	0,387062	0,571909	1					
< 45 мкм	-0,24663	-0,35129	-0,26905	-0,12194	0,083623	0,591661	1				
^{137}Cs	-0,30604	-0,44909	0,170428	0,131396	0,301292	0,438666	-0,00506	1			
^{226}Ra	0,340758	0,406008	0,185599	-0,20409	-0,33672	-0,49213	-0,22171	-0,14464	1		
^{232}Th	0,291048	0,396455	0,032678	-0,17201	-0,28931	-0,41203	-0,13681	-0,19697	0,808677	1	
^{40}K	0,227342	0,475157	0,279412	-0,13848	-0,36448	-0,47524	-0,20144	-0,31874	0,889726	0,7872697	1

более 100 мкм. Результаты корреляционного анализа взаимосвязей между радионуклидами и просеиваемыми фракциями показали, что техногенный ^{137}Cs имеет умеренную связь (по шкале Чеддока) с фракцией 45 и 100 мкм. ^{232}Th имеет высокую (по силе) связь с ^{226}Ra , а ^{40}K с ^{232}Th . Интересная особенность — отсутствие связи ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra с просеиваемыми фракциями 45 мкм и менее 45 мкм и наличие умеренной (по силе) связи с фракцией 1 мм. Можно предположить, что естественные радионуклиды ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra имеют умеренную связь с гранулометрическим комплексом 1 мм из-за присутствия в верхнем пятисантиметровом слое минералов с фракционной размерностью около 1 мм. Отмечается высокая связь между ^{232}Th и ^{40}K .

6. При организации и мониторинге естественной и техногенной радиоактивности в функциональных зонах Кировска в будущем следует использовать принцип максимального сохранения растительности на юге и северо-западе города. Вероятно, основными направлениями улучшения почв должны стать сохранение городской среды (включая благоустройство, озеленение), реконструкция улично-дорожной сети, рекультивация загрязненных почв.

Финансирование. Экспедиционные работы и лабораторные исследования выполнены при финансовой поддержке субсидии на выполнение темы государственного задания «Особенности миграции элементов и их изотопов в абиотических компонентах окружающей среды Западного сектора Российской Арктики в условиях климатических

и техногенных изменений», номер государственной регистрации 122011300333-1, и при поддержке гранта РФ № 20-77-10057.

Литература/References

1. Kuzmenkova N., Vorobyova T. Landscape-geochemical mapping of territory in the north-west of Kola Peninsula. J. of geochemical exploration, 2015, no. 154, pp. 194—199.
2. Никанов А. Н., Гудков А. Б., Шелков М. В. и др. 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.
3. Nikanov A. N., Gudkov A. B., Shelkov M. V. et al. Characteristics of the radiation background of the Arctic territory in the area of the mining and processing complex. Human Ecology, 2019, no. 5, pp. 11—14. DOI: 10.33396/1728-0869-2019-5-11-14. (In Russian).
4. Мелентьев Г. Б. Естественная радиоактивность редкометалльно специализированного минерального сырья и урбанизированных территорий Карело-Кольского региона как фактор их радиоэкологической оценки // Тр. Карел. науч. центра РАН. — 2021. — № 2. — С. 27—43. — DOI: 10.17076/geo1284.
5. 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. Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2021, no. 2, pp. 27—43. DOI: 10.17076/geo1284. (In Russian).

4. 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.
Vorobyeva T. A., Evseev A. V., Kuzmenkova N. V. Radio-geochemical studies of the state of the landscapes of the Kola Peninsula. Arctic: Ecology and Economy, 2017, no. 2 (26), pp. 17—26. (In Russian).
5. Романович И. К., Чернев А. В., Стамат И. П. и др. Дозы облучения населения Мурманской области природными источниками излучения и радионуклидами глобальных выпадений // Экология пром. производства. — 2006. — № 1. — С. 36—38.
Romanovich I. K., Chernev A. V., Stamat I. P. et al. Exposure doses of the population of the Murmansk region by natural sources of radiation and radionuclides of global fallout. Ekologiya promyshlennogo proizvodstva, 2006, no. 1, pp. 36—38. (In Russian).
6. Красовская Т. М. Природопользование Севера России. — М.: Изд-во ЛКИ. — 2008. — 288 с.
Krasovskaya T. M. Environmental management in the North of Russia. Moscow, Izd-vo LKI, 2008, 288 p. (In Russian).
7. Пакина А. А., Лелькова А. К. Роль экологического каркаса в оптимизации городской среды: на примере Кировска Мурманской области // Изменение климата в городах: формы и стратегии адаптации с особым рассмотрением роли российских городских садов. — Калининград, 2019. — С. 70—82.
Pakina A. A., Lelkova A. K. The role of the ecological framework in optimizing the urban environment: on the example of Kirovsk, Murmansk region. Izmenenie klimata v gorodakh: formy i strategii adaptatsii s osobym rassmotreniem roli rossiyskikh gorodskikh sadov. Kaliningrad, 2019, pp. 70—82. (In Russian).
8. Медведков А. А., Никанорова А. Д., Шабалина Н. В. Функциональное зонирование города Кировска (Мурманская область) в условиях туристско-рекреационного освоения его территории // ИнтерКарто. ИнтерГИС. — 2019. — Т. 25, № 2. — С. 429—436.
Medvedkov A. A., Nikanorova A. D., Shabalina N. V. Functional zoning of the city of Kirovsk (Murmansk region) in terms of tourist and recreational development of its territory. InterKarto. InterGIS, 2019, vol. 25, no. 2, pp. 429—436. (In Russian).
9. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». — Москва: ООО НТЦ «Амплитуда». — 2016. — 12 с.
Metodika izmereniya aktivnosti radionuklidov s ispol'zovaniem stsintillyatsionnogo gamma-spektrometra s programmnyim obespecheniyem "Progress" [Method for measuring the activity of radionuclides using a scintillation gamma spectrometer with the Progress software]. Moscow, OOO NTTs "Amplituda", 2016, 12 p. (In Russian).
10. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. — М.: Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. — 115 с.
Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-99/2009). Sanitarно-epidemiologicheskie pravila i normativy [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Sanitary and epidemiological rules and regulations]. Moscow, Federal'nyy tsentr gigiyeny i epidemiologii Rospotrebнадзора, 2009, 115 p. (In Russian).
11. Крячюнас В. В., Кузнецова И. А., Котова Е. И. и др. 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.
Kriauciunas V. V., Kuznetsova I. A., Kotova E. I. et al. Content and features of the distribution of natural and technogenic radionuclides in the soils of a small Arctic city. Human Ecology, 2020, no. 5, pp. 11—20. DOI: 10.33396/1728-0869-2020-5-11-20. (In Russian).
12. Комплексный инвестиционный план развития моногорода Кировск Мурманской области, утвержденный постановлением администрации города Кировска от 31 мая 2016 г. № 741. — URL: https://kirovsk.ru/npa/o_doc/cip/.
Kompleksnyi investitsionnyi plan razvitiya monogoroda Kirovsk Murmanskoi oblasti, utverzhdenный postanovleniem administratsii goroda Kirovska ot 31 maya 2016 g. [Comprehensive investment plan for the development of the single-industry city of Kirovsk, Murmansk region, approved by the Decree of the Administration of the city of Kirovsk dated May 31, 2016 No. 741]. Available at: https://kirovsk.ru/npa/o_doc/cip/. (In Russian).

Информация об авторах

Игловский Станислав Анатольевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лавёрова Уральского отделения РАН (163000, Россия, Архангельск, набережная Северной Двины, д. 109, каб. 26), e-mail: iglovskys@mail.ru.

Баженов Александр Викторович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лавёрова Уральского отделения РАН (163000, Россия, Архангельск, набережная Северной Двины, д. 109, каб. 26), e-mail: abv-2009@yandex.ru.

Крячюнас Видас Винанто, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лавёрова Уральского отделения РАН (163000, Россия, Архангельск, набережная Северной Двины, д. 109, каб. 26), e-mail: vidas76@mail.ru.

Яковлев Евгений Юрьевич, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лавёрова Уральского отделения РАН (163000, Россия, Архангельск, набережная Северной Двины, д. 109, каб. 26), e-mail: yakov24lev99@mail.ru.

FEATURES OF THE ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th SPATIAL DISTRIBUTION IN THE SOILS OF THE CITY OF KIROVSK (MURMANSK REGION)

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

Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic Academician of the Russian Academy of Sciences N. P. Laverov Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russian Federation)

The article was received on March 07, 2023

For citing

Iglovsky S. A., Bazhenov A. V., Kriauciunas V. V., Yakovlev E. Y. Features of the spatial distribution of ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th in the soils of the city of Kirovsk (Murmansk region). Arctic: Ecology and Economy, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 473—481. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-3-473-481. (In Russian).

Abstract

The article presents the results of a study of soils in the city of Kirovsk. The purpose of the work is to establish the main regularities of the spatial distribution of natural and technogenic radionuclides in the urban soils of Kirovsk. To achieve this goal, soil samples were taken in all parts of the city. The following methods were used in the course of expeditionary work and laboratory research: soil, radiological, mathematical and statistical. The values of specific activity in samples of urban soils were: for technogenic ^{137}Cs (from 3 to 48.3 Bq/kg), for natural radionuclides: ^{226}Ra (from 11.8 to 44.2 Bq/kg), ^{232}Th (from 9.8 to 34.8 Bq/kg), ^{40}K (from 232.2 to 2086 Bq/kg). The values of the effective specific activity of natural radionuclides in urban soil samples ranged from 47 to 277 Bq/kg and ^{137}Cs from 3.2 to 48.3 Bq/kg.

Keywords. *Specific activity, urban soils, ^{137}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , Kirovsk, Murmansk region, radiation safety of the population.*

Funding. Expeditionary work and laboratory research were financially supported by subsidies for the implementation of the state assignment "Peculiarities of the migration of elements and their isotopes in abiotic components of the environment of the Russian Arctic Western sector under conditions of climatic and technogenic changes", State Registration No. 122011300333-1 and by the Russian Science Foundation Grant No. 20-77-10057.

Information about the authors

Iglovsky, Stanislav Anatolyevich, PhD of Geography, Leading Researcher, Laboratory of Ecological Radiology, Institute of Geodynamics and Geology, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic, Russian Academy of Sciences (office 26, 109, Severnaya Dvina embankment, Arkhangelsk, Russia, 163000), e-mail: iglovskys@mail.ru.

Bazhenov, Alexander Viktorovich, PhD of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Ecological Radiology, Institute of Geodynamics and Geology, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic, Russian Academy of Sciences (office 26, 109, Severnaya Dvina embankment, Arkhangelsk, Russia, 163000), e-mail: abv-2009@yandex.ru.

Kriauciunas, Vidas Vinanto, PhD of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Ecological Radiology, Institute of Geodynamics and Geology, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic, Russian Academy of Sciences (office 26, 109, Severnaya Dvina embankment, Arkhangelsk, Russia, 163000), e-mail: vidas76@mail.ru.

Yakovlev, Evgeny Yurievich, PhD of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Laboratory of Ecological Radiology, Institute of Geodynamics and Geology, Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic, Russian Academy of Sciences (office 26, 109, Severnaya Dvina embankment, Arkhangelsk, Russia, 163000), e-mail: yakov24lev99@mail.ru.