

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ В ПОЧВАХ г. ОЛЕНЕГОРСКА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2023 С. А. Игловский , А. В. Баженов , Е. Ю. Яковлев 

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика РАН Н.П. Лавёрова  
УрО РАН (ФИЦКИА УрО РАН), Набережная Северной Двины, д.23, г. Архангельск, 163000, Россия.

E-mail: [abv-2009@yandex.ru](mailto:abv-2009@yandex.ru)

**Цель исследования.** Определить удельную активность и основные закономерности пространственного распределения радиоцезия ( $^{137}\text{Cs}$ ) и естественных радионуклидов ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) в почвах г. Оленегорска (Мурманская область) в зависимости от районирования и типа городской застройки.

**Место и время проведения.** Экспедиционные работы по отбору почвенных проб из верхнего слоя (0–5 см) в г. Оленегорске Мурманской области проведены летом 2018 года. Для изучения удельной активности радиоцезия и естественных радионуклидов образцы почвы были отобраны в 24 точках. Подобные исследования городских почв в Оленегорске ранее не проводились.

**Методы.** В лабораторных условиях образцы почвы высушивали до воздушно-сухого состояния и помещали в сосуд Маринелли для измерения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и естественных радионуклидов  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  методом гамма-спектрометрии. Регистрацию гамма-излучений от счетного образца почв, а также обработку спектров проводили с использованием программно-аппаратурного комплекса «Прогресс-гамма» ФВКМ.412131.002-03. Калибровку гамма-спектрометра по энергии для контроля за сохранностью параметров установки проводили после каждого измерения с использованием комбинированного контрольного источника ОИСН-137-1 в сосуде Маринелли объемом 1 литр. Минимальное время экспонирования счетного образца составляло 3600 секунд; время экспонирования в отдельных образцах со слабой активностью увеличивали.

**Основные результаты.** Максимальные значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  (47,5 Бк/кг) зафиксированы в ненарушенных почвах природных ландшафтов в северо-западной части города, не подверженных антропогенному воздействию. Максимальные значения удельной активности  $^{40}\text{K}$  (293,8 Бк/кг) выявлены в почвах озеленённых территорий в центральной и юго-восточной частях города в пределах застройки многоэтажными жилыми домами, что объясняется разной плотностью растительности, легко вовлекающей  $^{40}\text{K}$  в биологический круговорот. Максимальные значения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в почвах достигали 14,6, и 12,2 Бк/кг в районах много- и среднеэтажной застройки.

Результаты корреляционного анализа между удельной активностью радионуклидов и содержанием частиц почвенного скелета (2 мм), фракций почвенного мелкозема (менее 1 мм) показали, что  $^{137}\text{Cs}$  имеет весьма высокую по силе связь с частицами почвенного скелета и с фракцией мелкозема <45 мкм, а также умеренную силу связи с фракцией мелкозема 45 мкм. Умеренная сила связи отмечена между  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$ , а также между  $^{40}\text{K}$  и частицами почвенного скелета (2 мм).

**Заключение.** Полученные данные по накоплению радиоцезия и естественных радионуклидов ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) в почвах г. Оленегорска не превышают предельно допустимых концентраций, характерных для урбанизированных территорий Мурманской области.

**Ключевые слова:** удельная активность; городские почвы;  $^{137}\text{Cs}$ ;  $^{232}\text{Th}$ ;  $^{226}\text{Ra}$ ;  $^{40}\text{K}$ ; г. Оленегорск; Мурманская область.

**Цитирование:** Игловский С.А., Баженов А.В., Яковлев Е.Ю. Пространственное распределение  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в почвах г. Оленегорска (Мурманская область) // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 4. e225. DOI: [10.31251/pos.v6i4.225](https://doi.org/10.31251/pos.v6i4.225).

### ВВЕДЕНИЕ

Кольский полуостров является местом потенциально опасным в плане загрязнения радионуклидами в результате трансграничного воздушного переноса (Никанов и др., 2019; Мелентьев, 2021; Kuzmenkova, Vorobyova, 2015). Загрязнение почв радиоцезием ( $^{137}\text{Cs}$ ) соответствует уровню мирового фона и ранее «существенных участков со следами выпадения радиоактивных осадков после аварии на Чернобыльской АЭС не выявлено» (Романович и др., 2006), а удельная активность естественных радионуклидов радия ( $^{226}\text{Ra}$ ) и тория ( $^{232}\text{Th}$ ) в ненарушенных почвах Хибинской тундры на болотных участках варьирует от 7,03 до 71,06 Бк/кг,

в горной тундре – от 15,17 до 27,75 Бк/кг (Никанов и др., 2019). Предыдущие исследования (Никанов и др., 2019; Мелентьев, 2021; Kuzmenkova, Vorobyova, 2015) не обнаружили повышенных значений естественной и техногенной радиоактивности в почвах Мурманской области.

Много пыли и сажи выбрасывает в атмосферу Оленегорский горно-обогатительный комбинат (АО «Олкон»), делая город наиболее запыленным в Мурманской области (Рюмина, 2014) и создавая в нём одну из самых важных экологических проблем. Предприятие является одним из крупнейших в регионе и самым северным в России производителем железорудного сырья, выпускающим железорудный концентрат с содержанием железа до 72% (Даувальтер, 2020). Пылеватые частицы, содержащие высокие концентрации железа, после снеготаяния аккумулируются в почвах, загрязняя их и оказывая негативное влияние на здоровье человека и биоту (Салтан и др., 2022).

Радиационная обстановка в г. Оленегорске определяется, в основном, распределением природного  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  в породах и почвах. Радиационную обстановку города можно считать вполне благополучной. Более низкие фоновые значения характерны для городских окраин, пустырей, парковых зон и спортивных площадок. Высоко- и среднеэтажные жилые массивы и производственные территории характеризуются несколько более высокими значениями. Такие колебания гамма-фона связаны, в первую очередь, с особенностями применяемых при строительстве материалов – кирпича, щебня, наполнителей асфальта (Сергеев, 2023).

Цель исследования – определить удельную активность и основные закономерности пространственного распределения радиоцезия ( $^{137}\text{Cs}$ ) и естественных радионуклидов ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) в почвах г. Оленегорска (Мурманская область) в зависимости от районирования и типа городской застройки. Подобные исследования городских почв в Оленегорске ранее не проводились.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспедиционные работы по определению удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и естественных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) в почвах г. Оленегорска (Мурманская область) проведены летом 2018 г. На предварительном этапе исследования на территории Оленегорска были выделены функциональные зоны в соответствии с типом застройки, а также намечена сеть точек отбора почвенных образцов (рис. 1). Для выполнения поставленной задачи в 24 точках отобрали образцы из верхнего 5-ти сантиметрового слоя почвы.

В лабораторных условиях отобранные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу при температуре  $105^{\circ}\text{C}$  до постоянной массы. После взвешивания аликвоту почвы помещали в сосуд Маринелли для измерения удельной активности изотопов методом гамма-спектрометрии. Регистрацию гамма-излучений от счетного образца почв, а также обработку спектров проводили с использованием программно-аппаратурного комплекса «Прогресс-гамма» ФВКМ.412131.002-03 (Методика измерения..., 2016). Калибровку гамма-спектрометра по энергии для контроля за сохранностью параметров установки проводили после каждого измерения с использованием комбинированного контрольного источника ОИСН-137-1 в сосуде Маринелли объемом 1 литр. Минимальное время экспонирования счётного образца составляло 3600 секунд; время экспонирования в отдельных образцах со слабой активностью увеличивали.

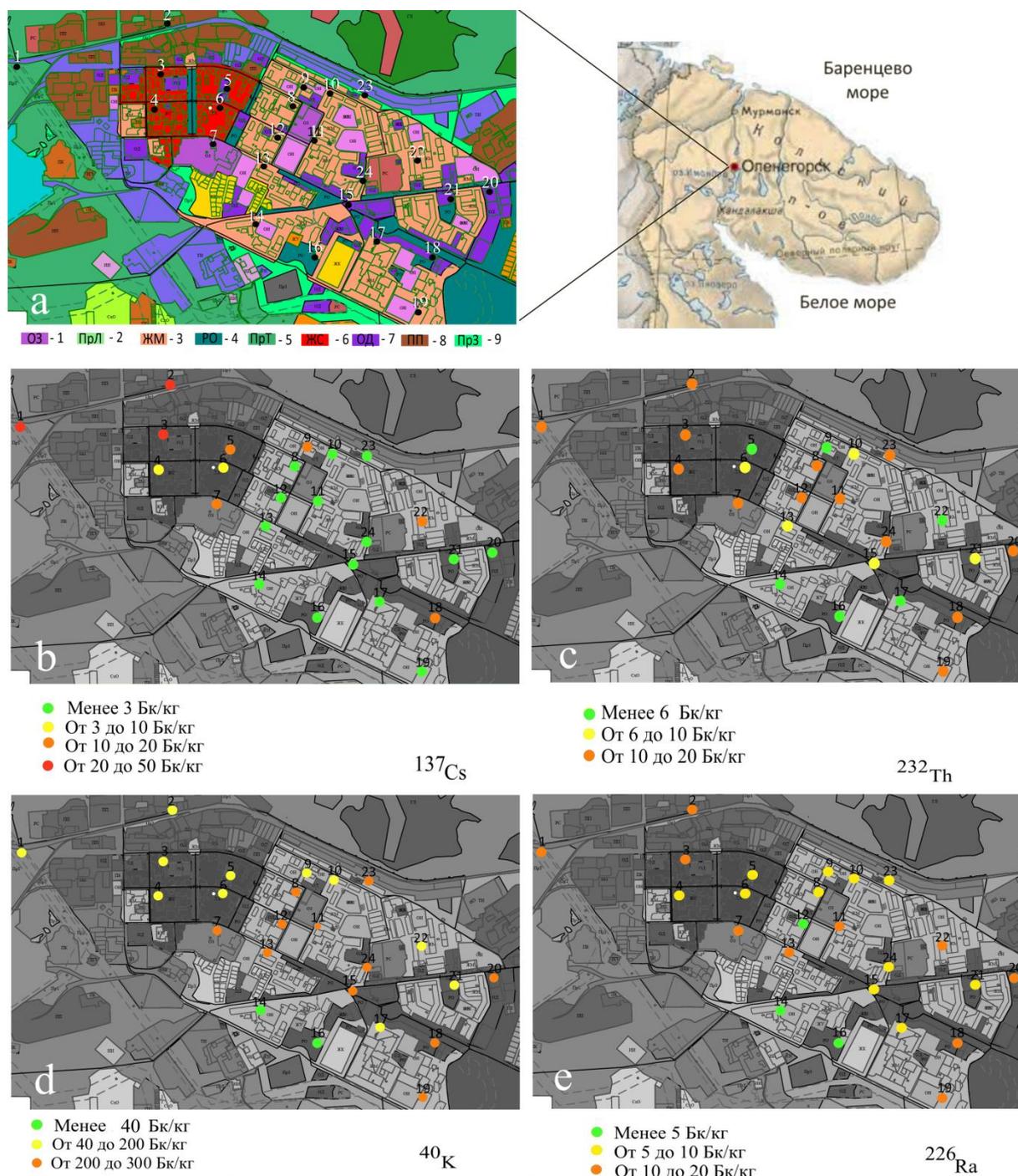
Содержание фракционного состава почвенных проб определили с помощью просеивающей машины AS200 (Retsch, Германия) ситами с диаметром 200 мм и размером ячеек: <45, 45, 100, 250, 500 мкм, 1 и 2 мм.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В городе Оленегорске широкое распространение имеют урбиквазиземы с горизонтом «урбик» – зоной аккумуляции и биогенной трансформации органо-минерального и искусственного материала, формирующейся синлитогенно под влиянием антропогенной деятельности. Горизонт характеризуется тем, что содержит не менее 10% антропогенных включений. Реплантоземы формируются на газонах в кварталах с каменной застройкой. Хорошо сформировавшийся почвенный профиль отмечается под древесной и кустарниковой растительностью в парковых и лесных зонах (Крячюнас и др., 2020).

Функциональное зонирование территории г. Оленегорска приведено на рисунке 1 (Карта градостроительного зонирования..., 2015; Фофанова, Андреев, 2021). В зоны застройки домами

высокой этажности попадают точки отбора почвенных образцов под номером 3, 4, 5, 6; средней этажности – 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 22, 23; делового, общественного и коммерческого назначения – 15, 18, 20, 21; объектов здравоохранения – 7; природного ландшафта – 1; производственных объектов - 2; объектов прогулок и отдыха – 16.



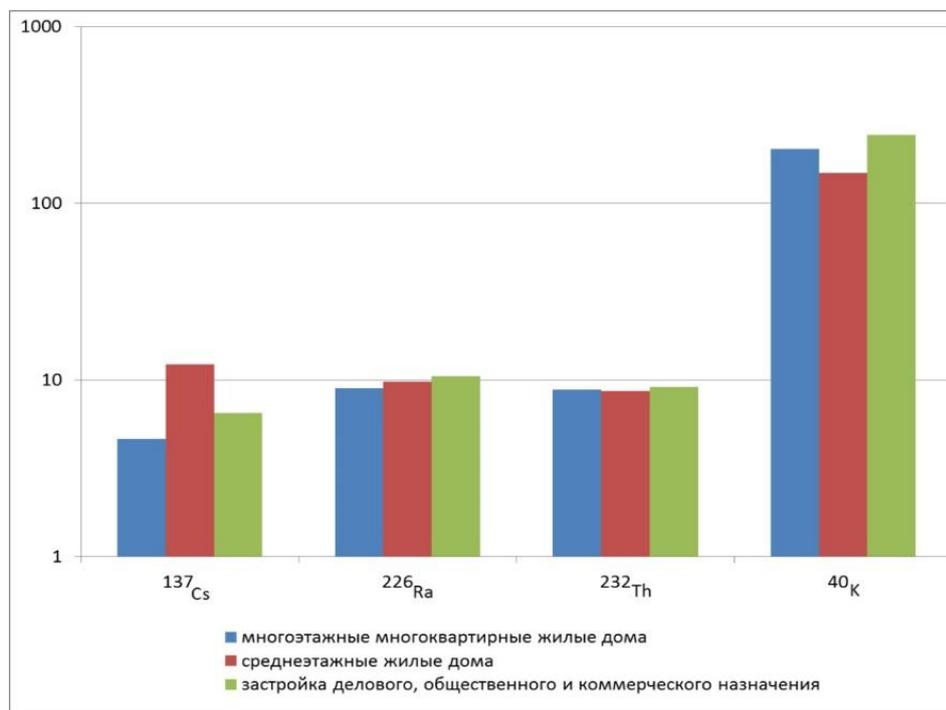
**Рисунок 1.** Расположение точек отбора почвенных проб в Оленегорске (а) на фрагменте картосхемы функционального зонирования территории города (Карта градостроительного зонирования..., 2015), включая: 1 – объекты здравоохранения, 2 – территории, покрытые лесом и кустарником, 3 – зона застройки многоэтажными многоквартирными жилыми домами, 4 – зона прогулок и отдыха, 5 – зона природного ландшафта, 6 – зона застройки среднеэтажными жилыми домами; 7 – зона застройки делового, общественного и коммерческого назначения, 8 – производственные объекты, 9 – зона защитного озеленения. Пространственное распределение удельной активности цезия и естественных радионуклидов в почвах города Оленегорска (Бк/кг):  $^{137}\text{Cs}$  (b),  $^{232}\text{Th}$  (c),  $^{40}\text{K}$  (d) и  $^{226}\text{Ra}$  (e).

Установлено, что максимальные значения удельной активности радиоцезия составили 47,5 Бк/кг (точка 1, рис. 1а, б) в ненарушенных почвах природных ландшафтов в северо-западной части города, а именно – в подзолах иллювиально-железистых супесчаных на озерно-ледниковой равнине (Атлас Мурманской области, 1971). Значения активности  $^{137}\text{Cs}$  (от 10 до 39,1 Бк/кг), имеющего антропогенное происхождение, выявлены в почвах центральной и восточной частях города в пределах застройки многоэтажными многоквартирными жилыми домами, делового, общественного и коммерческого назначения, объектов здравоохранения (точки 2, 3, 5, 7, 9, 18, 22). Для почв в остальных районах города значения  $^{137}\text{Cs}$  составили менее 10 Бк/кг.

Максимальные значения удельной активности  $^{40}\text{K}$  (293,8 Бк/кг) зафиксированы в почвах центральной и юго-восточной частях города в пределах застройки многоэтажными многоквартирными жилыми домами, объектов здравоохранения, делового, общественного и коммерческого назначения. Значения удельной активности  $^{40}\text{K}$  от 40 до 200 Бк/кг выявлены в ненарушенных почвах природного ландшафта в западной и северной частях города – в подзолах иллювиально-железистых супесчаных на озерно-ледниковой равнине (Атлас Мурманской области, 1971), а также в почвах застройки многоэтажными жилыми домами. Они совпадают с максимальными значениями удельной активности радиоцезия (рис. 1д). Для почв южной части города значения удельной активности  $^{40}\text{K}$  составили менее 40 Бк/кг.

Максимальные значения удельной активности  $^{232}\text{Th}$  (12,2 Бк/кг) приурочены к почвам зоны застройки высокой и средней этажности; значения менее 10 Бк/кг встречаются в почвах центральной части города (рис. 1с). Максимальные значения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  (14,6 Бк/кг) установлены в почвах на территории многоэтажной и среднеэтажной застройки; значения менее 10 Бк/кг встречаются в почвах центральной части города (рис. 1б).

Среднее значение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в почвах вблизи многоэтажных жилых домов составило 4,64 Бк/кг, в пределах среднеэтажных жилых домов – 12,25 Бк/кг, в районах застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 6,50 Бк/кг (рис. 2).



**Рисунок 2.** Средние значения удельной активности радиоцезия и естественных радионуклидов (Бк/кг) в почвах функциональных зон г. Оленегорска: синий – многоэтажной застройки жилыми домами, красный – застройки среднеэтажными жилыми домами, зеленый – застройки делового, общественного и коммерческого назначения. Использован логарифмический масштаб.

Среднее значение удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  рядом с многоэтажными жилыми домами составило 8,94 Бк/кг, в пределах среднеэтажных жилых домов – 9,75 Бк/кг, в почвах застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 10,53 Бк/кг. Среднее значение удельной

активности  $^{232}\text{Th}$  в почвах вблизи многоэтажных жилых домов составило 8,84 Бк/кг, в пределах среднеэтажных жилых домов – 8,68 Бк/кг, в районах застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 9,1 Бк/кг. Соответствующий показатель для  $^{40}\text{K}$  в почвах вблизи многоэтажных жилых домов составил 203,31 Бк/кг, в пределах среднеэтажных жилых домов – 148,75 Бк/кг, в районах застройки делового, общественного и коммерческого назначения – 243,68 Бк/кг (см. рис. 2).

В таблице 1 представлены статистические показатели изменения удельной активности радионуклидов в почвах г. Оленегорска. Среднеквадратическое отклонение позволяет оценить, насколько значения из множества могут отличаться от среднего значения. Так, для  $^{137}\text{Cs}$  это отклонение выше среднего значения, для  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  – почти в три раза меньше среднего значения. Для  $^{137}\text{Cs}$  совокупность оказалась неоднородной (71%), для других естественных радионуклидов – однородной (менее 33%).

Таблица 1

Статистические показатели изменения удельной активности радионуклидов в почвах

Статистический параметр	$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
Выборка (n)	10	21	19	22
Максимум, Бк/кг	47,5	15,6	15,9	293,8
Минимум, Бк/кг	5,6	5,4	5,5	70,0
Среднеквадратичное отклонение по выборке, Бк/кг	13,63	2,95	2,58	62,26
Коэффициент вариации, %	71	29	25	32

Основную часть почвенных образцов составили фракции мелкозема с размером 100 и 250 мкм (по 23 и 22% соответственно), минимальное количество – с размером <45 мкм (4%) (рис. 3).

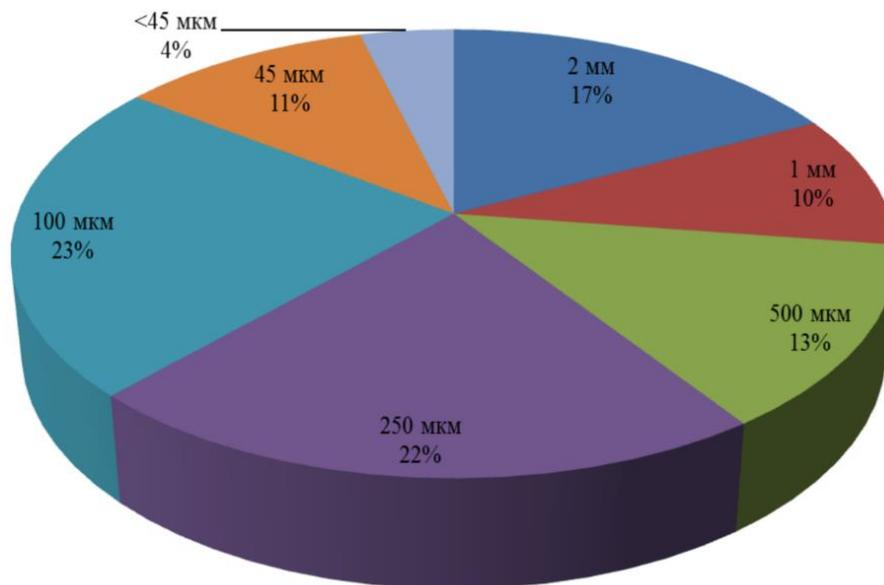


Рисунок 3. Соотношение фракционного состава почв г. Оленегорска (%).

Результаты корреляционного анализа (табл. 2) между удельной активностью радионуклидов и содержанием частиц почвенного скелета (2 мм), фракциями мелкозема (менее 1 мм) показали, что  $^{137}\text{Cs}$  имеет весьма высокую по силе связь (по шкале Чеддока) с частицами почвенного скелета и с фракцией мелкозема <45 мкм, а также умеренную силу связи с фракцией мелкозема 45 мкм. Умеренная сила связи отмечена между  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$ , а также между  $^{40}\text{K}$  и частицами почвенного скелета (2 мм).

Таблица 2

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

	2 мм	1 мм	500 мкм	250 мкм	100 мкм	45 мкм	<45 мкм	<sup>137</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K
2 мм	1										
p-value	-										
1 мм	0,43	1									
p-value	0,141	-									
500 мкм	-0,57	-0,06	1								
p-value	0,041	0,838	-								
250 мкм	-0,81	-0,46	0,08	1							
p-value	0,001	0,070	0,733	-							
100 мкм	-0,85	-0,58	-0,09	0,88	1						
p-value	0,000	0,018	0,689	0,000	-						
45 мкм	-0,45	-0,48	0,20	0,05	0,30	1					
p-value	0,125	0,061	0,360	0,831	0,161	-					
<45 мкм	0,22	-0,09	-0,07	-0,55	-0,45	0,39	1				
p-value	0,461	0,742	0,744	0,006	0,030	0,068	-				
<sup>137</sup> Cs	<b>0,98</b>	-0,21	-0,47	-0,67	-0,46	<b>0,47</b>	<b>0,82</b>	1			
p-value	0,019	0,643	0,172	0,036	0,176	0,173	0,004	-			
<sup>226</sup> Ra	0,40	0,05	-0,13	-0,39	-0,39	0,05	0,20	<b>0,57</b>	1		
p-value	0,171	0,866	0,579	0,082	0,078	0,838	0,384	0,085	-		
<sup>232</sup> Th	0,22	0,16	-0,19	-0,28	-0,31	-0,06	0,09	0,09	<b>0,45</b>	1	
p-value	0,500	0,576	0,427	0,244	0,192	0,810	0,724	0,856	0,059	-	
<sup>40</sup> K	<b>0,37</b>	0,16	0,10	0,10	-0,13	-0,64	-0,40	-0,22	0,08	0,19	1
p-value	0,208	0,545	0,671	0,646	0,575	0,001	0,063	0,542	0,734	0,434	-

Примечание.

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

## ВЫВОДЫ

1. Полученные данные по удельной активности радиоцезия (<sup>137</sup>Cs) и естественных радионуклидов (<sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra, <sup>40</sup>K) в почвах г. Оленегорска не превышают предельно допустимых концентраций, характерных для урбанизированных территорий Мурманской области.

2. Максимальные значения удельной активности <sup>137</sup>Cs (47,5 Бк/кг) отмечены в ненарушенных почвах природных ландшафтов в северо-западной части города, не подверженных антропогенному воздействию.

3. При рассмотрении пространственного распределения естественных радионуклидов выявлено, что максимальные значения удельной активности  $^{40}\text{K}$  получены в почвах озеленённых территорий, что объясняется разной плотностью растительности, легко вовлекающей  $^{40}\text{K}$  в биологический круговорот; в центральной и юго-восточной частях города в пределах застройки многоэтажными жилыми домами этот показатель составил 293,8 Бк/кг. Максимальные значения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в почвах достигали 14,6 и 12,2 Бк/кг и были приурочены к районам многоэтажной и среднеэтажной застройки.

4. Результаты корреляционного анализа между удельной активностью радионуклидов и содержанием частиц почвенного скелета (2 мм), фракций почвенного мелкозёма (менее 1 мм) показали, что  $^{137}\text{Cs}$  имеет весьма высокую по силе связь с частицами почвенного скелета и с фракцией мелкозёма <45 мкм, а также умеренную силу связи с фракцией мелкозёма 45 мкм. Умеренная сила связи отмечена между  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$ , а также между  $^{40}\text{K}$  и частицами почвенного скелета (2 мм).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвы застройки высоко- и среднеэтажными жилыми кварталами и промышленными территориями имеют несколько более высокие значения удельной активности радионуклидов по сравнению с городскими окраинами, зонами пустырей, парковых зон и спортплощадок. Оленегорск является запылённым городом, и в связи с этим, с мелкими пылеватыми частицами (<45 мкм) происходит связывание  $^{137}\text{Cs}$  в почвах. Необходима разработка мер по снижению запылённости на горно-обогатительном комбинате, что повлечёт за собой улучшение экологической ситуации в городе. Исходя из наших данных, максимальные значения удельной активности радионуклидов приурочены к почвам кварталов, где комбинат непосредственно граничит с городской территорией. В этих точках необходимо продолжение мониторинговых работ по изучению удельной активности радионуклидов.

### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ гос. регистрации 122011300333-1) и гранта РНФ № 20-77-10057.

### ЛИТЕРАТУРА

Атлас Мурманской области. Москва, 1971. 33 с.

Даувальтер В.А. Геохимия озёр в зоне влияния Арктического железорудного предприятия // Геохимия. 2020. Т. 65. № 8. С. 797–810. DOI: <https://doi.org/10.31857/S001675252008004X>.

Карта градостроительного зонирования г. Оленегорска, 2015. URL: [https://olenegorsk.gov-murman.ru/city/master-plan/k\\_zon.jpg](https://olenegorsk.gov-murman.ru/city/master-plan/k_zon.jpg) (дата обращения 24.10.2023).

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

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

Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». Москва: ООО НТЦ «Амплитуда», 2016. 12 с.

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: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-5-11-14>.

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.

Рюмина Л.В. Экологические проблемы Кольского полуострова // Жизнь Земли. Сер. Землеведение, экология, геодинамика. 2014. Т. 35–36. С. 76–81.

Салтан Н.В., Святковская Е.А., Тростенюк Н.Н. Оценка загрязнения снегового покрова урбоэкосистем

Кольского Севера в зоне влияния железнодорожных отводов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 78–83. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-1-078-083>.

Сергеев С. Куда ведет грибная тропа, а также взгляд экологов на Оленегорск и окрестности // Оленегорск: Люди. События. Факты, 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://olenegorsk.ol-cbs.ru/page/kuda-vedet-gribnaja-tropa> (дата обращения 24.10.2023).

Фофанова А.Ю., Андреев Д.М. Решение вопросов благоустройства с участием населения (на примере муниципального образования г. Оленегорска с подведомственной территорией Мурманской области) // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 78–3. С. 7–11. DOI: <https://doi.org/10.18411/trnio-10-2021-85>.

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

Поступила в редакцию 09.11.2023

Принята 28.12.2023

Опубликована 28.12.2023

#### Сведения об авторах:

**Игловский Станислав Анатольевич** – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики РАН (г. Архангельск, Россия); [iglovskys@mail.ru](mailto: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 РАН (г. Архангельск, Россия); [abv-2009@yandex.ru](mailto:abv-2009@yandex.ru)

**Яковлев Евгений Юрьевич** – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики Российской академии наук (Архангельск, Россия); [yakov24lev99@mail.ru](mailto:yakov24lev99@mail.ru)

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

### SPATIAL DISTRIBUTION OF $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ IN SOILS OF THE OLENEGORSK CITY (MURMANSK REGION)

© 2023 S. A. Iglovsky , A. V. Bazhenov , E. Y. Yakovlev 

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FECIAR UrB RAS), Arkhangelsk, Russia. E-mail: [abv-2009@yandex.ru](mailto:abv-2009@yandex.ru)

*The goal of the study is obtain original data and identify the main patterns of spatial distribution of radionuclides in the soils of Olenegorsk, depending on zoning and urban development, focusing one specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  and natural radionuclides, namely  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ , in soils. Such studies of urban soils in Olenegorsk have not been carried out earlier.*

*Location and time of the study.* Soil samples in the city of Olenegorsk, Murmansk region, were collected in the summer of 2018.

*Methods.* Soil samples were collected at 24 study sites on the territory of the Olenegorsk city from the upper 0–5 cm layer. Under laboratory conditions, the samples were dried at 105° C to constant mass. Then soil aliquots were placed in a Marinelli vessel to measure isotope specific activity using gamma spectrometry. Registration of gamma radiation from a countable soil sample, as well as processing of spectra, was carried out using the Progress-gamma software and hardware complex FVKM.412131.002-03. Calibration of the gamma spectrometer by energy to monitor the safety of the installation parameters was carried out after each measurement using a combined control source OISN-137-1 in a 1-liter Marinelli vessel. The minimum exposure time for the counting sample was 3600 seconds. However, depending on the activity of a sample, the exposure time in individual samples with weak activity was increased.

*Main results:* The maximal specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in urban soils of Olenegorsk was 47.5 Bq/kg in the northwestern part of the city in the undisturbed soils of the natural landscape. Maximal values of  $^{40}\text{K}$  specific

activity reached 293.8 Bq/kg in the central and south-eastern parts of the city within the boundaries of multi-storey residential district. The maximal specific activity of  $^{226}\text{Ra}$  in soils reached 14.6, and that of  $^{232}\text{Th}$  reached 12.2 Bq/kg, being confined to soils in the area of high-rise and mid-rise buildings, most likely, due to the differential vegetation density since the latter easily involves  $^{40}\text{K}$  into the biotic turnover. Maximal values of soil  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  specific activity (14.6 and 12.2, respectively) were determined in areas with multi-storey and mid-rise buildings.

The correlation analysis between the radionuclides and soil skeleton particles ( $\geq 2$  mm) and finer ( $\leq 1$  mm) fractions showed rather close association of radionuclides with soil skeleton and  $< 45$   $\mu\text{m}$  particles, as well as a moderately strong correlation with the 45  $\mu\text{m}$  fraction. Moderately strong correlation was found between  $^{232}\text{Th}$  and  $^{226}\text{Ra}$ , and between  $^{40}\text{K}$  and soil skeleton particles.

**Conclusion.** The obtained data about the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  and natural radionuclides ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) in the soils of Olenegorsk do not exceed the maximum permissible concentrations, characteristic of the urbanized areas of the Murmansk region.

**Key words:** Specific activity; urban soils;  $^{137}\text{Cs}$ ;  $^{232}\text{Th}$ ;  $^{226}\text{Ra}$ ;  $^{40}\text{K}$ ; Olenegorsk; Murmansk region.

**How to cite:** Iglovsky S.A., Bazhenov A.V., Yakovlev E.Yu. Spatial distribution of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  in soils of Olenegorsk city (Murmansk region) // *The Journal of Soils and Environment*. 2023. 6(4). e225. DOI: 10.31251/pos.v6i4.225 (in Russian with English abstract).

#### FINANCIAL SUPPORT

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 122011300333-1) and the Russian Science Foundation (grant No. 20-77-10057).

#### REFERENCES

- Atlas of Murmansk Province. Moscow 1971. 33 p. (in Russian).
- Dauwalter V.A. Geochemistry of lakes in the zone of influence of the Arctic iron ore enterprise. *Geohimiya*. 2020. Vol. 65. No. 8. P. 797–810. DOI: <https://doi.org/10.31857/S001675252008004X>. (in Russian).
- Urban zoning map of Olenegorsk, 2015. URL: [https://olenegorsk.gov-murman.ru/city/master-plan/k\\_zon.jpg](https://olenegorsk.gov-murman.ru/city/master-plan/k_zon.jpg) (accessed on 24.10.2023). (in Russian).
- Kryauchynas V.V., Kuznetsova I.A., Kotova E.I., Iglovsky S.A., Mironenko K.A., Sukhanov S.G. Natural and technogenic radionuclides in soils in a small Russian arctic town. *Human Ecology*. 2020. No. 5. P. 11–20. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2020-5-11-20>. (in Russian).
- Melentyev G.B. Natural radioactivity of rare-metal specialized mineral raw materials and urbanized areas in the Karelian-Kola region as a factor for their radioecological assessment. *Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science. Precambrian Geology Series*. 2021. No. 2. P. 27–43. DOI: <https://doi.org/10.17076/geo1284>. (in Russian).
- Methodology of radionuclide activity measurement using scintillation gamma spectrometer with software "Progress". Moscow: LLC STC "Amplitude", 2016. 12 p. (in Russian).
- Nikanov A.N., Gudkov A.B., Shelkov M.V., Popova O.N., Shcherbina F.A., Shcherbina A.F. Mining and processing plant activities and the levels of background radiation in an arctic setting. *Human Ecology*. 2019. No. 5. P. 11–14. DOI: <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2019-5-11-14>. (in Russian).
- 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. P. 36–38. (in Russian).
- Ryumina L.V. Environmental problems of the Kola Peninsula. *Life of the Earth. Series: Geoscience, Ecology, Geodynamics*. 2014. Vol. 35. P. 76–81. (in Russian).
- Saltan N.V., Svyatkovskaya E.A., Trostenyuk N.N. Assessment of pollution of the snow cover of urban ecosystems of the Kola North in the zone of influence of railway branches. *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. No. 1. P. 78–83. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-1-078-083>. (in Russian).
- Sergeyev S. Where the mushroom trail leads, as well as the ecologists' view of Olenegorsk and its surroundings. *Olenegorsk: People. Events. Facts*, 2023. [Electronic resource]. URL: <https://olenegorsk.ol-cbs.ru/page/kuda-vedet-gribnaja-tropa> (accessed on 24.10.2023). (in Russian).
- Fofanova A. Yu., Andreev D. M. Solving issues of improvement with the participation of the population (using the example of the municipal formation of Olenegorsk with the subordinate territory of the Murmansk region).

Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2021. No. 78–3. P. 7–11. DOI: <https://doi.org/10.18411/trnio-10-2021-85>. (in Russian).

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

*Received 09 November 2023*

*Accepted 28 December 2023*

*Published 28 December 2023*

**About the authors:**

**Iglovsky Stanislav Anatolyevich** – Candidate of Geographical 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 (Arkhangelsk, Russia); [iglovskys@mail.ru](mailto:iglovskys@mail.ru)

**Bazhenov Aleksandr Viktorovich** – Candidate 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 (Arkhangelsk, Russia); [abv-2009@yandex.ru](mailto:abv-2009@yandex.ru)

**Yakovlev Evgeniy Yurievich** – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Ecological Radiology of the Institute of Geodynamics and Geology of the Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russia); [yakov24lev99@mail.ru](mailto:yakov24lev99@mail.ru)

*The authors read and approved the final manuscript*