

Радионуклиды в почвах промышленной зоны города Хабаровск

Валентина Ивановна РОСЛИКОВА¹

доктор географических наук, ведущий научный сотрудник
roslikova@ivep.as.khb.ru

Тамара Ивановна МАТВЕЕНКО²

кандидат биологических наук, доцент
matveenkoti@mail.ru

¹Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, Россия

²Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

Аннотация. Исследования почвенного покрова проводились в двух промышленных зонах, расположенных в разных районах г. Хабаровск. Описание почвенных разрезов проводилось с использованием субстантивно-генетической классификации. Обосновано различие между предпочвенными и новообразованными почвенными образованиями. Установлено, что первая промышленная зона расположена на пологоволнистой поверхности овражно-балочной сети бывшего русла реки, сложенной плейстоценовыми озерно-аллювиальными глинами. В результате промышленной деятельности образовались субаэральные шлакозольные отходы с включениями несгоревших углей. В этих условиях были выделены цинозем и урбалитострат. Вторая промышленная зона охватывает территорию предприятия на крутом берегу р. Амур, где образовался техногенный оползень. Почвенный покров изучался в его различных частях с учетом сложного состава и многослойного строения отложений. Природный минеральный блок: выявлены наиболее характерные разновидности бурых почв постагрогенного почвообразования. Техногенный оползневой блок: выявлены новообразованные почвенные образования – хемоземы, рудиземы и урбаноземы. Морфодиагностические признаки изученных трансформированных почв и почвенных образований выявили разнообразие и мозаичность их профилей, обусловленные различным положением в элементарных ландшафтах и разнообразным составом техногенных слоев. Проведена оценка радиационного состояния двух промышленных зон, расположенных в различных литолого-геоморфологических условиях. Естественные отложения перекрыты неоднородными техногенными, на них сформировались новые предпочвенные образования, в которых выявлен ряд последовательности накоплений радионуклидов $^{40}K > ^{232}Th > ^{226}Ra > ^{137}Cs$. В обеих зонах он оказался однотипным. Усредненные значения величин радионуклидов наиболее активных элементов (^{232}Th , ^{137}Cs) показали, что наиболее загрязненными оказались предпочвенные образования рудиземы, сформированные на отложениях строительных отходов. При этом ряд последовательности накоплений не изменился – $^{232}Th > ^{137}Cs$. В целом полученные данные свидетельствуют, что функциональное состояние исследованных объектов не выходит за пределы нормативных экологических показателей. Усредненные оценки величины удельной активности радионуклидов нивелируют истинные показатели отдельных участков загрязнения, что требует вычленения их для дальнейшей реабилитации.

Ключевые слова: предпочвенные образования, трансформированные почвы, элементарные ландшафты, загрязнения, радионуклиды

Original article

Radionuclides in the soils of the industrial zone of Khabarovsk city

Valentina I. ROSLIKOVA¹

Doctor of Geographical Sciences, Leading research associate
roslikova@ivep.as.khb.ru

Tamara I. MATVEENKO²

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
matveenkoti@mail.ru

¹ Institute of Water and Ecology Problems FEB RAS, Khabarovsk, Russia

² Pacific State University, Khabarovsk, Russia

Abstract. The problem of soil contamination with radionuclides is acute in large industrial centers, whose enterprises emit significant volumes of pollutants, creating a dangerous ecological situation. Identification of regional features of contamination of transformed soils with radionuclides in different lithological and geomorphological conditions of Khabarovsk determined the main goal of the research: to assess the degree of accumulation of long-lived radionuclides in transformed soils. The soil cover study was conducted in two industrial zones located in different areas of Khabarovsk. The description of soil sections was carried out using substantive-genetic classification. The distinction between pre-soil and newly formed soil bodies is substantiated. It has been established that the first industrial zone is located on the gently undulating surface of the gully-ravine network of the former river bed, composed of Pleistocene lacustrine-alluvial clays. As a result of industrial activity, subaerial slag-ash waste with inclusions of unburned coals was formed. Under these conditions, the following were identified: cynozem and urbalitostrat. The second industrial zone covers the territory of the enterprise, on the steep bank of the Amur, where a man-made landslide formed. The soil cover was studied in its various parts, taking into account the complex composition and multi-layered structure of the deposits. Natural mineral block – the most characteristic varieties of brown soil of post-agrogenic soil formation have been identified. Man-made landslide block: newly formed soil formations were identified – chemozem, rudizem and urbanozem. Morphodiagnostic features of the studied transformed soils and soil formations revealed the diversity and mosaic nature of their profiles, caused by different positions in elementary landscapes and the diverse composition of technogenic layers. The radiation state of two industrial zones, located in different lithological-geomorphological conditions, was estimated. Natural sediments are covered by non-uniform technogenic sediments, on which new predpochvennyye formations have formed. They revealed a series of sequences of radionuclides accumulations – $^{40}\text{K} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{137}\text{Cs}$. In both zones, he was of the same type The averaged values of the radionuclides of the most active elements (^{232}Th , ^{137}Cs) showed that the most polluted were the predpochvennyye formations of rudozems formed on deposits of construction waste. At the same time, the series of the accumulation sequence has not changed – $^{232}\text{Th} > ^{137}\text{Cs}$. In general, the data obtained showed that the functional state of the studied objects does not go beyond the limits of regulatory environmental indicators. It should be noted that averaged estimates of the specific activity of radionuclides neutralize the true indicators of individual contamination sites, which requires their discharge for further rehabilitation.

Keywords: predpochvennyye formations, transformed soils, elementary landscapes, pollution, radionuclides

For citation: Roslikova V.I., Matveenko T.I. Radionuclides in the soils of the industrial zone of Khabarovsk city. Pacific Geography. 2024;(4):17-26. (In Russ.).

Введение

Загрязнение биосферы, в том числе почвенного покрова, радионуклидами становится одной из серьезнейших экологических проблем во всем мире. Это обусловлено тем, что радиация несет необратимые последствия для жизнедеятельности человека [1–4]. Почва, благодаря почвенно-поглощающему комплексу, является длительно действующим накопителем и распределителем техногенных загрязнителей, в том числе и радиоактивных. В связи с этим необходима система регулярных наблюдений за показателями радиоактивного загрязнения окружающей среды и параметрами состояния человека и биоты с целью своевременного выявления и прогноза нежелательных для человека и экосистем последствий [5, 6]. Особенно остра эта проблема для крупных промышленных центров, таких как г. Хабаровск. Его предприятия поставляют значительные количества загрязняющих веществ, создавая опасность накопления радионуклидов в почвах урбанизированных ландшафтов, обеспечивая не комфортную экологическую обстановку [7, 8]. В этом направлении широким фронтом ведутся исследования во многих урбанизированных ландшафтах центральной части России, Урала, Сибири и др. [9, 10]. Однако на Дальнем Востоке эти вопросы освещены лишь относительно влияния ТЭЦ и некоторых районов агроландшафтов [11]. Иные промышленные зоны городов не исследовались. Выявление региональных особенностей загрязнения трансформированных почв промышленных зон радионуклидами важны не только для оценки состояния окружающей среды, но и для уточнения нормативной документации.

Основная цель исследований состояла в оценке степени накопления долгоживущих радионуклидов в трансформированных почвах промышленной зоны, располагающихся в различных литолого-геоморфологических условиях г. Хабаровск.

Методы

Объектами исследований послужили почвы двух промышленных зон освоенной территории города (с различными производственными отходами) с разными литолого-геоморфологическими условиями. Было описано 8 разрезов. В работе применена субстантивно-генетическая классификация. В основе выделения последовательности горизонтов положена классическая система ABC. Для отражения специфики горизонтов использованы конкретные предложения по обозначению признаков генетической сущности почв [12–14]. Четко обосновано выделение предпочвенных и почвенных новообразованных тел [15–17]. Предпочвенные тела характеризуются начальной стадией формирования почвенного профиля на отложениях в основном природных грунтов, с участием бывших естественных почвенных горизонтов и началом формирования новых почвенных горизонтов. Почвенные новообразованные тела полностью обусловлены характером техногенных или урбанизированных отложений достаточной мощности. К примеру, на отложениях бытовых отходов формируются предпочвенные образования неоземы, а на отложениях строительных отходов – рудиземы, на зольных отложениях – циноземы. Почвенные горизонты отсутствуют, а их заменяют искусственные слои самих отложений [15].

Использованы следующие методы:

1. Сравнительно-географический. Этот метод является традиционным для географии. Он позволил выявить временные и пространственные различия зоны влияния завода «Дальэнергомаш» и района завода «Дальдизель», оценить их сходство и различия.

2. Профильный метод. Отражает закономерности вертикального развития почвообразовательного процесса. Данный метод позволил исследовать всю почвенную толщу (разрезы 21, 22, 26–31) последовательно по генетическим горизонтам и дал возможность раскрыть процесс становления преобразованной «почвы» путем сопоставления параметров почвенного профиля [18].

3. Гамма-спектрометрический – наиболее универсальный метод идентификации радионуклидов. Измерения удельной активности радионуклидов в почвенных пробах производились в лабораторных условиях (ТОГУ, г. Хабаровск) на кафедре «Экология, ресурсопользование и безопасность жизнедеятельности» с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра «Мультирад-гамма» на базе ПК с программным обеспечением «ПРОГРЕСС» [19].

Результаты и их обсуждение

При исследованиях особое внимание было сосредоточено на вновь образованные почвенные тела, сформированные на различных по генезису современных отложениях, а также положения почв в элементарных ландшафтах. Ниже приведены краткие морфодиагностические признаки изученных объектов.

Первая промышленная зона завода «Дальэнергомаш» расположена на пологоволнистой поверхности овражно-балочной сети бывшего русла р. Плюснинки, сложенной плейстоценовыми озерно-аллювиальными глинами. В результате производственной деятельности на них сформировались субаэральные шлаково-зольные отходы с включениями не сгоревших углей. В этих условиях сформировалось техногенно-предпочтенное образование – *цинозем* (разрез 21). Его профиль имеет последовательность горизонтов, в которой ведущая роль принадлежит техногенно-поверхностным образованиям (ТПО). *Профиль*: 1ТПО сн а1 (0–37 см) → 2ТПО сн а2 (37–61 см) → 3ТПО уг сн а3 (61–80 см). Бурый, пестрый, суглинистый с примесью включений прерывистой многослойности крупных обломков шлака, гнезд золы (сн) от ярко-оранжевых до темно-серых тонов. Локальные участки бытового мусора и включения артефактов более 30 % (а1–а3). Северо-западнее в 200 м от цинозема, описан профиль *почвенного образования урбалитострата с фрагментами текстурно-дифференцированной почвы на переотложенных природных грунтах* (разрез 20–10). *Профиль*: О а1 (0–0.2 (32) см) → Aur а1 (0.2–14 см) → 1UTCX а2 (14–32 см) → 2UTCX(Elnng) а2 (32–77 см) → 3UTCX(Elnng) а (77–140 см). Эфемерный слой травянистого опада (О), на его поверхности бытовые отходы и отдельные мелкие артефакты (уга1 5–10 %); слабо развитый аккумулятивный горизонт (Aur) на искусственно привнесённом литогенном слое (TCX), с бытовыми отходами, хаотичными отдельными линзами элювиально-глеевого горизонта (Elgnn) урбанизированной текстурно-дифференцированной почвы с включениями артефактов а1 (2–5 %).

Вторая промышленная зона охватывает территорию старейшего предприятия завода «Дальдизель». Здесь более чем за 100-летний период существования на крутом правом берегу Амура под воздействием производственной деятельности сформировался техногенный оползень. Почвенный покров изучался в его различных частях с учетом сложного состава и многоярусного строения его отложений (природно-техногенный блок и техногенный). Наиболее характерными трансформированными почвами и предпочтенными образованиями являются следующие разновидности:

Природно-минеральный блок. Автономное положение (разрез 26). Слабый уклон в сторону Амура на бывшей пашне разреженный древостой: черная береза, дикая груша, посадки войлочной вишни. *Профиль*: О (0–0.2 см) → Ad (0.2–2 см) → PY(B1) agr (25–35 см) → B1(AY) tr (35–45 см) → B2CLM (45–75 см) → B3CM (75–120 см) → CLM (120–175 см). Аккумулятивный горизонт бурый, старопахотный, легкосуглинистый, слабо задернованный. Верхняя толща профиля агротурбирована с включением линз нижележащего горизонта (B1)agr, который также неоднородный с включением линз и участков горизонта PY. Турбированность вызвана как подрезкой склона во время строительства дороги, так и другими механическими воздействиями (CLM – кора выветривания). *Почва*: бурозем постагрогенный турбированный на элювиально-делювиальной коре выветривания глинистых сланцев.

Аккумулятивное положение (разрез 29). Мелколиственно-леспедецевый молодой лес с участием шиповника. *Профиль*: О (0–0.2 см) → 1Frak str cim (0.2–16 см) → 2Frak str cim (16–32 см) → CLM (32–80 см). Локально лесная подстилка. В результате оползневых процессов бурозем полностью разрушен. Профиль нового образования представлен слоями природных бурых легких суглинков с хаотичным включением раздробленных (со свежими остроугольными сколами щебня) осадочных пород. *Почвенное образование* *фрактально-стратифицированное (fraktus – раздробленный) на минеральных оползневых отложениях*.

Техногенный блок оползня. Трансаккумулятивное положение отличается скоплением производственных отходов в виде черной маслянистой «формовой земли» (разрезы 27 и 28). Кроме того, отмечается постоянное подтопление темными маслянистыми техногенными водами. Замкнутое понижение, на выположенном участке шириной 20 м, между двумя склонами крутизной до 400 (разрез 27). По окраине мелколиственное редколесье в наземном покрове хвощ, тростник, молочай. *Профиль*: Amb (0–0.5(2) см) → 1XRU aqua str (0.5(2)–35 см) → 2XUR aqua str a2 (35–65 см). В профиле скопление темной, влажно-маслянистой органо-минеральной земли (отходы производства) с включением артефактов (a2). Нижний горизонт сырой, много мокриц и червей. Толща стратифицирована. Отличительной особенностью этого почвенного образования является наличие пирогенных процессов в верхней части профиля. *Предпочвенное образование: хемозем амбустированный аквастратифицированный на перемещенных техногенных отложениях*.

Центральная часть оползня (разрез 28). Ровное место, выход на поверхность темных техногенных вод в виде ручья. Растительность: вяз, возобновление ивы, тростник. *Профиль*: О (0–0.2 см) → 1XRU aqua str a2 (0.2–19 см) → 2XRUG aqua str a3 (19–40 см) → ТПО aqua str f (40–70 см). Характерна охристая (f), косая слоистость суглинистой формовой земли (отходы производства). *Предпочвенное образование – хемозем аквастратифицированный на перемещенных техногенных отложениях*.

Аккумулятивное положение (разрез 30). Поверхность эрозионного уступа (язык оползня). Мелкобугристая поверхность. Дубовое редколесье, в пониженных участках тростник. *Профиль*: Огу (0–2 см) → 1Uru a2 (2–50 см) → 2Uru a (50–70 см) → Uru a3 (70–90 см). Опад (Огу) из сухих трав и листьев на поверхности обломки цемента, частицы угля. Легкосуглинистые опесчаненные слои отличаются различной долей включений артефактов (шлака, битума, кирпича, корней). *Предпочвенное образование: рудизем на перемещенной техногенной толще с включением отходов строительного производства*.

Разрез 31. Распадок на оползне языка, береговая линия Амура. Участками древостой тополя, бобовые, осока. Понижения заняты камышом. *Профиль*: Ustr f (0–40 см) → Ustr a3 (40–90 см). *Предпочвенное образование: урбанозем на перемещенных техногенных отложениях*. Для рассматриваемого образования характерно бессистемное нагромождение различных техногенных толщ.

Морфодиагностические признаки приведенных трансформированных почв и предпочвенных образований раскрыли разнообразие и мозаичность их профилей, что обусловлено различным положением в элементарных ландшафтах и разнообразным составом техногенных слоев. Очевидно, что такая разнородность слоев в изученных объектах должна проявиться и в распределении радиоактивной их активности.

Рассмотрим взаимосвязь накопления поллютантов с конкретными исследованными объектами (табл. 1). Как следует из опубликованных материалов, радиоактивные элементы имеют тенденцию накапливаться в аккумулятивной части почв [5, 20]. В предпочвенных образованиях промышленной зоны «Дальэнергомаш» эта закономерность проявилась локально для отдельных элементов. Так, для урбалитострата (разрез 20–10) она имеет отношение к торию и цезию. При этом содержание калия по сравнению со всей толщей уменьшено более чем 8 раз и составляет всего 58.30 Бк/кг. В циноземе (разрез 21) в верхней части профиля отмечено незначительное повышение цезия, тория и калия. В дальнейшем кривая распределения элементов по профилю не имеет определенной связи

с выделяемыми слоями (горизонтами). Однако, прослеживается некоторая тенденция увеличения содержания радионуклидов в средней и нижней частях профиля.

Таблица 1

Содержание радионуклидов в трансформированных почвах производственных зон г. Хабаровск
Table 1. The content of radionuclides in transformed soils of industrial zones of the city of Khabarovsk

№ разреза, глубина, см	Горизонт / слой	Удельная активность радионуклидов (УА), Бк/кг				Ряд последовательности УА
		¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	Th ²³²	⁴⁰ K	
Промышленная зона «Дальэнергомаш»						
Разрез 20-10						
0.2–14(32)	Aur a1	3.14	18.86	40.58	58.30	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
14–32	1UTCX a2	0.23	29.95	37.73	412.00	
32–77	2UTCX(Elnng) a2	1.17	20.65	33.61	561.00	
77–140	3UTCX(Elnng) a	2.20	16.12	31.70	512.00	
Среднее значение		1.69	21.39	35.91	385.00	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
Разрез 21						
0–37	1ТПО cn a1	0.13	27.02	46.20	484.00	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
37–61	2ТПО cn a2	2.20	31.32	41.12	465.00	
61–80	3ТПО ur cn a3	2.36	22.30	43.60	463.00	
Среднее значение		1.55	26.88	43.41	470.70	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
Промышленная зона «Дальдизель» (природно-техногенный блок)						
Разрез 26						
0–25	PY(B1) agr	1.06	24.30	29.27	523.00	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
25–35	B1(AYtr)	2.36	8.62	19.43	117.80	
35–45	B1CLM	0.16	23.22	38.76	502.00	
45–75	B2CM	2.03	27.38	41.87	526.00	
75–170	CLM	1.83	12.6	4.96	229.00	
Среднее значение		1.49	19.22	26.96	379.56	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
Разрез 29						
0–16	1Frak str cim	0.71	17.17	17.71	442.80	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
16–32	2Frak str cim	2.54	22.88	42.85	434.60	
Среднее значение		1.63	20.02	30.28	443.70	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
Промышленная зона «Дальдизель» (техногенный блок)						
Разрез 27						
0.5–35	1XRU aqua str	1.29	21.94	31.07	684.00	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
35–65	2XUR aqua str a2	1.27	12.39	16.51	464.00	
Среднее значение		1.23	17.16	23.79	514.00	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
Разрез 28						
0.2–19	1XRU aqua str a2	2.26	15,30	31.02	335,20	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
19–40	2XRU g aqua str a3	1.34	9.62	87.80	475.00	
40–70	ТПО aqua str f	2.80	10.86	29.30	466.00	
Среднее значение		2.13	11.93	49.37	422.07	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
Разрез 30						
0–50	1Uru a2	27.41	22.02	31.97	491.00	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
50–90	Uru a3	8.38	16.14	176.30	461.00	
Среднее значение		17.89	19.08	104.14	476.00	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
Разрез 31						
0–40	Ustr f	2.45	21.49	36.53	591.00	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
40–90	Ustr a3	2.14	13.12	16.32	302.00	
Среднее значение		2.29	17.30	26.43	406.50	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs

Сопоставление между собой усредненных величин удельной активности (УА) радионуклидов по профилям исследованных почвоподобных тел в промышленной зоне «Дальэнергомаш» позволяет отметить, что цинозем более загрязнен по сравнению с урбанизированным литостратом. Это связано с составом шлакового материала, в котором по сравнению с углями количество радионуклидов возрастает ^{40}K в 4,2 раза, ^{226}Ra – 3,4 и ^{232}Th в 3,3 раза [11, 12]. Кроме того, в профиле цинозема обилие гнезд несгоревшего угля. В ряду накоплений радионуклидов последовательность элементов однотипна и выражается следующим образом: $^{40}\text{K} > ^{232}\text{Th} > ^{226}\text{Ra} > ^{137}\text{Cs}$.

Промышленная зона «Дальдизель» – природно-техногенный блок – характеризуется накоплением радионуклидов в основном в средней части профиля обеих разновидностей почв (бурозема турбированного, разрез 26, и фрактально-стратифицированного, разрез 29).

Техногенный блок (автономное и транзитно-аккумулятивное положение). В связи с перемещением производственных отходов и дополнительным подтоком техногенных вод отмечается мозаичное распределение радионуклидов по профилю. В аккумулятивной части амбустированного хемозема накапливается только радий, а количество цезия, тория, калия смещено в среднюю и нижнюю части профиля (см. табл. 1).

В транзитно-аккумулятивном положении хемозем аквастратифицированный, все элементы смещены в нижнюю часть профиля.

Промышленная зона «Дальдизель» – природно-техногенный блок. Он представлен минеральными трансформированными почвами (автономное положение, разрез 26) и новообразованным почвоподобным образованием (разрез 29, транзитно-аккумулятивное положение). Судя по усредненным величинам радионуклидов по горизонтам, четко проявилось увеличение загрязнения в разрезе 29 (фрактально-стратифицированное почвенное образование). Очевидно, это связано с транзитом и аккумуляцией элементов в подчиненном положении. Ряд последовательности удельной активности исследованных радионуклидов остался прежним. Самым активным является ^{40}K (443.00 Бк/кг), и замыкает этот ряд цезий ^{137}Cs (1.63 Бк/кг). Судя по величине средних значений содержания радионуклидов в почвенных образованиях аккумулятивного положения, максимальное содержание цезия, радия, тория и калия приурочено к верхней части профиля. Так как эрозионный уступ сложен нагромождением всех техногенно-перемещенных отложений, то такая закономерность вполне оправдана.

Особенностью нижнего горизонта рудизема (разрез 30) является высокое содержание ^{232}Th (176.30 Бк/кг), что 4–8 раз превышает его содержание в других подобных образованиях всех исследованных зон. Такое локальное увеличение обусловлено поступлением в зону аккумуляции (уступ языка) загрязненных производственных отходов.

Как известно [9], ^{232}Th и ^{137}Cs являются активными и наиболее «долгоживущими». В исследованных объектах содержание ^{232}Th лежит в пределах 23.00–49.00 Бк/кг, а ^{137}Cs – 1.20–2.30 Бк/кг. Однако в соответствии со средними показаниями в урбанизме (аккумулятивное положение, разрез 30) тория увеличено в 2–4 раза, а цезия – в 7–14 раз. Эти цифры наглядно свидетельствуют о том, что отдельные техногенные отложения завода «Дальдизель» могут нести определенную опасность окружающей среде. Особенно это имеет место в зонах аккумуляции.

При изучении распределения УА (удельная активность) радионуклидов в преобразованных почвах и предпочвенных образованиях промышленных зон выявлено, что убывающий ряд среднего содержания радионуклидов един. Первое место занимает ^{40}K , второе – ^{232}Th , третье – ^{226}Ra , и замыкает его ^{137}Cs . Для оценки экологической опасности пространственного распределения радионуклидов и определения масштабов их проявления на конкретной территории необходимо сравнить УА загрязненных предпочвенных образований промышленной зоны с другими объектами городских ландшафтов, которые были исследованы ранее [11, 21]. Сравнение содержания радионуклидов промышленной зоны с иными объектами исследованной территории показало, что промышленная зона наиболее загрязнена (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика усредненной величины активности радионуклидов по всей толще почв и предпочвенных образований

Table 2. Comparative characteristics of the averaged activity of radionuclides throughout the entire thickness of soils and preferred formations

Объект	Удельная активность радионуклидов, Бк/кг				Ряд накопления
	²²⁶ Ra	²³² Th	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	
Дальдизель	20.18	31.27	1.56	511.17	⁴⁰ K> ²³² Th> ²²⁶ Ra> ¹³⁷ Cs
Энергомаш	22.94	43.39	1.27	498.00	
Военный санаторий	14.83	16.69	1.18	670.0	
Сельскохозяйственные угодья	10.70	30.70	3.38	316.41	
Россия	27.00	30.00	9.95	520.00	

Наименее загрязненным оказался парк «Военного санатория», исключением является ⁴⁰K. Его количество превысило на 167.00 БК/кг по сравнению с показателями других зон. Такое положение связано с наличием местной котельной, работающей на углях. Как известно, дальневосточные угли обогащены радиоактивным калием, и продукты сгорания углей являются основными поставщиками радионуклидов в окружающую среду [11].

Агрогенно-преобразованные почвы сельскохозяйственных угодий также относятся к наименее загрязненным. Здесь отмечается несколько повышенное содержание тория, что, возможно, связано с дополнительным внесением удобрений.

Таким образом, в порядке возрастания средних значений УА радионуклидов исследованные объекты четко располагаются в следующей последовательности: наименьшими показателями отмечается парк «Военного санатория», затем следуют сельскохозяйственные угодья, а максимальная доля радионуклидов приурочена к промышленной зоне завода «Дальдизель». Несмотря на то что она наиболее загрязнена, однако эти значения не превышают нормативных показателей. Кроме того, усредненные значения удельной активности радионуклидов исследованных промышленных зон значительно ниже усредненных показателей по России в целом.

Заключение

Необходимо отметить, что мозаичный характер пространственного распределения радионуклидов в трансформированных почвах и предпочвенных образованиях определяется, с одной стороны, контрастностью техногенных отложений, которая связана с характером производства, а с другой – положением того или иного участка в катене. При этом в условиях зоны аккумуляции отмечается наиболее повышенная плотность удельной активности радионуклидов. Именно в этой зоне, как показали наши исследования, предпочвенные образования оказались наиболее емким звеном в цепочках переноса радионуклидов. Исследования также показали, что информативную оценку о плотности радиационного загрязнения конкретной территории дают данные, полученные при исследованиях объектов с точной привязкой к элементарному ландшафту.

В целом полученные данные свидетельствуют о том, что функциональное состояние исследованной территории не выходит за пределы нормативных показателей. Однако необходимо подчеркнуть, что усредненные оценки загрязнения удельной активности нивелируют истинные показатели отдельных участков загрязнения радионуклидами, что требует вычленения их для дальнейшей реабилитации.

Таким образом, представленный материал свидетельствует о сложности изучения почвенного покрова в условиях урбанизированных ландшафтов, а также о необходимости разработки более детальной оценки загрязнения городских почв радионуклидами.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта № 14.B37.27.1890 – в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Авторы искренне благодарят рецензента за ценные замечания.

Acknowledgments. The work was supported by grant No. 14.B37.27.1890 – within the framework of the federal target program «Scientific and scientific-pedagogical personnel of innovative Russia».

The authors sincerely thank the reviewer for valuable comments.

Литература

1. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Почва в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. 261 с.
2. Егорова И.А., Кислицина Ю.В., Пузанов А.В. Радионуклиды в почвах северо-западного Алтая // География и природные ресурсы, 2012. № 3. С. 31–35.
3. Andolina J., Guillette O.A. Methodological approach of soil sampling and analysis in the study of radionuclides transfer sforest ecosystems // Transfer of Radionuclides in natural and semi-natural Environmetnts. Elsevier; London; New York, 1990. P. 161–168.
4. Sblu B. et al. Challenges associated with the behavfloor of radioactive particles in the enviroment // J. Environ. Radioact. Elsevir. Ltd, 2018. P. 101–115.
5. Практические рекомендации по вопросам оценки радиационного воздействия на человека и биоту / под общей редакцией И.И. Линге, Н.И. Крышева. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2015. 263 с.
6. Матинян Н.Н., Бахматова К.А., Шешукова А.А. Антропогенные и естественные почвы городских и пригородных парков Санкт-Петербурга, Россия // Урбанизация: вызов и возможности для функций почв и экосистемных услуг. Труды 9-го Конгресса SUITMA. Springer Geography, 2019. С. 212–220.
7. Молчанова И.В., Караваева Е.Н. Эколого-геохимические аспекты миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове. Екатеринбург: Изд-во УРО РАН, 2001. 161 с.
8. Почва, город, экология // Под общей редакцией акад. Г.В. Добровольского. М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. 320 с.
9. Израэль Ю.А., Гасилина Н.К., Ровинский Ф.Я. Мониторинг загрязнения природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 560 с.,
10. Касимов Н.С., Никифорова Е.М. Геохимия городов и городских ландшафтов // Экология города. М.: Научный мир, 2004. С. 234–268.
11. Росликова В.И., Матвееенко Т.И. Урбанизированные почвы Приамурья (на примере г. Хабаровска). Хабаровск: ТОГУ, 2018. 229 с.
12. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
13. Gerasimova M.I., Bezuglova O.S. Functional-environmental and properties-oriented approaches in classifying urban soils // Urbanization: Challenge and Opportunity for Soil Functions and Ecosystem Services. Proceedings of the 9th SUITMA Congress. Springer Geography, 2019. P. 4–10.
14. Росликова В.И. Диагностика почв урбанизированных ландшафтов Хабаровска // Вестник ДВО РАН. 2018. № 4. С. 25–32.
15. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.И. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение, 2014. № 10. С. 1155–1164.
16. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. 252 с.
17. Росликова В.И. Посттехногенные преобразования почв урбанизированных ландшафтов города Хабаровск // Вестник ДВО РАН. 2023. № 2. С. 110–123.
18. Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.
19. Методика массово-спектрометрического анализа проб природной среды / под. ред. А.Н. Силантьева, К.П. Махонько. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 64 с.
20. Козырев Д.А., Горбов С.Н., Безуглова О.С., Бураева Е.А., Таривердиев С.С., Плахов Г.А., Сальник Н.В. Удельная активность радионуклидов и их взаимосвязь с валовым химическим составом почв // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2021. № 1. С. 71–81.
21. Росликова В.И., Матвееенко Т.И., Майорова Л.П. Почвы промышленных зон города Хабаровска и их биологическая активность // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2021. № 2. С. 77–86.

References

1. Dobrovolsky, G.V.; Nikitin, E.D. Soil in the biosphere and ecosystems (ecological significance of soils). Nauka: Moscow, Russia, 1990; 261 p. (In Russian)
2. Egorova, I.A.; Kisilitsina, Y.V.; Puzanov, A.V. Radionuclides in soils of northwestern Altai. *Geography and Natural Resources*, 2012, 3, 208-211. (In Russian)
3. Andolina, J.; Guilitte, O.A. Methodological approach of soil sampling and analysis in the study of radionuclides transfer sforest ecosystems. In *Transfer of Radionuclides in natural and semi-natural Environmetnts*. Elsevier: London; NewYork, 1990, 161-168.
4. Sblu, B. et al. Challenges associated with the behavioror of radioactive particles in the environment. *J. Environ. Radioackt*. Elsevir. Ltd, 2018, 101-115.
5. Practical recommendations on issues of assessing radiation impact on humans and biota / Under the general editorship of I.I. Linge, N.I. Kryshev. «Sam Poligrafist»: Moscow, Russia, 2015; 263 p. (In Russian)
6. Matinyan, N.N.; Bakhmatova, K.A.; Sheshukova, A.A. Anthropogenic and natural soils of urban and suburban parks of St. Petersburg, Russia. In *Urbanization: challenges and opportunities for soil functions and ecosystem services. Proceedings of the 9th th SUITMA Congress*. Springer Geography, 2019, 212-220. (In Russian)
7. Molchanova, I.V.; Karavaeva, E.N. Ecological and geochemical aspects of radionuclide migration in soil and vegetation cover. Publishing house of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences: Ekaterinburg, Russia, 2001; 161 p. (In Russian)
8. Soil, city, ecology / Under the general editorship of academician G.V. Dobrovolsky. Fund for Economic Literacy: Moscow, Russia, 1997; 320 p. (In Russian)
9. Izrael, Yu.A.; Gasilina, N.K.; Rovinsky F.Ya. Monitoring of environmental pollution. Gidrometioizdat: Lenin-grad, Russia, 1978; 560 p. (In Russian)
10. Kasimov, N.S.; Nikiforova, E.M. Geochemistry of cities and urban landscapes. In *City ecology*. Scientific World: Moscow, Russia, 2004, 234-268. (In Russian)
11. Roslikova, V.I.; Matveenکو, T.I. Urbanized soils of the Amur region (using Khabarovsk as an example). Publishing house of TOGU: Khabarovsk, Russia, 2018; 229 p. (In Russian)
12. Field guide to soils of Russia. V.V. Dokuchaev Soil Institute: Moscow, Russia, 2008; 182 p. (In Russian)
13. Gerasimova, M.I.; Bezuglova, O.S. Functional-environmental and properties-oriented approaches in classifying urban soils. In *Urbanization: Challenge and Opportunity for Soil Functions and Ecosystem Services. Proceedings of the SUITMA Congress*. Springer Geography, 2019, 4-10.
14. Roslikova, V.I. Diagnostics of soils of urbanized landscapes of Khabarovsk. *Vestnik of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2018, 4, 25-32. (In Russian)
15. Prokofieva, T.V.; Gerasimova, M.I.; Bezuglova, O.S.; Bakhmatova, K.A.; Golyeva, A.A.; Gorbov, S.N.; Zharikova, E.A.; Matinyan, N.N.; Nakvasina, E.N.; Sivtseva, N.I. Introduction of soils and soil-like formations of urban areas into the soil classification of Russia. *Pochvovedenie*, 2014, 10, 1155-1164. (In Russian)
16. Eremchenko, O.Z. Soils and technogenic surface formations of urbanized territories of the Perm Kama region: monograph / O.Z. Eremchenko, I.E. Shestakov, N.V. Moskvina; Perm state national research university: Perm, Russia, 2016; 252 p. (In Russian)
17. Roslikova, V.I. Post-technogenic transformations of soils of urbanized landscapes of the city of Khabarovsk. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2023, 2, 110-123. (In Russian)
18. Fedorets, N.G.; Medvedeva M.V. Methodology for studying soils of urbanized territories. Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences: Petrozavodsk, 2009; 84 p. (In Russian)
19. Methodology of mass-spectrometric analysis of environmental samples / ed. by A.N. Silantyev, K.P. Makhonko. Gidrometioizdat: Leningrad, Russia, 1984; 64 p. (In Russian)
20. Kozyrev, D.A.; Gorbov, S.N.; Bezuglova, O.S.; Buraeva, E.A.; Tagiverdiev, S.S.; Plakhov, G.A.; Salmik, N.V. Specific activity of radionuclides and their relationship with the gross chemical composition of soils. *Bulletin of higher education institutions. North caucasus region. Natural sciences*. 2021, 1, 71-81. (In Russian)
21. Roslikova, V.I.; Matveenکو, T.I.; Mayorova, L.P. Soils of industrial zones of the city of Khabarovsk and their biological activity. *Bulletin of the North-Eastern Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2021, 2, 77-86. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 16.05.2024; одобрена после рецензирования 3.10.2024; принята к публикации 11.10.2024.

The article was submitted 16.05.2024; approved after reviewing 3.10.2024; accepted for publication 11.10.2024.

