

Оценка состояния урбаноземов по содержанию поллютантов

Т. Н. Васильева¹✉, Л. В. Галактионова^{1,2}

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

²Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

✉E-mail: vtn1972@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – оценить экологическое состояние почв в пределах урбаноземов в отношении степени загрязненности тяжелыми металлами на примере городской агломерации Оренбурга. **Методы.** Отбор проб проводился на 4 участках в санитарно-защитной зоне промышленных предприятий Оренбурга. Определение подвижных форм тяжелых металлов Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn проводили методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. На исследуемых участках учитывали индекс загрязнения, при этом учитывали референсные значения тяжелых металлов. Загрязнение токсичными элементами определяли с помощью коэффициента $PI_{Nemerow}$. Индекс загрязнения городских территорий рассчитывался как среднее арифметическое или геометрическое $PI_{Nemerow}$ для всех реперных участков в городе. Статистическая обработка материала проводилась с помощью универсальной программы Statistica 10. **Научная новизна** работы состоит в том, что впервые получены данные, характеризующие накопление тяжелых металлов в санитарно-защитных зонах промышленных предприятиях Оренбурга, а также проведено их ранжирование по индексу загрязнения. **Результаты.** Анализ полученных данных позволил выявить повышенное содержание на реперном участке № 1 Pb, Zn во всех слоях почвы. Почвы участка № 2 имели повышенное содержание Cu, Pb, Zn в горизонте почвы 20–30 см, Pb был также обнаружен на глубине 0–10 см, что объясняется прохождением у предприятия крупной автомагистрали. Почвенные образцы на глубине 0–10 см участка № 3 были загрязнены Cd, Mn, Pb, Zn и имели среднюю степень антропогенного загрязнения, что связано с тем, что поверхностные почвы санитарно-защитной зоны участка находятся вблизи нефтеперерабатывающего завода. Напротив, исследуемые участки № 1; 2 и 4 санитарно-защитных зон предприятий можно отнести к категории с низким уровнем загрязнения. На территории санитарно-защитной зоны участка № 4 выявлено в поверхностных слоях почв повышенное накопление Mn.

Ключевые слова: почвы, урбанозем, антропогенное загрязнение, поллютанты, тяжелые металлы.

Для цитирования: Васильева Т. Н., Галактионова Л. В. Оценка состояния урбаноземов по содержанию поллютантов // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 12. С. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-2-11.

Дата поступления статьи: 22.04.2023, **дата рецензирования:** 27.06.2023, **дата принятия:** 10.11.2023.

Assessment of the state of urban soils based on the content of pollutants

T. N. Vasilyeva¹✉, L. V. Galaktionova^{1,2}

¹Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

²Orenburg State University, Orenburg, Russia

✉E-mail: vtn1972@mail.ru.

Abstract. The purpose of the study is to assess the ecological state of soils within urbanozems in relation to the degree of contamination with heavy metals using the example of the urban agglomeration of Orenburg. **Methods.** Sampling was carried out at 4 sites in the sanitary protection zone of industrial enterprises in Orenburg. Determination of mobile forms of heavy metals Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn in the samples was carried out by atomic

absorption spectrophotometry. In the studied areas, the pollution index or concentration coefficient was taken into account, while taking into account the reference values of heavy metals. Contamination with toxic elements of soils in the reference areas was determined using the $PI_{Nemerow}$ coefficient. The pollution index of urban areas was calculated as the arithmetic or geometric mean of $PI_{Nemerow}$ for all reference areas in the city. Statistical processing of the material was carried out using the universal program Statistica 10. **The scientific novelty** of the work lies in the fact that for the first time data were obtained characterizing the accumulation of heavy metals in the sanitary protection zones of industrial enterprises in the city of Orenburg, and they were ranked according to the pollution index. **Results.** The analysis of the data obtained made it possible to reveal an increased content of Pb, Zn in all soil layers in the reference plot No. 1. The soils of site No. 2 had an increased content of Cu, Pb, Zn in the soil horizon of 20–30 cm, Pb was also found at a depth of 0–10 cm, which is explained by the passage of a major highway near the enterprise. Soil samples at a depth of 0–10 cm of site No. 3 were contaminated by 4 parameters (Cd, Mn, Pb, Zn) and had an average degree of anthropogenic pollution, which is due to the fact that the surface soils of the sanitary protection zone of the site are located near the enterprise associated with the processing of petroleum products. On the contrary, the studied areas No. 1; 2 and 4 sanitary protection zones of enterprises can be classified as low pollution. On the territory of the sanitary protection zone of site No. 4, an increased accumulation of Mn was found in the surface layers of soils.

Keywords: soils, urbanozem, anthropogenic pollution, pollutants, heavy metals.

For citation: Vasilyeva T. N., Galaktionova L. V. Otsenka sostoyaniya urbanozemov po sodержaniyu pollyutantov [Assessment of the state of urban soils based on the content of pollutants] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. Vol. 23, No. 12. Pp. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-2-11. (In Russian.)

Date of paper submission: 22.04.2023, **date of review:** 27.06.2023, **date of acceptance:** 10.11.2023.

Постановка проблемы

Город – один из видов социальной и пространственной организации населения, возникающий и развивающийся на основе концентрации промышленных, научных, культурных, административных и других функций [1]. Известно, что в настоящее время года более 50 % населения мира проживает в городских районах. Предполагается, что к 2050 г. этот показатель увеличится и достигнет свыше 65 % [2]. Увеличение числа крупных городов, а также расширение их территории неизбежно приводит к тому, что антропогенное воздействие на окружающую среду приводит к негативным последствиям. При этом отрицательное влияние испытывают все сферы природы, в том числе и педосфера. Поэтому возникает необходимость в мониторинге и оценке процессов, протекающих в почве, в том числе и находящихся в черте города. С развитием экономики загрязнение почв тяжелыми металлами становится более сильным, что вызывает деградацию почвенных ресурсов и ухудшение состояния экосистем.

Городские почвы по основным химическим показателям отличаются от природных [3]. Почвенный покров в условиях глобальной урбанизации сохраняется прежде всего на территориях, где находятся леса (как природные, так и посаженные человеком), вблизи рек и водоемов. Также почвы можно обнаружить в районах, которые мало или не используются человеком в своей деятельности, в том числе, на окраинах поселений. Почвы в городах чаще всего оказываются загрязненными различными химическими элементами. Среди них преобладают тяжелые металлы (далее – ТМ). Почвенный

покров, который находится на территории городов, оказывается подвержен влиянию большого количества загрязнителей одновременно. Основными источниками поступления тяжелых металлов в почву являются промышленные предприятия, автотранспорт, свалки бытового мусора и т. д. При этом тяжелые металлы распределяются в почвенных слоях неравномерно и очагово [4].

Опасность поглощения почвами ТМ состоит в том, что под воздействием естественных процессов, тяжелые металлы мигрируют в нижние почвенные горизонты, попадая в подземные воды и загрязняя их. ТМ также поступают в растения, в том числе и используемые человеком в пищу, что создает угрозу и его здоровью [5]. Почва важна для изучения процессов, связанных с поступлением в нее и миграцией ТМ потому, что она выступает фильтром, способствуя закреплению металлов в почве для предотвращения их дальнейшей миграции в нижележащие горизонты, подземные воды и растительность. В этой связи крайне необходимо проводить химический анализ почвенного покрова, а также растений для оценки содержания в них металлов. Мониторинг ТМ помогает определить биогеохимические процессы, протекающие в системе «почва – зеленые растения», накопление элементов в почвенных горизонтах, отдельных частей растений, выявить структурные и функциональные особенности различных типов почв и видов растений в самоочищающей способности урбоэкосистем.

Загрязнение городских почв поллютантами является индикатором воздействия тяжелых металлов на человека [6–7].

Тяжелые металлы почв представляют особый интерес из-за их потенциальной токсичности, накопления и стойкости, а также попадания в организм человека через воздухоносные пути с пылевыми потоками [8–10].

Так, в работе [11] было показано, что верхний слой почв по периферии г. Архангельска в большей степени загрязнен ТМ. Концентрическое расположение зон разного уровня содержания ТМ, возможно, связано с двумя причинами: возрастом застройки и с подстилающими грунтами. Было показано, что загрязнение валовыми формами ТМ разных типов почв города имеет гумусово-аккумулятивный характер, то есть максимальное их количество сосредоточено на биогеохимических сорбционных барьерах в верхних слоях почвы, наиболее богатых гумусом. Далее оно снижается в зависимости от типа загрязняющего вещества, гранулометрического состава почв, их обеспеченности органическим веществом и др.

В работе [12] было показано, что по темпам накопления свинца в различных городских почвах наиболее высокие показатели были характерны для территорий вблизи крупных автомагистралей и промышленных зон, а наименьшие – в зонах рекреации и новой жилой застройки.

В исследовании [13] было показано, что пробы почв г. Астрахани наиболее загрязнены тяжелыми металлами вблизи автомагистралей, кроме того, высокие показатели содержания ТМ отмечались в местах строек, где происходило поступление большого объема строительного материала и привозного грунта, вблизи производственно-складских и других объектов технического назначения. Авторы подчеркивают, что совокупное воздействие разных источников загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами значительно ухудшает санитарно-гигиенические функции почвы, что, в свою очередь, может негативно отразиться на состоянии всей природной среды города.

Исследования [14] показали, что на фоне слабого загрязнения почвенного покрова г. Улан-Удэ выделяется ряд контрастных ($K_c = 3...68$) геохимических аномалий Cu, Zn, Cd, Sn, Ni, Sb, Pb, Cr, сформировавшихся вблизи промышленных предприятий, автодорог, в огородной зоне и в жилой зоне с печным отоплением. Локальные превышения ПДК для Pb, Zn, As, Cu, Sb составляют 2–23 раза, суммарное загрязнение достигает опасного и очень опасного уровня. Контрастность геохимических аномалий может усиливаться при изменении почвенных свойств: увеличении содержания органического вещества, физической глины, оксидов железа и марганца.

Исследователи в работе [15] считают, что добыча полезных ископаемых и промышленное про-

изводство являются основными причинами загрязнения почв в наиболее сильно загрязненных провинциях, тогда как орошение сточными водами или нерациональное применение удобрений является причиной в сельскохозяйственных районах Китая. Городское развитие в густонаселенных провинциях становится третьим основным фактором. Кроме того, транспорт и бытовые отходы являются потенциальными движущими факторами. Попадание тяжелых металлов в почву может происходить из самых разных источников, включая выветривание исходных материалов, последствия добычи полезных ископаемых, транспортные выбросы, продукты плавки, применение химических удобрений и другие виды промышленной, сельскохозяйственной и коммерческой деятельности. При этом загрязнение почвы тяжелыми металлами не только наносит ущерб качеству почвы и снижает урожайность, но и подвергает опасности воду и атмосферную среду, угрожает здоровью человека, усугубляет глобальное изменение климата и влияет на устойчивое развитие общества. Таким образом, загрязнение почвы тяжелыми металлами привлекло внимание всего мира и было включено в список приоритетов для мониторинга и контроля загрязнения [15].

Таким образом, городские геохимические данные необходимы для выявления наиболее загрязненных территорий в пределах урбосистем, а также для последующей оценки риска нанесения вреда здоровью городского населения.

Цель исследования – оценить экологическое состояние почв в пределах урбаноземов в отношении степени загрязненности тяжелыми металлами на примере городской агломерации Оренбурга.

Методология и методы исследования (Methods)

Участки были выбраны на территории Оренбурга – административного центра Оренбургского района и Оренбургской области России. Город расположен в Южном Предуралье, на реке Урал. Оренбург находится в 1475 км к юго-востоку от Москвы. Координаты: 51°46'21" с. ш., 55°05'55" в. д. Высота над уровнем моря – 107 м.

Реперные участки представлены в таблице 1.

Определение тяжелых металлов в почвенных образцах

Определение подвижных форм тяжелых металлов Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn в образцах проводили методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии (ААС) в Испытательном центре Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (аккредитован Федеральной службой по аккредитации, аттестат аккредитации RA.RU.21ПФ59 от 12.10.2015). Для количественного анализа тяжелых металлов в образцах использовали модель Thermo Scientific AASiCE 3000.

Реперный участок	Характеристика	Координаты
№ 1	Заложен на территории санитарно-защитной зоны ЗАО «Стрела» (ул. Шевченко, 22) представлен урбатехноземами предприятий машиностроения	51.7641126, 55.1062203
№ 2	Заложен на территории санитарно-защитной зоны ОАО «Гидропресс» (ул. Братьев Коростелевых, 54)	51.8036173, 55.0576084
№ 3	Расположен на территории санитарно-защитной зоны ОАО «Нефтемаслозавод» (ул. Заводская, 22)	51.8244477, 55.0859658
№ 4	Расположен на территории санитарно-защитной зоны ОАО «Завод «Инвертор» (ул. Промышленная, 14)	51.80858, 55.14753

Table 1
Characteristics of reference areas

Reference area	Characteristic	Coordinates
No. 1	Is located on the territory of the sanitary protection zone of Strela CJSC (22 Shevchenko St.) represented by urban technozems of engineering enterprises	51.7641126, 55.1062203
No. 2	Is located on the territory of the sanitary protection zone of Hidropress OJSC (54 Bratyev Korostelevykh St.)	51.8036173, 55.0576084
No. 3	Is located on the territory of the sanitary protection zone of Neftemaslozavod OJSC (22 Zavodskaya St.)	51.8244477, 55.0859658
No. 4	Is located on the territory of the sanitary protection zone of Invertor OJSC (14 Promyshlennaya St.)	51.80858, 55.14753

На исследуемых участках учитывали индекс загрязнения, или коэффициент концентрации. Для расчета таких параметров, как Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, использовали уравнение (1), при этом учитывали референсные значения тяжелых металлов.

$$C^{if} = \frac{c^i}{c_{ri}} \quad (1)$$

где c^i – концентрация металла в почвах;

c_{ri} – базовый параметр эталонных значений.

Загрязнение токсичными элементами почв на реперных участках определяли с помощью коэффициента PLI или $PI_{Nemerow}$.

PLI рассчитывали как среднее геометрическое однофакторного индекса загрязнения для каждого металла (PLI mod) [16]

PLI рассчитывается как среднее арифметическое коэффициента концентрации для каждого поллютанта.

$PI_{Nemerow}$ [16] рассчитан с использованием уравнения

$$PINemerow = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m c_f^i\right) + c_{fmax}^i}}{m} \quad (2)$$

где c_f^i – единичный индекс загрязнения конкретным металлом (использовался коэффициент концентрации);

c_{fmax}^i – максимальное значение единого индекса загрязнения для всех измеряемых металлов;

m – количество рассматриваемых металлов (восемь).

Индексы выбраны с учетом легкости подсчета, простоты формул, облегчающих их интерпретацию, и их общего использования.

Индекс загрязнения городских территорий рассчитывался как среднее арифметическое или геометрическое PLI или $PI_{Nemerow}$ для всех реперных участков в городе.

Статистическая обработка материала проводилась с помощью универсальной программы Statistica 10. В статистических процедурах уровнем значимости гипотез считали уровень, обеспечивающий вероятность ошибки менее 5 % ($p < 0,05$).

Результаты (Results)

Почвы, которые залегают на территории Оренбурга, являются типичными представителями географической зоны, в которой расположен изучаемый город. Оренбург относится к региону Южного Предуралья, где преобладают южные черноземы. В городе природные почвы находятся в парках, вдоль реки Урал, а также на окраинах города, в местах, которые не используются для какой-либо антропогенной деятельности. Для выделения ти-

пичных почв географической зоны определяющим параметром является выраженность деления почв на типичные генетические горизонты. Распространение же урбаноземов в черте города обусловлено его плотной застройкой – как жилой, так и промышленной. Все это нарушает естественные процессы в почвах, а загрязнение ТМ влияет на весь комплекс «почва – растения».

Таким образом, изучение геохимических процессов урбаноземов необходимо для предотвращения рисков, связанных со здоровьем человека.

В таблице 2 представлены данные урбаноземов на территории санитарно-защитных зон.

Усредненные данные коэффициента концентрации (Кс) по годам показали, что токсичный элемент техногенного происхождения Pb обнаруживают во всех исследуемых слоях почв участка № 1, в поверхностных слоях почв (0–10 см) на участках № 1, № 3. Параметр Кс поллютанта Zn показал накопление элемента в слоях 0–10 см, 30–40 см на реперном участке № 1, № 2, в тот время как на участке № 3 – только на глубине 0–10 см. Поллютант Mn встречался только на глубине 0–10 см на участках № 3, № 4.

На реперном участке № 1 отмечали повышенное содержание Pb, Zn всех слоев почв.

Повышенное содержание Cu фиксировали на всех исследуемых глубинах на участке № 2. Загрязнение Cd поверхностных слоев почв отмечали

на участке № 3. Таким образом, почвы на глубине 0–10 см участка № 3 загрязнены по 4 параметрам (Cd, Mn, Pb, Zn). Почвы участка № 2 повышенное содержание поллютантов имеют по 3 параметрам (Cu, Pb, Zn), из них Pb обнаружили только на глубине 0–10 см, это объясняется прохождением рядом с местом отбора проб крупной автомагистрали.

На территории санитарно-защитной зоны участка № 4 выявили в поверхностных слоях почв повышенное накопление Mn.

Анализ геохимического состава подвижных форм тяжелых металлов выявил биодоступность параметров почв санитарно-защитных зон при воздействии предприятий, крупных автомагистралей, в основном оказывающих негативное влияние на экологическую составную почв санитарно-защитных зон и, соответственно, селитебную зону.

Для оценки антропогенного загрязнения почв санитарно-защитных зон исследуемых предприятий использовали Кс металлов. $PI_{Nemerow}$ показывает степень загрязнения (экологическую чистоту) изучаемого участка почв [17].

Для определения степени загрязнения участков использовали следующую шкалу параметра $PI_{Nemerow}$ [11] (таблица 3):

$PLI \leq 1$ – низкий уровень загрязнения;

$1 < PLI \leq 2$ – средний уровень загрязнения;

$2 < PLI \leq 5$ – высокий уровень загрязнения;

$PLI > 5$ – чрезвычайно высокий уровень загрязнения.

Таблица 2

Усредненные данные Кс-подвижных форм тяжелых металлов на реперных участках

Участок	Глубина h, см	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
1	0–10	0,2	0,11	0,04	0,75	0,49	0,47	1,26*	1,96*
	30–40	0,12	0,16	0,02	0,62	0,79	0,54	2,58*	2,23*
2	0–10	0,13	0,19	0,20	2,09*	0,95	0,66	1,08*	2,75*
	30–40	0	0,16	0,02	2,7*	0,84	0,51	0,91	2,23*
3	0–10	12,13*	0,15	0,02	0,54	1,01	0,65	1,68	6,17*
	30–40	0,29	0,02	0,13	0,41	0,59	0,37	0,63	0,94
4	0–10	0,68	0,04	0,12	0,51	1,11*	0,29	0,93	0,95
	30–40	0,68	0,015	0,17	0,6	0,86	0,32	0,13	0,64

* Значения, указывающие на повышенное накопление металлов в почвах.

Table 2

Averaged Kc data for mobile forms of heavy metals in reference areas

Area	Depth h, cm	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
1	0–10	0,2	0,11	0,04	0,75	0,49	0,47	1,26*	1,96*
	30–40	0,12	0,16	0,02	0,62	0,79	0,54	2,58*	2,23*
2	0–10	0,13	0,19	0,20	2,09*	0,95	0,66	1,08*	2,75*
	30–40	0	0,16	0,02	2,7*	0,84	0,51	0,91	2,23*
3	0–10	12,13*	0,15	0,02	0,54	1,01	0,65	1,68	6,17*
	30–40	0,29	0,02	0,13	0,41	0,59	0,37	0,63	0,94
4	0–10	0,68	0,04	0,12	0,51	1,11*	0,29	0,93	0,95
	30–40	0,68	0,015	0,17	0,6	0,86	0,32	0,13	0,64

* Values indicating an increased accumulation of metals in soils.

Среднее арифметическое PLI или $PI_{Nemerow}$ для всех реперных участков в городе

Участок	Глубина h , см	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
1	0–10	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,27
	30–40	0,32	0,28	0,32	0,33	0,33	0,33	0,36	0,31
2	0–10	0,34	0,34	0,34	0,37	0,35	0,35	0,36	0,38
	30–40	0	0,34	0,33	0,38	0,35	0,34	0,34	0,37
3	0–10	1,7	1,51	1,51	1,58	1,53	1,52	1,54	1,61
	30–40	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13
4	0–10	0,14	0,13	0,13	0,14	0,15	0,14	0,15	0,27
	30–40	0,11	0,10	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11

Table 3

Arithmetic or geometric mean of PLI or $PI_{Nemerow}$ for all benchmarks in the city

Area	Depth h , cm	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
1	0–10	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.26	0.27
	30–40	0.32	0.28	0.32	0.33	0.33	0.33	0.36	0.31
2	0–10	0.34	0.34	0.34	0.37	0.35	0.35	0.36	0.38
	30–40	0	0.34	0.33	0.38	0.35	0.34	0.34	0.37
3	0–10	1.7	1.51	1.51	1.58	1.53	1.52	1.54	1.61
	30–40	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13
4	0–10	0.14	0.13	0.13	0.14	0.15	0.14	0.15	0.27
	30–40	0.11	0.10	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11

Анализ таблицы 3 показал, что параметр $PI_{Nemerow}$ для всех реперных участков в городе имеет разное значение. Наиболее загрязненный реперный участок № 3 обнаружил значение $PI_{Nemerow} = 1,7$ для Cd на глубине 0–10 см, что позволяет установить для данной зоны средний уровень загрязнения. Поверхностные почвы санитарно-защитной зоны участка № 3, связанного с переработкой нефтяных продуктов, имеет средний уровень антропогенного загрязнения. Напротив, исследуемые участки санитарно-защитных зон предприятий № 1; 2 и 4 можно отнести к категории с низким уровнем загрязнения.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

ТМ при попадании на поверхность почвы могут проникать в нижележащие горизонты, достигая подземных вод; попадать в растения, а по пищевой цепочке – в организм сельскохозяйственных животных и растений. Оценка содержания ТМ в почвах является крайне важным механизмом обеспечения знаний о биогеохимических процессах, протекающих в них, установлении путей поступления и миграции химических элементов. На основании полученных данных становится возможным создание мероприятий по предотвращению загрязнений почв ТМ, а также устранению последствий данного загрязнения [18; 19].

Согласно изученным научным данным, схожая ситуация с накоплением в почвах городов и поселений тяжелых металлов наблюдается во многих городах как России, так и за рубежом [20–22]. Во многом данная ситуация связана с тем, что водоемы,

почвенный и растительный покров в местах, где не соблюдаются расстояния, нормируемые для санитарно-защитных зон, оказываются под влиянием выбросов ТМ. Источниками являются предприятия добывающей и перерабатывающей промышленности, тяжелой промышленности, места складирования отходов и др. В почву химические элементы попадают из атмосферы вместе с осадками, в стоках, при таянии снегов и др. В итоге наибольшую часть выпадений аккумулирует в себе почвенный слой, причем накопление идет многолетнее [23].

Особенностью почвы является то, что в данной среде происходит накопление поллютантов, чья судьба потом может быть различной: они могут мигрировать в нижележащие горизонты, достигая грунтовых вод; возможно их накопление в насаждениях, произрастающих на данной почве.

В целом процессы урбанизации и возрастающей плотности городской застройки наряду с сокращением санитарно-защитных зон и близостью промышленных предприятий к жилой застройке способствуют тому, что почвы испытывают негативные трансформации. Наиболее частыми элементами, которые встречаются в урбаноземах, являются свинец, цинк, хром, ртуть и др. Несмотря на то что данные элементы обнаруживаются и в природных почвах, их содержание в городских почвах превышает допустимые нормативы в несколько раз. Тяжелые металлы биохимически активны и высокотоксичны. Для данных веществ характерна способность накапливаться в организме живых существ и ока-

зывать на них негативное воздействие. Концентрация тяжелых металлов в почве урбанизированной территории несет значительную опасность для городского населения. Процесс загрязнения почвенного покрова города тяжелыми металлами связан с большим количеством техногенных источников, к которым относятся объекты энергетики и промышленности, систем обеспечения инфраструктуры города, зоны строительной деятельности и хранения материалов или отходов.

В нашей работе анализ полученных данных позволил выявить повышенное содержание на реперном участке № 1 Pb, Zn во всех слоях почвы. Почвы участка № 2 имели повышенное содержание Cu, Pb, Zn в горизонте почвы 20–30 см, Pb был также обнаружен на глубине 0–10 см, что объясняется прохождением у предприятия крупной автомагистрали. Почвенные образцы на глубине 0–10 см участка № 3 были загрязнены по 4 параметрам (Cd, Mn, Pb, Zn) и имели среднюю степень антропогенного загрязнения, что связано с тем, что поверхностные почвы санитарно-защитной зоны участка находятся вблизи предприятия, связанного с переработкой нефтяных продуктов. Напротив, исследуемые участки № 1, 2 и 4 санитарно-защитных зон предприятий можно отнести к категории с низким уровнем загрязнения. На территории санитарно-защитной зоны участка № 4 выявлено в поверхностных слоях почв повышенное накопление Mn.

Накопление в городском почвенном покрове тяжелых металлов нередко приводит к нарушению экосистемных функций почв, угнетению растительности, не осознаваемому для человека негативному влиянию на его здоровье и впоследствии на будущее поколение. Поэтому на урбанизированных территориях очень важно выявлять источники загрязнения, постоянно контролировать содержание химических элементов в почвах, проводить их сравнение с фоновыми концентрациями и нормативными величинами. Повышенное внимание к этой проблеме связано еще с тем, что быстрое самоочищение почв в

условиях высокой антропогенной нагрузки крайне затруднено, а в ряде случаев невозможно.

С начала XX века загрязнение почвы тяжелыми металлами стало неразрешимой экологической проблемой, которая не только влияет на обмен веществ и преобразование энергии, но и вызывает деградацию и истощение почвенных ресурсов, что, в свою очередь, приводит к ухудшению состояния экосистем. Таким образом, вопросы рационального использования почвенных ресурсов и охраны почвенной среды волнуют экологов во всем мире.

Таким образом, обследование городских земель в системе мониторинговых наблюдений необходимо для своевременного выявления, оценки и прогноза изменений состояния почвенного покрова под влиянием антропогенных воздействий и выработки рекомендаций по предупреждению и устранению последствий негативных процессов и для обеспечения информационной деятельности по ведению государственного земельного кадастра, осуществлению государственного земельного контроля за использованием и охраной земель.

Кроме того, полученные результаты исследований необходимы для оценки антропогенной деятельности и оценки геохимических почвенных изменений.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследование подготовлено в соответствии с государственным заданием, выданным Минобрнауки РФ, на выполнение НИР для ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» № 075-03-2023-219 от 16.01.2023 «Разработка и эколого-экономическое обоснование технологии рекультивации нарушенных горно-металлургическим комплексом земель на основе мелиорантов и удобрений нового типа» и выполнено совместно с сотрудниками Центра коллективного пользования (ЦКП) с использованием фондов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФНЦ БСТ РАН (№. Росс RU.0001.21 ПФ59, Единый российский реестр центров коллективного пользования <http://www.ckp-rf.ru/ckp/77384>).

Библиографический список

1. Шубенков М. В., Шубенкова М. Ю. Современная урбанизация: перспективы развития // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. № 2. С. 3–13. DOI: 10.21869/2311-1518-2021-34-2-3-13.
2. Заборова Е. Н. Будущее городов в информационно-цифровую эпоху // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2020. № 2. С. 124–133. DOI: 10.15593/2224-9354/2020.2.10.
3. Напрасникова Е. В. Санитарно-микробиологические и биохимические свойства почв индустриального города Усолье-Сибирское // Сибирский медицинский журнал. 2019. Т. 159. № 4. С. 55–57. DOI: 10.34673/ismu.2019.26.27.012.
4. Радомская В. И., Бородина Н. А. Оценка антропогенного загрязнения почвы урбанизированной территории на примере города Благовещенска // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. № 6. С. 79–93. DOI: 10.31857/S0869-78092019679-93.

5. Петухов А. С., Кремлева Г. А., Петухова Г. А., Хритохин Н. А. Аккумуляция и миграция тяжелых металлов в почвах и растениях в условиях антропогенного загрязнения городской среды // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2022. № 3. С. 53–66. DOI: 10.17076/eco1342.
6. Стоцкая Д. Р., Фазылов И. З., Стоцкий К. С. Загрязнение почвы тяжелыми металлами и их влияние на здоровье человека // Наука через призму времени. 2019. № 7 (28). С. 29–31.
7. Евстропов В. М. Эколого-модифицирующее влияние загрязнения почвы тяжелыми металлами на контактное взаимодействие лейкоцитов человека // Живые и биокосные системы. 2019. № 27. DOI: 10.18522/2308-9709-2019-27-6.
8. Сивухин А. Н., Марков Д. С., Борисова Е. А. Влияние загрязнения почв тяжелыми металлами на здоровье населения Ивановской и Костромской областей // Проблемы региональной экологии. 2019. № 3. С. 81–86. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-13081.
9. Габараева З. Г., Макиева Д. Ч. Действие тяжелых металлов на организм человека // Образование и право. 2020. № 11. С. 302–304. DOI 10.24411/2076-1503-2020-11146.
10. Байботаева А. Д., Кенжалиева Г. Д., Босак В. Н. Тяжелые металлы в почвах урбанизированных территорий // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 4. С. 126–130.
11. Корельская Т. А., Попова Л. Ф. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска // Арктика и север. 2012. № 7. С. 136–152.
12. Никифорова Е. М. Динамика загрязнения городских почв свинцом (на примере Восточного округа Москвы) // Почвоведение. 2007. № 8. С. 984–997.
13. Синцов А. В., Бармин А. Н., Зимовец П. А., Валов М. В. Геоэкологическая оценка современного содержания свинца в почвенном покрове урбанизированных территорий Нижнего Поволжья // Геология, география и глобальная энергия. 2021. № 2 (81). С. 137–144. doi: 10.21672/2077-6322-2021-81-2-137-144.
14. Корляков И. Д., Касимов Н. С., Кошелева Н. Е. Тяжелые металлы и металлоиды в почвенном покрове города Улан-Удэ // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2019. № 3. С. 120–137. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.03.09.
15. Wu Y., Li X., Yu L., Wang T., Wang J., Liu T. Review of soil heavy metal pollution in China: Spatial distribution, primary sources, and remediation alternatives // Resources, Conservation and Recycling. 2022. Vol. 181. Article number 106261. DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106261.
16. Karim Z., Qureshi B. A., Mumtaz M. Geochemical baseline determination and pollution assessment of heavy metals in urban soils of Karachi, Pakistan // Ecological Indicators. 2015. Vol. 48. Pp. 358–364. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.08.032.
17. Bradham K. D., Laird B. D., Rasmussen P. E., Schoof R. A., Serda S. M., Siciliano S. D., Hughes M. F. Assessing the bioavailability and risk from metal-contaminated soils and dusts // Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2014. Vol. 20. No. 1. Pp. 272–286. DOI: 10.1080/10807039.2013.802633.
18. Карбасникова Е. Б., Залывская О. С., Чухина О. В. Содержание тяжелых металлов в почве и древесной растительности в условиях городской агломерации // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 5 (371). С. 216–223. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.216.
19. Ластков Д. О., Дубовая А. В., Ежелева М. И., Остренко В. В. Оценка биомаркеров как показателей влияния тяжелых металлов на здоровье взрослого населения // Университетская клиника. 2022. Т. 44. № 3. С. 5–13.
20. Tong S., Li H., Wang L., Tudi M., Yang L. Concentration, spatial distribution, contamination degree and human health risk assessment of heavy metals in urban soils across China between 2003 and 2019 – a systematic review // International journal of environmental research and public health. 2020. Vol. 17. No. 9. Article number 3099. DOI: 10.3390/ijerph17093099.
21. Adimalla N. Heavy metals pollution assessment and its associated human health risk evaluation of urban soils from Indian cities: a review // Environmental geochemistry and health. 2020. Vol. 42. No. 1. Pp. 173–190. DOI: 10.1007/s10661-019-7408-1.
22. Арестова И. Ю., Опекунова М. Г., Елсукова Е. Ю., Кукушкин С. Ю. Изменения содержания тяжелых металлов в почвах Костомукшского региона под влиянием техногенеза // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 1-1 (91). С. 48–52. DOI: 10.23670/IRJ.2020.91.1.010.
23. Дьякова Н. А., Гапонов С. П., Сливкин А. И. Изучение накопления тяжелых металлов и мышьяка и оценка влияния поллютантов на содержание флавоноидов у *polygonumaviculare* (Caryophyllales, Polygonaceae) // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2019. № 48. С. 71–77. DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-71-77.

Об авторах:

Татьяна Николаевна Васильева¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь, ORCID 0000-0002-5469-3952, AuthorID 729015; +7 961 923-70-68, vtn1972@mail.ru

Людмила Вячеславовна Галактионова^{1, 2}, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией агроэкологии и почвоведения¹, доцент кафедры биологии и почвоведения², ORCID 0000-0003-0781-3752, AuthorID 172210; +7 906 846-27-55, anilova.osu@mail.ru

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

² Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

References

1. Shubenkov M. V., Shubenkova M. Yu. *Sovremennaya urbanizatsiya: perspektivy razvitiya* [Modern urbanization: development prospects] // *Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2021. No. 2. Pp. 3–13. DOI: 10.21869/2311-1518-2021-34-2-3-13. (In Russian.)
2. Zaborova E. N. *Budushcheye gorodov v informatsionno-tsifrovuyu epokhu* [The future of cities in the information and digital age] // *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Socio-economic sciences*. 2020. No. 2. Pp. 124–133. DOI: 10.15593/2224-9354/2020.2.10. (In Russian.)
3. Naprasnikova E. V. *Sanitarno-mikrobiologicheskiye i biokhicheskiye svoystva pochv industrial'nogo goroda Usol'ye-Sibirskoye* [Sanitary-microbiological and biochemical properties of soils in the industrial city of Usolye-Sibirskoye] // *Siberian Medical Journal*. 2019. Vol. 159. No. 4. Pp. 55–57. DOI: 10.34673/ismu.2019.26.27.012. (In Russian.)
4. Radomskaya V. I., Borodina N. A. *Otsenka antropogennoy zagryazneniya pochvy urbanizirovannoy territorii na primere goroda Blagoveshchenska* [Assessment of anthropogenic soil pollution in an urbanized area on the example of the city of Blagoveshchensk] // *Geocology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology*. 2019. No. 6. Pp. 79–93. DOI: 10.31857/S0869-78092019679-93. (In Russian.)
5. Petukhov A. S., Kremleva G. A., Petukhova G. A., Khritokhin N. A. *Akkumulyatsiya i migratsiya tyazhelykh metallov v pochvakh i rasteniyakh v usloviyakh antropogennoy zagryazneniya gorodskoy sredy* [Accumulation and migration of heavy metals in soils and plants under conditions of anthropogenic pollution of the urban environment] // *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2022. No. 3. Pp. 53–66. DOI: 10.17076/eco1342. (In Russian.)
6. Stotskaya D. R., Fazylov I. Z., Stotskiy K. S. *Zagryazneniye pochvy tyazhelymi metallami i ikh vliyaniye na zdorov'ye cheloveka* [Soil contamination with heavy metals and their impact on human health] // *Science through the prism of time*. 2019. No. 7 (28). Pp. 29–31. (In Russian.)
7. Evstropov V. M. *Ekologo-modifitsiruyushcheye vliyaniye zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami na kontaktnoye vzaimodeystviye leykotsitov cheloveka* [Ecological-modifying effect of soil pollution with heavy metals on the contact interaction of human leukocytes] // *Living and bioinert systems*. 2019. No. 27. DOI: 10.18522/2308-9709-2019-27-6. (In Russian.)
8. Sivukhin A. N., Markov D. S., Borisova E. A. *Vliyanie zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami na zdorov'ye naseleniya Ivanovskoy i Kostromskoy oblasti* [Impact of soil pollution with heavy metals on the health of the population of the Ivanovo and Kostroma regions] // *Problems of regional ecology*. 2019. No. 3. Pp. 81–86. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-13081. (In Russian.)
9. Gabaraeva Z. G., Makieva D. Ch. *Deystvie tyazhelykh metallov na organizm cheloveka* [The effect of heavy metals on the human body] // *Education and Law*. 2020. No. 11. Pp. 302–304. DOI: 10.24411/2076-1503-2020-11146. (In Russian.)
10. Baybotaeva A. D., Kenzhalieva G. D., Bosak V. N. *Tyazhelye metally v pochvakh urbanizirovannykh territoriy* [Heavy metals in soils of urban areas] // *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2019. No. 4. Pp. 126–130. (In Russian.)
11. Korel'skaya T. A., Popova L. F. *Tyazhelye metally v pochvenno-rastitel'nom pokrove selitebnogo landshafta goroda Arkhangel'ska* [Heavy metals in the soil and vegetation cover of the residential landscape of the city of Arkhangelsk] // *Arctic and North*. 2012. No. 7. Pp. 136–152. (In Russian.)
12. Nikiforova E. M. *Dinamika zagryazneniya gorodskikh pochv svintsom (na primere Vostochnogo okruga Moskvy)* [Dynamics of pollution of urban soils with lead (on the example of the Eastern District of Moscow)] // *Soil Science*. 2007. No. 8. Pp. 984–997. (In Russian.)
13. Sintsov A. V., Barmin A. N., Zimovets P. A., Valov M. V. *Geoekologicheskaya otsenka sovremennogo soderzhaniya svintsa v pochvennom pokrove urbanizirovannykh territoriy Nizhnego Povolzh'ya* [Geoecological assessment of the current content of lead in the soil cover of urbanized areas of the Lower Volga region] // *Geology*,

geography and global energy. 2021. No. 2 (81). Pp. 137–144. DOI: 10.21672/2077-6322-2021-81-2-137-144. (In Russian.)

14. Korlyakov I. D., Kasimov N. S., Kosheleva N. E. Tyazhelye metally i metalloidy v pochvennom pokrove goroda Ulan-Ude [Heavy metals and metalloids in the soil cover of the city of Ulan-Ude] // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanism. 2019. No. 3. Pp. 120–137. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.03.09. (In Russian.)

15. Wu Y., Li X., Yu L., Wang T., Wang J., Liu T. Review of soil heavy metal pollution in China: Spatial distribution, primary sources, and remediation alternatives // Resources, Conservation and Recycling. 2022. Vol. 181. Article number 106261. DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106261.

16. Karim Z., Qureshi B. A., Mumtaz M. Geochemical baseline determination and pollution assessment of heavy metals in urban soils of Karachi, Pakistan // Ecological Indicators. 2015. Vol. 48. Pp. 358–364. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.08.032.

17. Bradham K. D., Laird B. D., Rasmussen P. E., Schoof R. A., Serda S. M., Siciliano S. D., Hughes M. F. Assessing the bioavailability and risk from metal-contaminated soils and dusts // Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2014. Vol. 20. No. 1. Pp. 272–286. DOI: 10.1080/10807039.2013.802633.

18. Karbasnikova E. B., Zalyvskaya O. S., Chukhina O. V. Soderzhaniye tyazhelykh metallov v pochve i drevesnoy rastitel'nosti v usloviyakh gorodskoy aglomeratsii [The content of heavy metals in soil and woody vegetation in urban agglomeration] // News of higher educational institutions. Forest magazine. 2019. No. 5 (371). Pp. 216–223. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.216. (In Russian.)

19. Lastkov D. O., Dubovaya A. V., Ezheleva M. I., Ostrenko V. V. Tyazhelyye metally kak zagryazniteli okruzhayushchey sredy: otsenka riska zdorov'yu naseleniya [Heavy metals as environmental pollutants: public health risk assessment] // University Clinic. 2022. Vol. 44. No. 3. Pp. 5–13. (In Russian.)

20. Tong S., Li H., Wang L., Tudi M., Yang L. Concentration, spatial distribution, contamination degree and human health risk assessment of heavy metals in urban soils across China between 2003 and 2019 – a systematic review // International journal of environmental research and public health. 2020. Vol. 17. No. 9. Article number 3099. DOI: 10.3390/ijerph17093099.

21. Adimalla N. Heavy metals pollution assessment and its associated human health risk evaluation of urban soils from Indian cities: a review // Environmental geochemistry and health. 2020. Vol. 42. No. 1. Pp. 173–190. DOI: 10.1007/s10661-019-7408-1.

22. Arestova I. Yu., Opekunova M. G., Elsukova E. Yu., Kukushkin S. Yu. Izmeneniya sodержaniya tyazhelykh metallov v pochvakh Kostomukshskogo regiona pod vliyaniyem tekhnogeneza [Changes in the content of heavy metals in the soils of the Kostomuksha region under the influence of technogenesis // International Scientific Research Journal] // International Scientific Research Journal. 2020. No. 1-1 (91). Pp. 48–52. DOI: 10.23670/IRJ.2020.91.1.010. (In Russian.)

23. Dyakova N. A., Gaponov S. P., Slivkin A. I. Izucheniye nakopleniya tyazhelykh metallov i mysh'yaka i otsenka vliyaniya pollyutantov na sodержaniye flavonoidov u polygonumaviculare (Caryophyllales, Polygonaceae) [Study of the accumulation of heavy metals and arsenic and evaluation of the effect of pollutants on the content of flavonoids in polygonumaviculare (Caryophyllales, Polygonaceae)] // Bulletin of the Kamchatka State Technical University. 2019. No. 48. Pp. 71–77. DOI: 10.17217/2079-0333-2019-48-71-77. (In Russian.)

Authors' information:

Tatyana N. Vasilyeva¹, candidate of biological sciences, senior researcher, scientific secretary, ORCID 0000-0002-5469-3952, AuthorID 729015; +7 961 923-70-68, vtn1972@mail.ru

Lyudmila V. Galaktionova^{1,2}, candidate of biological sciences, leading researcher, head of the laboratory of agroecology and soil science¹, associate professor of the department of biology and soil science², ORCID 0000-0003-0781-3752, AuthorID 172210; +7 906 846-27-55, anilova.osu@mail.ru

¹ Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

² Orenburg State University, Orenburg, Russia