

УДК 631.4;504.064

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-4-129-143

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ ЛЕСОПАРКОВЫХ ЛАНДШАФТОВ ВОРОНЕЖА (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА)

Назаренко Н. Н.¹, Астанин С. С.², Свистова И. Д.²

¹*ФГОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. Петра I», Воронеж,
Российская Федерация*

²*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет», Воронеж,
Российская Федерация
E-mail: talalajko@mail.ru*

Изучено эколого-геохимическое состояние почв рекреаций Центрального района г. Воронежа. Содержание как валовых, так подвижных форм тяжелых металлов (ТМ) во всех образцах почв не превышало нормативов ОДК (ПДК). Для почв парков и скверов (даже со статусом ООПТ), расположенных в непосредственной близости от автодорог и по мере приближения к центру города обнаружено полиметаллическое загрязнение. Показатели накопления ТМ в почве рекреационных территорий Воронежа убывают в ряду: $Cd > Pb > Zn \geq Cu > Ni > Mn$. Согласно санитарно-гигиеническим нормативам, урбопочвы под зелеными насаждениями относятся к категориям от допустимого до умеренно-опасного уровня загрязнения. В качестве местного урбанизированного фона для мониторинговых исследований рекомендуем использовать естественные ненарушенные серые лесостепные почвы Воронежской нагорной дубравы и крупных городских лесопарков (ботанический сад Воронежского университета; НИИ лесной генетики и селекции). В настоящее время почвы этих рекреаций не представляют опасности и относятся к чистой категории загрязнения.

Ключевые слова: рекреации, городские почвы, тяжелые металлы, суммарный показатель загрязнения.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время важное место среди экологических проблем города занимает усиливающееся загрязнение почвенного покрова. Приоритетными загрязнителями повсеместно являются тяжелые металлы (ТМ). Активно функционирующими в условиях города считаются почвы лесопарковых ландшафтов, в частности, городских парков, скверов, ботанических садов. Они выполняют широкий спектр экосистемных и санитарно-гигиенических функций: обеспечивают устойчивое существование фитоценозов и поддержание биоразнообразия; являются механическим барьером с большой емкостью накопления загрязняющих веществ; оказывают определяющее воздействие на состояние окружающей среды и здоровье горожан [1–3]. Поэтому исследование рекреационных зон на предмет их экологического состояния является актуальной задачей [4, 5].

В России эколого-геохимический мониторинг проводится преимущественно в городских почвах с высоким уровнем загрязнения: вблизи промышленных предприятий, вдоль автодорог и заправочных станций, в местах захоронения

отходов, жилых зонах [6–9]. Считается, что почвы рекреаций не подвергаются интенсивному антропогенному воздействию, априори считаются благополучными и имеют невысокий уровень загрязнения. Поэтому городские рекреации, как правило, исследователи часто используют в качестве контроля при проведении экологического мониторинга в урбоэкосистемах. Вместе с тем почвы небольших по площади городских парков и скверов в центре города и крупные пригородные лесопарки испытывают разную техногенную нагрузку. В последнее время многочисленные исследования демонстрируют как различные преобразования физико-химических свойств, так и загрязнение ТМ почв крупных рекреационных зон разных городов России [10–14].

Воронеж – промышленный центр Центрального Черноземья с развитой инфраструктурой и экологическими проблемами, которые затрагивают все экосистемы. В качестве главного источника загрязнения выступает автотранспорт и широкий спектр как действующих, так и прекративших производство промышленных предприятий. ТМ являются удобным индикатором загрязнения депонирующих сред, их токсичный эффект и содержание в жилых, промышленных и транспортных зонах города довольно хорошо изучено в разные годы [15–17]. В городе действует постоянная сеть мониторинга состояния компонентов окружающей среды природоохранными структурами. Однако, комплексных исследований с целью геохимической оценки состояния почвы рекреационных зон г. Воронежа ранее не проводилось, хотя они являются основными источниками вторичного загрязнения воздуха пылью, содержащей токсичные вещества, поступающие при вдыхании в организм человека.

Кроме того, существует актуальная задача определения местного урбанизированного фона, который можно было бы использовать для мониторинговых исследований, так как городским почвам в естественных условиях аналогов нет. Фоновые показатели имеют большое значение для региональных и локальных работ, когда должна учитываться специфика местных почв. Это позволит установить «точки отсчёта» возможного загрязнения и вовремя предложить мероприятия по ремедиации почв.

Специалисты в области почвенной экологии городов [11, 18] рекомендуют для эффективной оценки и разработки мероприятий по улучшению состояния почв использовать комплексный подход, сочетающий как биологические, так и физико-химические методы. В рамках комплексного исследования рекреаций Воронежа нами проведён первый этап по анализу растительности и биомониторингу, полученные результаты представлены в работах [19–21]. Следующим этапом и целью данного исследования является эколого-геохимическая оценка состояния почвенного покрова рекреационных зон Центрального района г. Воронежа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были выбраны почвы рекреационных территорий Центрального района города Воронежа разной площади: скверы, парки, лесопарки, ботанические сады. С экологической точки зрения район представляет интерес ввиду более слабой антропогенной нагрузки в сравнении с промышленными

Левобережным и Коминтерновским районами города. Превалирующее значение здесь имеет автотранспортный прессинг, резкое увеличение парка автомобилей усиливает нагрузку на почвы и зелёные насаждения, и территорию города в целом.

Почвы рекреационных ландшафтов отличаются по своему генезису, строению, степени антропогенной и рекреационной нагрузки, природоохранному статусу, уровню гемеробии (ухода). Схема расположения точек отбора почвенных проб представлена на рисунке 1. Образцы почвы отбирали в июле 2024 года из слоя 0–10 см методом конверта в проекции кроны основных древесных ценозообразователей. Названия естественных и урбанизированных почв даны согласно почвенной карте Воронежа [15] и классификации городских почв [3]. Почвенный покров городских рекреаций неоднороден: от естественных, характерных для лесостепной зоны, до антропогенных с различной степенью трансформированности.

В качестве контроля (регионального фона) были изучены светло-серые лесные легкосуглинистые почвы заповедной территории, расположенной в 40 км севернее от города.



Рис. 1. Карта-схема размещения точек отбора почвенных проб на территории Центрального района г. Воронежа

В черте города наиболее озеленёнными территориями являются северные окраины, где преобладают природные лесные массивы нагорной дубравы. Здесь были заложены две пробные площадки (т. 1–2), удалённые от автомагистралей и иных локальных источников загрязнения. Дубравные почвы серые лесные легко- и среднесуглинистого состава.

Рекреационный комплекс научных и учебных учреждений включает крупные парковые объекты, испытывающие умеренную транспортную и рекреационную нагрузку, некоторые из них закрыты для массового посещения. Кроме естественных почв (серых лесных и чернозёмов), встречающихся на территории лесных ландшафтов (т. 3–4), имеются естественно-антропогенные поверхностно-преобразованные урбопочвы дендропарков (т. 5–7). Мероприятия по благоустройству сведены к минимуму, рекультивация почв не предусмотрена.

Рекреации в центральной исторической и деловой части города представлены небольшими по площади скверами, новыми и старыми парками (т. 8–13). Они испытывают повышенную антропогенную и рекреационную нагрузку, территориально расположены в непосредственной близости к транспортной зоне и окружены плотной застройкой. Наиболее широко распространены антропогенные глубоко-преобразованные почвы (урбанозёмы, культурозёмы) и искусственно созданные почвоподобные образования (реплантозёмы). Городские службы по благоустройству обеспечивают регулярный уход.

В почвенных образцах определяли валовое содержание тяжёлых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Mn) методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (РД 52.18.191-2018) в лаборатории Воронежского филиала ФГБУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Центральному федеральному округу». Подвижную форму ТМ извлекали ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8 (РД 52.18.289-90). Кроме того, в ходе исследования определяли почвенные характеристики, влияющие на подвижность ТМ: актуальную кислотность (pH) потенциометрическим методом в водной суспензии по ГОСТ 17.5.4.01-84, обменную и гидролитическую кислотность – по ГОСТ 26489-85, содержание органического углерода – мокрым окислением по методу Тюрина.

Оценка состояния почв проводилась на основе сопоставления фактического содержания химических элементов с их предельно- и ориентировочно допустимыми концентрациями (ПДК и ОДК) [22]. Дополнительно рассчитывали геохимические коэффициенты и суммарный показатель загрязнения (СПЗ).

Коэффициент опасности (K_o) – кратность превышения ПДК (ОДК) отдельных элементов, рассчитанный по формуле:

$$K_o = C_i / \text{ПДК(ОДК)} \quad (1)$$

где C_i – содержание вещества в почвенном образце; ПДК (ОДК) элемента.

Коэффициент концентрации (K_c) элемента и СПЗ (Z_c) для кислоторастворимых форм металла по формулам:

$$K_c = C_i / C_{fi}, \quad (2)$$

где C_i – содержание кислоторастворимой формы металла в почве исследуемой рекреации, C_{fi} – содержание металла в почве контроля.

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1), \quad (3)$$

где n — число накапливающихся металлов с $K_c > 1$.

Установленные градации Z_c соответствуют различным категориям (уровням) загрязнения почв/экологической опасности: низкий/допустимый ($Z_c < 16$); средний/умеренно опасный ($16 < Z_c < 32$); высокий/опасный ($32 < Z_c < 64$), очень высокий/очень опасный ($64 < Z_c < 128$) [22].

Статистическую обработку полученных результатов исследования осуществляли с помощью «StatTech» (Россия). Различия признавались статистически значимыми на уровне $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные диагностические показатели химического состояния почв городских рекреаций

Антропогенная трансформация свойств городских почв происходит по сравнению с природными аналогами, что следует из анализа таблицы 1. Естественные нативные почвы, сохранившиеся в крупных пригородных лесопарках и рекреациях при научных учреждениях, по своим свойствам мало отличаются от зональных почв. Для них характерна слабокислая и нейтральная реакция среды ($pH_{\text{водн.}}$ колеблется от 6,42 до 7,00; $pH_{\text{сол.}}$ от 5,72 до 6,02), содержание естественного органического вещества в среднем в пределах 2,3–3 %, что указывает на природные факторы почвообразования, характерные для данной почвенно-климатической зоны.

Таблица 1
Некоторые химические свойства почв различных рекреаций Воронежа

Рекреации	$pH_{\text{водн.}}$	$pH_{\text{сол.}}$	Hг, мг-экв/100г	$C_{\text{орг.}}$ %
Региональный фон	<u>5,90–6,52*</u> 6,20	<u>4,60–5,91</u> 5,50	<u>2,80–4,00</u> 3,33	<u>2,75–3,00</u> 2,84
Пригородные лесопарки	<u>6,50–6,63</u> 6,42	<u>4,94–5,96</u> 5,72	<u>1,63–3,48</u> 2,85	<u>2,95–3,45</u> 3,02
Лесопарки и сады научных учреждений	<u>6,62–7,10</u> 7,00	<u>5,80–6,40</u> 6,02	<u>1,37–2,81</u> 2,60	<u>2,50–3,00</u> 2,62
Скверы и парки в центре города	<u>7,35–7,73</u> 7,60	<u>6,20–6,75</u> 6,50	<u>0,10–1,00</u> 0,62	<u>1,50–5,85</u> 4,52

Примечание: * – в числителе указаны min-max значения, а в знаменателе – средние; жирным шрифтом выделены статистически значимые различия с региональным фоном ($p < 0,05$).

Наибольшей трансформации подвергались щелочно-кислотные условия урбопочв рекреаций центральной части города по сравнению с контролем (pH возрастал как актуальной, так и обменной кислотности на 0,5–1,4 ед., снижалась гидролитическая кислотность почвы до 4 раз). Аналогичные данные получены ранее на примере урбанозёмов других функциональных зон Воронежа [23], а также по другим городам России [24, 25], где тенденция подщелачивания городских почв объясняется осаждением на их поверхность пыли, содержащей карбонаты кальция и магния. В культурозёмах увеличилось содержание $C_{\text{орг.}}$ в 1,6 раза по сравнению с фоновым уровнем. Как правило, баланс складывается из комбинации процессов, направленных как на возрастание данного показателя (использование привозных

грунтов, привнос техногенного углерода), так и на его снижение (иссушение и уплотнение почв, ежегодная уборка листьев, дегумификация) [3, 25].

Таким образом, проводя параллель между исследованиями других авторов можно сделать вывод, что урбанизация сопровождается техногенной трансформацией почв независимо от климатической зоны [1, 26]. Особенно заметно это проявилось в урбанозёмах рекреаций центральной части города. Известно, что антропогенное подщелачивание и повышенное содержание органического углерода почв вызывает снижение подвижности некоторых ТМ, поэтому верхние горизонты способны в определенной мере служить геохимическими барьерами для различных поллютантов [3].

Содержание тяжелых металлов в городских рекреациях

Результаты определения содержания ТМ в изученных почвах представлены в табл. 2. Анализ полученных данных показал, что в настоящее время во всех точках отбора концентрации ТМ не превышают санитарных нормативов ($K_o < 1$). Следует отметить, что среднее содержание основных ТМ в почвах рекреационных зон Воронежа ниже среднего для урбопочв города [17].

В серых лесных почвах заповедника показатели содержания химических веществ распределены по нормальному закону, они характеризуются высокой однородностью (вариация в пределах 5–10 %), что позволило использовать средние арифметические данные в качестве фоновых. Содержание всех рассматриваемых ТМ в почвах заповедника, значительно ниже их санитарных нормативов.

Особый интерес представляет состояние естественных почв Воронежской нагорной дубравы, имеющей статус природного заказника. С учётом вариабельности показателей (5–17 %), содержание ТМ в почвах двух участков, расположенных на удалении друг от друга, мало различается. Как и следовало ожидать, эти значения находятся на уровне или незначительно выше по сравнению с зональными почвами регионального фона. Аналогичная ситуация складывается и в крупных городских рекреациях (т. 3–4), где среднее содержание всех ТМ как по валовым, так и по подвижным формам не превышало контрольных значений. Суммарная нагрузка тяжёлых металлов, поступающих на территорию крупных лесопарков ниже, чем в целом для парков и скверов Воронежа, что определяется их пространственным положением и размерами территории.

Повышенное содержание ТМ на территории биостанции педагогического университета (т. 7), свидетельствует как о ведущей роли в загрязнении газопылевых выбросов от автотранспорта, проходящей рядом магистрали Чернавского моста, так и от промышленных предприятий левобережного промышленного комплекса. Напротив, в дендропарке лесотехнического университета (т. 6) содержание ТМ было на уровне или даже ниже фоновых значений, что может быть связано с локальной подсыпкой чистого грунта при его благоустройстве в 2023 году.

Таблица 2

Среднее содержание разных форм тяжелых металлов и их коэффициенты накопления в почвах рекреаций Воронежа

Участки отбора проб	Химический элемент, мг/кг											
	Валовая форма						Подвижная форма					
	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Mn	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Mn
	(ОДК) ПДК (по [24])											
	(130)	(2)	(220)	(132)	(80)	1500	6	–	23	3	4	140
Ф	5,7	0,1	15,7	8,6	8,0	175	0,1	0,04	1,5	0,4	0,3	62
<i>Пригородные лесопарки</i>												
1	<u>4,5*</u> <1,0	<u>0,07</u> <1,0	<u>16,0</u> 1,0	<u>7,0</u> <1,0	<u>8,0</u> 1,0	<u>150</u> <1,0	<u>0,1</u> 1,0	<u>0,01</u> <1,0	<u>0,7</u> <1,0	<u>0,2</u> <1,0	<u>0,1</u> <1,0	<u>53</u> <1,0
2	<u>3,1</u> <1,0	<u>0,04</u> <1,0	<u>16,2</u> 1,0	<u>7,3</u> <1,0	<u>7,0</u> <1,0	<u>168</u> <1,0	-	<u>0,03</u> 1,0	<u>2,0</u> 1,3	<u>0,2</u> <1,0	<u>0,3</u> 1,0	<u>40</u> <1,0
<i>Городские рекреации при научных и учебных учреждениях</i>												
3	<u>5,0</u> <1,0	<u>0,1</u> 1,0	<u>20,4</u> 1,2	<u>6,5</u> <1,0	<u>8,5</u> <1,0	<u>160</u> <1,0	<u>0,08</u> <1,0	<u>0,01</u> <1,0	<u>1,3</u> <1,0	<u>0,1</u> <1,0	<u>0,2</u> <1,0	<u>58</u> <1,0
4	<u>5,3</u> <1,0	<u>0,08</u> <1,0	<u>15,6</u> <1,0	<u>5,0</u> <1,0	<u>7,3</u> 1,0	<u>132</u> <1,0	-	<u>0,04</u> 1,0	<u>0,9</u> <1,0	<u>0,1</u> <1,0	<u>0,2</u> <1,0	<u>60</u> <1,0
5	<u>30,0</u> 5,0	<u>0,1</u> 1,0	<u>40,7</u> 2,6	<u>18,0</u> 2,2	<u>17,0</u> 1,7	<u>245</u> 1,4	<u>0,15</u> 1,5	<u>0,01</u> <1,0	<u>2,0</u> 1,3	<u>0,6</u> 1,5	<u>0,2</u> <1,0	<u>58</u> <1,0
6	<u>7,9</u> 1,3	<u>0,12</u> 1,0	<u>28,4</u> 1,8	<u>13,5</u> 1,6	<u>7,6</u> <1,0	<u>162</u> <1,0	<u>0,15</u> 1,5	<u>0,04</u> 1,0	<u>1,0</u> <1,0	<u>0,4</u> <1,0	<u>0,1</u> <1,0	<u>64</u> 1,0
7	<u>31,9</u> 5,6	<u>0,11</u> 1,0	<u>39,8</u> 2,5	<u>30,0</u> 3,4	<u>10,4</u> 1,3	<u>308</u> 1,7	<u>0,18</u> 1,8	<u>0,05</u> 1,4	<u>1,2</u> <1,0	<u>0,2</u> <1,0	<u>0,1</u> <1,0	<u>65</u> 1,0
<i>Городские рекреации в центре города</i>												
8	<u>10,0</u> 1,8	<u>0,1</u> 1,0	<u>20,5</u> 1,3	<u>9,8</u> 1,0	<u>6,9</u> <1,0	<u>256</u> 1,5	-	<u>0,02</u> <1,0	<u>3,5</u> 2,3	<u>0,4</u> 1,0	<u>0,1</u> <1,0	<u>57</u> <1,0
9	<u>32,3</u> 5,7	<u>0,65</u> 6,5	<u>61,8</u> 4,0	<u>27,8</u> 3,2	<u>19,2</u> 2,4	<u>64</u> 1,0	<u>0,03</u> <1,0	<u>0,05</u> 1,2	<u>3,0</u> 2,0	<u>0,7</u> 1,9	<u>0,2</u> <1,0	<u>64</u> 1,0
10	<u>7,3</u> 1,3	<u>0,21</u> 2,0	<u>41,9</u> 2,6	<u>21,1</u> 2,5	<u>8,0</u> 1,0	<u>280</u> 1,6	<u>0,15</u> 1,2	<u>0,08</u> 2,0	<u>2,4</u> 1,5	<u>0,6</u> 1,4	<u>0,2</u> <1,0	<u>76</u> 1,2
11	<u>28,5</u> 4,1	<u>0,45</u> 4,3	<u>39,4</u> 2,5	<u>30,2</u> 3,5	<u>16,6</u> 2,1	<u>277</u> 1,6	<u>0,04</u> <1,0	<u>0,1</u> 2,5	<u>1,6</u> 1,0	<u>0,1</u> 0,3	<u>0,4</u> 1,3	<u>62</u> 1,0
12	<u>24,4</u> 4,3	<u>0,3</u> 3,0	<u>62,4</u> 4,1	<u>17,2</u> 2,0	<u>14,8</u> 1,9	<u>200</u> 1,1	<u>0,06</u> <1,0	<u>0,3</u> 7,5	<u>3,9</u> 2,6	<u>0,3</u> <1,0	<u>0,3</u> 1,0	<u>50</u> <1,0
13	<u>33,4</u> 5,8	<u>0,5</u> 5,0	<u>32,2</u> 2,0	<u>21,7</u> 2,5	<u>10,5</u> 1,3	<u>186</u> 1,0	<u>0,15</u> 1,5	<u>0,2</u> 5,0	<u>4,5</u> 3,0	<u>0,5</u> 1,3	<u>0,5</u> 1,7	<u>54</u> <1,0

Примечание. Ф – фон (контроль); * над чертой – содержание ТМ, под чертой – коэффициент накопления K_c ; прочерк – содержание металла ниже чувствительности метода определения; жирным шрифтом выделены значения, указывающие на повышенное накопление металла в почвах (различия с контролем достоверны $p < 0,05$).

По мере приближения к центру города возрастает вариабельность показателей с 20 до 40 % по содержанию ТМ. Распределение элементов загрязнителей в урбанозёмах не подчиняется закономерностям, характерным для зональных нативных почв. Это объясняется неравномерным выпадением загрязняющих веществ на поверхность и степенью их техногенного преобразования. Содержание большинства металлов превышало контрольные значения (табл. 2). Большие концентрации отмечены в реплантозёмах небольших парков и скверов (т. 9, т. 11–13), сосредоточенных в исторической части города (даже со статусом ООПТ). Аккумулятивный характер накопления ТМ здесь может определяться, как выбросами от автотранспорта, так и в ряде случаев исходной загрязнённостью насыпных почвогрунтов. Например, валовое содержание свинца и кадмия – металлов 1 класса опасности превышено в 3–6,5 раз. Содержание Zn и Cu практически во всех образцах почв было выше регионального фона в 2–4 раза. Многие авторы подобные превышения объясняют включением в профиль городских почв строительного мусора, приводящего к увеличению содержания различных загрязнителей [1, 3].

Параллельно с этим в Центральном городском парке (т. 8) содержание Cd и Cu находилось на уровне контрольных значений, а по Ni даже ниже (6,9 против 8,0 мг/кг в контроле), хотя эти почвы также являются насыпными. По остальным ТМ концентрации накопления были не высокими ($K_c < 2$). Вероятно, это связано как с удалённостью от автомагистрали (более 500 м), так и работой городских служб (подсыпка чистого грунта). По этой же причине в парке Орлёнок (т. 10), несмотря на территориальную близость к транспортным развязкам, значительных превышений по ТМ не обнаружено, за исключением цинка и меди ($K_c = 2,5$).

Для выявления приоритетных загрязнителей почв нами использовался показатель накопления (коэффициент концентрации), который позволил рассчитать СПЗ (Z_c), отражающий совокупное влияние ТМ на экосистему (табл. 3). После расчёта коэффициентов концентрации каждая выборка нами представляется в виде набора относительных характеристик аномальности химических элементов (формула загрязнения).

В целом, показатель накопления ТМ в почве рекреационных территорий Воронежа убывает в ряду: $Pb > Cd > Zn \geq Cu > Ni > Mn$. Приобретают ведущую роль элементы I класса опасности (Pb, Cd, Zn), что акцентирует внимание на их аккумуляции в урбопочвах. Максимальные превышения над фоновыми концентрациями составляли: для свинца и кадмия до 6,5 раз, для меди и цинка до 4 раз. Для Ni и Mn мы не наблюдали существенного накопления в почвах, а для отдельных рекреаций показатели были ниже регионального фона, что может объясняться недостатком некоторых микроэлементов в зональных почвах [27].

Проведённые исследования позволяют говорить об относительно низком содержании ТМ в почвах Воронежской нагорной дубравы (т. 1–2), лесопарка НИИ лесной генетики и селекции (т. 3), ботанического сада Воронежского университета (т. 4), находящихся на значительном удалении от центра города и промышленных предприятий. Значения по содержанию ТМ были ниже или на уровне контроля

($Kc_i \leq 1$), что позволяет отнести такие почвы к чистым, безопасным. Это повышает экологическую ценность и природоохранный статус данных территорий.

Таблица 3
Оценка комплексного загрязнения ТМ почв городских рекреаций Воронежа

№ п/п	Zc (с учетом региональных природных характеристик)		Категория загрязнения
	показатель	формула загрязнения*	
Пригородные лесопарки			
1	-	-	чистая
2	-	-	
Городские рекреации при научных и учебных учреждениях			
3	1,2	Zn _{1,2}	чистая
4	-	-	
5	8,9	Pb _{5,0} Zn _{2,6} Cu _{2,2} Ni _{1,7} Mn _{1,4}	допустимая
6	3,0	Zn _{1,8} Cu _{1,6} Pb _{1,3}	
7	10,5	Pb _{5,6} Cu _{3,4} Zn _{2,5} Mn _{1,7} Ni _{1,3}	
Городские рекреации в центре города			
8	2,6	Pb _{1,8} Mn _{1,5} Zn _{1,3}	допустимая
9	17,8	Cd _{6,5} Pb _{5,7} Zn _{4,0} Cu _{3,2} Ni _{2,4}	умеренно-опасная
10	6,0	Zn _{2,6} Cu _{2,5} Cd _{2,0} Mn _{1,6} Pb _{1,3}	допустимая
11	14,0	Pb _{5,0} Cd _{4,3} Cu _{3,5} Zn _{2,5} Ni _{2,1} Mn _{1,6}	
12	11,3	Pb _{4,3} Zn _{4,1} Cd _{3,0} Cu _{2,0} Ni _{1,9}	
13	13,7	Pb _{5,8} Cd _{5,0} Cu _{2,5} Zn _{2,0} Ni _{1,3}	

Примечание: * – формула загрязнения почв валовыми формами ТМ представляет ранжированную по убыванию показателей Kc_i последовательность элементов с $Kc_i > 1$, прочерк – показатель не имеет смысла ($Kc_i \leq 1$); жирным шрифтом в формулах выделены ведущие элементы загрязнения с $Kc_i > 2$.

Для большинства рекреаций города фиксируется удовлетворительное санитарно-гигиеническое состояние урбопочв, они соответствуют низкому уровню загрязнения ($Zc < 16$) и их можно отнести к допустимой категории. Лишь единственный рекреационный участок (т. 9) Первомайский сад имеет средний уровень ($Zc = 17,8$) и относится к умеренно-опасной категории загрязнения почв из-за высокого содержания в них Cd и Pb. Сопоставление полученных нами результатов с литературными данными для других городов России [10–13] показывает, что уровень загрязнения почв в рекреациях Центрального района Воронежа не столь высок.

При экодиагностике состояния почв рекомендуют оценивать долю подвижной формы, отражающей как химические свойства металла, так и свойства почвы [28]. Для рекреационных зон это важно, так как этот показатель характеризует миграционную способность в сопредельные среды и доступность для растений. В настоящее время содержание всех подвижных форм ТМ в городских рекреациях не

превышает ПДК, характеризуется сравнительно низкими концентрациями, иногда даже ниже пределов обнаружения используемых методов анализа (табл. 2).

Доля подвижных металлов в урбопочвах центра города выше, чем в нативных почвах пригородных массивов и крупных городских лесопарков. Подвижность ТМ в почвах убывала в ряду: $Cd > Zn > Cu > Pb > Ni > Mn$. Наибольшая подвижность выявлена только для Cd и Zn в скверах (т. 12–13), в которых отмечено комплексное загрязнение. Это создаёт риск токсического воздействия на городскую растительность. По остальным ТМ коэффициенты концентрации по подвижным формам относительно регионального фона ниже, чем по валовым формам, что подтверждает аккумуляцию и накопление их в верхнем горизонте почв. В работах многих авторов подчеркивается, что для урбанизированных почв характерно нахождение ТМ в форме оксидов, плохо растворимых в воде [25]. Поэтому не приходится рассчитывать на быстрое удаление этих токсикантов за пределы городской экосистемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрено эколого-геохимическое состояние почв в рекреационных зонах Центрального района г. Воронежа. Лесопарковые ландшафты (с учетом их специфических особенностей и генезиса) были условно разделены на 3 группы:

1. Пригородные лесные массивы сохраняют свои природные свойства (имеют слабокислую реакцию среды, естественное содержание органического вещества, фоновое содержание ТМ). Серые лесные почвы не представляют опасности и относятся к чистой категории загрязнения.

2. Рекреации крупных городских лесопарков и дендропарков, имеющие естественные поверхностно-преобразованные урбопочвы по своим свойствам близки к природным аналогам, и соответствуют чистой и допустимой категории загрязнения.

3. Рекреации преимущественно центральной части города – это искусственно сконструированные ландшафты, несущие на себе свойства использованных при их устройстве насыпных грунтов. В урбанозёмах и реплантозёмах доминируют антропогенные свойства и процессы (подщелачивание, рост содержания антропогенных органических веществ и тяжёлых металлов), приводящие к потере основных экологических функций. Степень загрязнения антропогенно-преобразованных почв рекреаций (даже со статусом ООПТ) варьирует от допустимой до умеренно-опасной.

Таким образом, проведённое исследование позволяет охарактеризовать общее экологическое состояние почв городских рекреаций в целом как удовлетворительное. Валовое и подвижное содержание ТМ во всех образцах почв не превышало нормативов ОДК (ПДК). Тем не менее, для парков и скверов, по мере приближения к центру города, установлены превышения над региональным фоном по содержанию кадмия (до 6,5 раз), свинца (до 5,8 раз), цинка (до 4 раз) и меди (до 3,5 раз). Эти металлы вносят основной вклад в загрязнение почв, а их накопление носит антропогенный характер.

В качестве местного урбанизированного фона вполне допустимо использовать уровень содержания ТМ в почвах Воронежской нагорной дубравы и крупных городских лесопарков (дубравы ботанического сада Воронежского университета; НИИ лесной генетики и селекции). Зелёные насаждения этих рекреаций имеют высокую средозащитную способность, поскольку поток поллютантов перехватывается растительными полосами, препятствуя их проникновению в почву.

Полученная информация о формах соединений ТМ необходима для своевременного выявления, оценки и прогноза изменений состояния почвенного покрова в зелёных зонах города.

Список литературы

1. Бахматова К. А. Антропогенные почвы городских парков / К. А. Бахматова, Н. Н. Матинян, А. А. Шешукова // Почвоведение. – 2022. – № 1. – С. 77–95. – DOI: 10.31857/S0032180X22010026
2. Васенев В. И. Экологические функции и экосистемные сервисы городских и техногенных почв: от теории к практическому применению (обзор) / В. И. Васенев, О. Н. Ромзайкина, Р. А. Гаджагаева // Почвоведение. – 2018. – № 10. – С. 1177–1191. – DOI: 10.1134/S0032180X18100131
3. Герасимова М. И. Антропогенные почвы / М. И. Герасимова, М. Н. Строгонова, Н. В. Можарова, Т. В. Прокофьева. – Смоленск : Ойкумена, 2003. – 238 с.
4. Трифонова Т. А. Оценка загрязнения почв рекреационных территорий промышленного города соединениями тяжёлых металлов и мышьяка / Т. А. Трифонова, А. А. Подолец, О. Г. Селиванов, А. А. Марцев // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 1. – С. 94–101. – DOI: 10.25750/1995-4301-2018-2-094-101/1
5. De Vries W. Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystems / W. De Vries, D. J. Bakker. – The Netherlands, 1998. – 144 p.
6. Скугорева С. Г. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских почв / С. Г. Скугорева, Т. И. Кутявина, С. Ю. Огородникова [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 3. – С. 57–65. – DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-057-065
7. Березин И. И. Состояние почвы на территории городов с развитой нефтеперерабатывающей промышленностью / И. И. Березин, В. В. Сучков // Гигиена и санитария. – 2015. – № 5. – С. 36–39.
8. Власов Д. В. Уровни и факторы накопления металлов и металлоидов в придорожных почвах, дорожной пыли и их фракции РМ₁₀ в западном округе Москвы / Д. В. Власов, О. В. Кукушкина, Н. Е. Кошелева, Н. С. Касимов // Почвоведение. – 2022. – № 5. – С. 538–555. – DOI: 10.31857/S0032180X22050112
9. Kaverina N. V. Technogenic geochemical abnormalities in the soils and bottom sediments of Voronezh / N. V. Kaverina, S. A. Kurolap, P. M. Vinogradov, T. V. Dubovitskaya, N. N. Nazarenko, R. A. Kondauronov // Revista Ingenieria UC. – 2021. – Vol. 28, No 1. – P. 83–96. – DOI: 10.54139/revinguc.v28i1.2
10. Борисочкина Т. И. Тяжёлые металлы и формы их соединений в почвах лесопарковых ландшафтов северо-восточного округа Москвы (на примере района Лианозово) / Т. И. Борисочкина, К. А. Колчанова, И. Н. Горохова // Проблемы региональной экологии. – 2023. – № 6. – С. 27–32. – DOI: 10.24412/1728-323X-2023-6-27-32
11. Скугорева С. Г. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских почв / С. Г. Скугорева, Л. И. Домрачёва, А. И. Фокина [и др.] // Юг России : экология, развитие. – 2023. – Т. 18, № 2. – С. 102–112. – DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-102-112
12. Дабахов М. В. Тяжёлые металлы в почвах парков заречной части Нижнего Новгорода / М. В. Дабахов, Е. В. Чеснокова // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2010. – № 2. – С. 109–116.
13. Забелина О. Н. Экологическое состояние парково-рекреационных урбанозёмов города Владимира / О. Н. Забелина, Т. А. Трифонова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 1. – С. 2140–2143.

14. Бугров С. В. Особенности накопления ТМ и металлоидов в почвах крупных рекреационных зон городов Самара и Сызрань / С. В. Бугров, Ю. В. Макарова, Н. В. Прохорова // Самарский научный вестник. – 2020. – Т. 9, № 2 (31). – С. 26–31. – DOI: 10.17816/snv202104
15. Середа Л. О. Эколого-геохимическая оценка техногенного загрязнения почвенного покрова промышленных городов / Л. О. Середа, С. А. Куролап, Л. А. Яблонских. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2018. – 196 с.
16. Федорова А. И. Мутагенная активность тяжёлых металлов в почвах придорожной полосы / А. И. Федорова, В. Н. Калаев, Ю. Г. Просвирина [и др.] // Почвоведение. – 2007. – № 8. – С. 998–1005.
17. Назаренко Н. Н. Содержание тяжёлых металлов в почвах урбанизированных экосистем г. Воронежа / Н. Н. Назаренко, И. Д. Свистова // сб.: Механизмы устойчивости и адаптации биологических систем к природным и техногенным факторам. Киров. – 2015. – С. 283–286.
18. Строганова М. Н. Комплексная оценка экологического состояния городских почв / М. Н. Строганова, Т. В. Прокофьева, А. Н. Прохоров, Л. В. Лысак [и др.]. – М. : МГУ, 2011. – 50 с.
19. Астанин С. С. Биоиндикация почвы в разных категориях городских рекреаций (на примере города Воронежа) / С. С. Астанин, Н. Н. Назаренко, И. Д. Свистова // Проблемы региональной экологии. 2024. – № 1. – С. 17–21. – DOI: 10.24412/1728-323X-2024-1-17-21
20. Назаренко Н. Н. Микологические факторы риска в городской среде (на примере рекреационных почв города Воронежа) / Н. Н. Назаренко, С. С. Астанин, И. Д. Свистова // Проблемы региональной экологии. 2024. – № 4. – С. 5–9. – DOI: 10.24412/1728-323X-2024-4-5-9
21. Астанин С. С. Оценка антропогенной нагрузки и экологического состояния разных категорий рекреаций города Воронеж / С. С. Астанин // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2025. – № 1. – С. 9–18. – DOI: 10.5281/zenodo.15004151
22. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (с изменениями на 30.12.2022 г.). [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 10.06.2025).
23. Назаренко Н. Н. Микробиологическая индикация почв урболандшафтов / Н. Н. Назаренко, И. Д. Свистова. – Воронеж: ВГАУ, 2013. – 135 с.
24. Васенев В. И. Особенности экологического функционирования конструкторов на территории Москвы и Московской области / В. И. Васенёв, Н. Д. Ананьева, О. А. Макаров // Почвоведение. – 2012. – № 2. – С. 224–235.
25. Кошелева Н. Е. Факторы накопления тяжёлых металлов и металлоидов на геохимических барьерах в городских почвах / Н. Е. Кошелева, Н. С. Касимов, Д. В. Власов // Почвоведение. – 2015. – № 5. – С. 536–551.
26. Переломов Л. В. Урботехногенная трансформация почв парка музея-усадьбы «Останкино» / Л. В. Переломов, Д. В. Фокин, Л. М. Дмитраков // Агрохимия. – 2003. – № 7. – С. 70–76.
27. Протасова Н. А. Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья / Н. А. Протасова, А. П. Щербаков. – Воронеж: ВГУ, 1992. – 165 с.
28. Обухов А. И. Биогеохимия тяжёлых металлов в городской среде / А. И. Обухов, О. М. Лепнёва // Почвоведение. – 1989. – № 5. – С. 65–73.

HEAVY METALS IN SOILS OF FOREST PARK LANDSCAPES OF VORONEZH (ON THE EXAMPLE OF THE CENTRAL DISTRICT)

Nazarenko N. N.¹, Astanin S. S.², Svistova I. D.²

¹*Federal State Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Agrarian University named after Peter the Great", Voronezh, Russian Federation*

²*Federal State Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Pedagogical University", Voronezh, Russian Federation
E-mail: talalajko@mail.ru*

The ecological and geochemical state of the soils of the recreational zones of the Central District of Voronezh was studied. The soil samples were analyzed for the content of gross and mobile forms of lead, cadmium, zinc, copper, nickel, and manganese. The obtained indicators were compared with the approximate and maximum permissible concentrations and background values. The categories of soil pollution were determined by calculating the accumulation (concentration) coefficients and the total pollution indicator. Suburban forest areas retain their natural properties (have a slightly acidic reaction of the environment, natural content of organic matter, background content of heavy metals). Natural gray forest soils are classified as "clean". Urban recreation areas within the city have different origins, soil characteristics, which determines their geochemical features. Most of the soils correspond to zonal soils in terms of acidity and organic matter content, despite this, there are areas with pronounced technogenic transformation. According to the total pollution index, natural soils (chernozems and grey forest soils) of large urban forest parks that are weakly affected by anthropogenic impacts are classified as "clean" and have background values of heavy metal content, while transformed urbose soils of arboretums at Voronezh universities are classified as "permissible". Urban recreation areas, mainly in the central part of the city, are artificially constructed landscapes that bear the properties of the bulk soils used in their construction. In terms of their main indicators, they no longer correspond to their zonal analogues. They are dominated by anthropogenic properties and processes (alkalization, growth of anthropogenic organic matter content), leading to the loss of their main ecological functions. In most cases, recreation areas in the city center (even with the status of a protected area) are subject to noticeable pollution by heavy metals compared to the regional background. The accumulation rate of TM in the soil of recreational areas of Voronezh decreases in the following order: $Cd > Pb > Zn \geq Cu > Ni > Mn$. The sanitary and hygienic condition of anthropogenically transformed and artificially created soils (cultivated soils, replanted soils) refers to pollution categories from "acceptable" to "moderately hazardous". As a local urbanized background for monitoring studies of urban soils, we recommend using undisturbed soils of the suburban forest massif of the Voronezh upland oak grove and large urban forest parks remote from the city center (oak groves of the botanical garden of the Voronezh University and the Research Institute of Forest Genetics and Selection).

Keywords: recreation, urban soils, heavy metals, total pollution index.

References

1. Bakhmatova K. A., Matinyan N. N., Sheshukova A. A. Anthropogenic soils of urban parks, *Soil Science*, **1**, 77 (2022), DOI: 10.31857/S0032180X22010026.
2. Vasenev V. I., Romzaikina O. N., Gadzhiagaeva R. A. Ecological functions and ecosystem services of urban and technogenic soils: from theory to practical application (review), *Soil Science*, **10**, 1177 (2018), DOI: 10.1134/S0032180X18100131.
3. Gerasimova M. I., Stroganova M. N., Mozharova N. V., Prokofieva T. V. *Anthropogenic soils*, 238 p. (Smolensk : *Oikumena*, 2003).
4. Trifonova T. A., Podolets A. A., Selivanov O. G., Martsev A. A. Assessment of soil contamination of recreational areas of an industrial city by heavy metal and arsenic compounds, *Theoretical and Applied Ecology*, **1**, 94 (2018), DOI: 10.25750/1995-4301-2018-2-094-101/1.
5. Vries W. De, Bakker D. J. *Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystems*, 144 p. (The Netherlands, 1998).
6. Skugoreva S. G., Kutayavina T. I., Ogorodnikova S. Y. et al. Integrated approach in the assessment of the ecological state of urban soils, *Theoretical and Applied Ecology*, **3**, 57 (2019), DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-057-065.
7. Berezin I. I., Suchkov V. V. Soil condition on the territory of cities with developed oil refining industry, *Hygiene and sanitation*, **5**, 36 (2015).
8. Vlasov D. V., Kukushkina O. V., Kosheleva N. E., Kasimov N. S. Levels and factors of metal and metalloid accumulation in roadside soils, road dust and their PM10 fraction in the western district of Moscow, *Soil Science*, **5**, 538 (2022), DOI: 10.31857/S0032180X22050112.
9. Kaverina N. V., Kurolap S. A., Vinogradov P. M., Dubovitskaya T. V., Nazarenko N. N., Kondaurov R. A. Technogenic geochemical abnormalities in the soils and bottom sediments of Voronezh, *Revista Inginieria UC*, **1**, 28, 83 (2021), DOI: 10.54139/revinguc.v28i1.2.
10. Borisochkina T. I., Kolchanova K. A., Gorokhova I. N. Heavy metals and forms of their compounds in soils of forest-park landscapes of the north-eastern district of Moscow (on the example of Lianozovo district), *Problems of regional ecology*, **6**, 27 (2023), DOI: 10.24412/1728-323X-2023-6-27-32.
11. Skugoreva S. G., Domracheva L. I., Fokina A. I. et al. Integrated approach in assessing the ecological state of urban soils, *South of Russia : ecology, development*, **2**, 18, 102 (2023), DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-102-112.
12. Dabakhov M. V., Chesnokova E. V. Heavy metals in the soils of the parks of the Nizhny Novgorod's district, *Vestnik of Nizhny Novgorod University named after N. I. Lobachevsky*, **2**, 109 (2010).
13. Zabelina O. N., Trifonova T. A. Ecological state of park-recreational urban-soils of the city of Vladimir, *Izvestia Samara Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences*, **1**, 14, 2140 (2012).
14. Bugrov S. V., Makarova Y. V., Prokhorova N. V. Features of accumulation of TM and metalloids in soils of large recreational zones of the cities of Samara and Syzran, *Samara Scientific Bulletin*, **2** (31), 9, 26 (2020), DOI: 10.17816/snv202104.
15. Sereda L. O., Yablonskikh L. A., Kurolap S. A. Assessment of the ecological and geochemical state of the soil cover of the urban district of Voronezh, *Vestnik VSU. Series: Geography. Geoecology*, **4**, 59 (2015).
16. Fedorova A. I., Kalaev V. N., Prosvirina Y. G. et al. Mutagenic activity of heavy metals in roadside soils, *Soil Science*, **8**, 998 (2007).
17. Nazarenko N. N., Svistova I. D. Heavy metal content in the soils of urbanised ecosystems of Voronezh. Voronezh, *Collection: Mechanisms of stability and adaptation of biological systems to natural and anthropogenic factors*, 283 p. (Kirov, 2015).
18. Stroganova M. N., Prokofieva T. V., Prokhorov A. N., Lysak L. V. et al. *Integrated assessment of the ecological state of urban soils*, 50 p. (Moscow. : Moscow State University, 2011).
19. Astanin S. S., Nazarenko N. N., Svistova I. D. Bioindication of soil in different categories of urban recreation (on the example of the city of Voronezh), *Problems of regional ecology*, **1**, 17 (2024), DOI: 10.24412/1728-323X-2024-1-17-21.
20. Nazarenko N. N., Astanin S. S., Svistova I. D. Mycological risk factors in the urban environment (on the example of recreational soils of the city of Voronezh), *Problems of regional ecology*, **4**, 5 (2024), DOI: 10.24412/1728-323X-2024-4-5-9.

21. Astanin S. S. Assessment of anthropogenic load and ecological state of different categories of recreations of the city of Voronezh, *Problems of ecology and nature protection of the technogenic region*, **1**, 9 (2025), DOI: 10.5281/zenodo.15004151.
22. SanPiN 1.2.3685-21 'Hygienic norms and requirements to ensure the safety and (or) harmlessness to humans of environmental factors of habitat' (as amended on 30.12.2022). [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (date of reference: 10.06.2025).
23. Nazarenko N. N., Svistova I. D. *Microbiological indication of soils of urban landscapes*, 135 p. (Voronezh : VGU, 2013).
24. Vasenev V. I., Ananyeva N. D., Makarov O. A. Features of ecological functioning of constructozems on the territory of Moscow and Moscow region, *Soil Science*, **2**, 224 (2012).
25. Kosheleva N. E., Kasimov N. S., Vlasov D. V. Factors of heavy metal and metalloid accumulation at geochemical barriers in urban soils, *Soil Science*, **5**, 536 (2015).
26. Perelomov L. V., Fokin D. V., Dmitrakov L. M. Urbotechnogenic transformation of soils of the park of the museum-estate 'Ostankino', *Agrochemistry*, **7**, 70 (2003).
27. Protasova N. A., Shcherbakov A. P. *Rare and dispersed elements in soils of the Central Black Earth Region*, 165 p. (Voronezh : Voronezh State University, 1992).
28. Obukhov A. I., Lepnyova O. M. Biogeochemistry of heavy metals in urban environment, *Soil Science*, **5**, 65, (1989).