

Эколого-гигиеническая оценка почв городских экосистем

Н. А. Дьякова[✉], С. А. Епринцев, П. М. Виноградов

Воронежский государственный университет, Российской Федерации
(394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1)

Аннотация. Целью исследования являлась эколого-гигиеническая оценка почв урбоценозов Центрального Черноземья по содержанию наиболее приоритетных тяжелых металлов и мышьяка.

Материалы и методы. На примере Воронежской области было выбрано 13 площадок отбора образцов верхних слоев почв урбоценозов города Воронеж, а также одна заповедная территория в качестве образцов сравнения. Атомно-абсорбционным методом определяли содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка.

Результаты. Проведено изучение содержания в почвах урбоценозов и заповедных зон города Воронежа основных токсичных элементов (рутти, кадмия, свинца, мышьяка, никеля, цинка, кобальта, хрома и меди), а также проведено сравнение их концентраций с различными мировыми кларками. Показаны территории, для которых характерно загрязнение верхних слоев почв теми или иными элементами. Выявлено, что важнейшее влияние на состояние почв урбоценозов города Воронежа оказывает авто- и железнодорожный транспорт, предприятия энергетики, а также ряд промышленных предприятий.

Выводы. Наиболее значимым лимитирующим показателем качества исследуемых почв урбоценозов явилось содержание в них подвижных форм меди – превышение предельно допустимых норм по данному показателю выявлено в 57% исследуемых образцов, что можно связать с недостаточной эффективностью очистки выбросов в атмосферу промышленных предприятий и транспорта, а также с низкой гумусированностью урбанизированных почв, и, как следствие, малой способностью к прочной фиксации металлов.

Ключевые слова: урбанизированные территории, почвы, мышьяк, тяжелые металлы, валовое содержание, подвижные формы.

Источник финансирования: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00272, <https://rscf.ru/project/24-27-00272/>.

Для цитирования: Дьякова Н. А., Епринцев С. А., Виноградов П. М. Эколого-гигиеническая оценка почв городских экосистем // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025, № 2, с. 134-141. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/2/134-141>

ВВЕДЕНИЕ

Возрастание техногенной нагрузки на окружающую среду диктует необходимость постоянного мониторинга экологического состояния как естественных экосистем, так и искусственно созданных человеком [5, 6]. В данных условиях почва, а особенно верхние ее слои, является ключевым депонирующими компонентом антропогенной экосистемы [1, 4].

Воронежская область относится к важным агропромышленным субъектам Российской Федерации [7, 16, 17]. Регион обладает ежегодным приростом индекса промышленного производства, составляющим на 2023 год 107 % [14]. Такое возрастание техногенной нагрузки на окружающую среду диктует необходимость постоянного мониторинга экологического состояния и основных тенденций развития урбоценозов [10, 13].

Приоритетными источниками загрязнения окружающей среды экотоксикантами являются автотранспорт (до 80 % антропогенного влияния на окружающую сре-

ду), применение ядохимикатов и удобрений, промышленные предприятия [18, 19]. Выбросы автотранспорта происходят непосредственно над поверхностью почвы, однако, концентрация экотоксикантов и расстояние, на которое осуществляется их рассеивание, значительно варьируют [2, 3, 20]. Распространение экотоксикантов от промышленных предприятий, концентрации экотоксикантов зависят от розы ветров, климатических и погодных условий, особенностей очистных и выхлопных сооружений [11, 15].

Целью исследования являлась эколого-гигиеническая оценка почв урбоценозов Центрального Черноземья по содержанию наиболее приоритетных тяжелых металлов и мышьяка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на примере урбоценозов города Воронежа, вблизи наиболее значимых объектов хозяйственного пользования [9]. Пробы почв отбирали согласно ГОСТ Р 58595-2019 методом конверта на

© Дьякова Н. А., Епринцев С. А., Виноградов П. М., 2025

[✉] Дьякова Нина Алексеевна, e-mail: ninochka_v89@mail.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

удалении 0-50 м от обочины дороги на улице Димитрова; на удалении 500-800 м от теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) «ВОГРЭС»; на удалении 500-900 м от химического предприятия ОАО «Воронежсинтезкаучук»; вблизи взлетно-посадочных полос международного аэропорта Воронеж им. Петра Первого; на расстоянии 0-50 м от правого берега низовья Воронежского водохранилища (вблизи Химзатона); на удалении 0-300 м с шагом в 100 м от автомагистрали М4 «Дон» на выезде

из г. Воронежа; на удалении 0-300 м с шагом в 100 м от железнодорожных путей вблизи станции Графская Железнодорожного района г. Воронежа; в Воронежском государственном природном биосферном заповеднике им. В.М. Пескова вблизи поселка Краснолесный (Железнодорожный район г. Воронежа) – контрольная точка заготовки образцов (табл. 1). Исследовали верхние слои почв (0-10 см), так как именно они подвергаются наибольшему антропогенному воздействию.

Таблица 1

Характеристика территорий отбора проб
[Table 1. Characteristics of sampling areas]

Территория отбора пробы / Sampling area	Координаты места заготовки / Coordinates of harvesting location	Тип почвы / Soil type [18]
Автомагистраль М4 «Дон» (0 м)	51°37' с.ш., 39°18' в.д. 51 ° 37 ' N, 39 ° 18 ' E	серые лесостепные среднесуглинистые
Автомагистраль М4 «Дон» (100 м)	51°37' с.ш., 39°18' в.д. 51 ° 37 ' N, 39 ° 18 ' E	серые лесостепные среднесуглинистые
Автомагистраль М4 «Дон» (200 м)	51°37' с.ш., 39°18' в.д. 51 ° 37 ' N, 39 ° 18 ' E	серые лесостепные среднесуглинистые
Автомагистраль М4 «Дон» (300 м)	51°37' с.ш., 39°18' в.д. 51 ° 37 ' N, 39 ° 18 ' E	серые лесостепные среднесуглинистые
Аэропорт Воронеж им. Петра Первого	51°51' с.ш., 39°11' в.д. 51° 51 ' N, 39° 11 ' E	аллювиальные засоленные
Железнодорожные пути (0 м)	51°58' с.ш., 36°58' в.д. 51 ° 58 ' N, 36 ° 58 ' E	серые лесные суглинистые
Железнодорожные пути (100 м)	51°58' с.ш., 36°58' в.д. 51 ° 58 ' N, 36 ° 58 ' E	серые лесные суглинистые
Железнодорожные пути (200 м)	51°58' с.ш., 36°58' в.д. 51 ° 58 ' N, 36 ° 58 ' E	серые лесные суглинистые
Железнодорожные пути (300 м)	51°58' с.ш., 36°58' в.д. 51 ° 58 ' N, 36 ° 58 ' E	серые лесные суглинистые
Низовье Воронежского водохранилища (Химзатон)	51°57' с.ш., 39°17' в.д. 51° 57 ' N, 39° 17 ' E	серые лесостепные среднесуглинистые
ОАО «Воронежсинтезкаучук»	51°51' с.ш., 39°27' в.д. 51° 51 ' N, 39° 27 ' E	аллювиальные луговые оглеенные суглинистые
ТЭЦ «ВОГРЭС	51°52' с.ш., 39°25' в.д. 51° 52 ' N, 39° 25 ' E	аллювиальные луговые оглеенные суглинистые
Улица г. Воронежа (ул. Димитрова)	51°57' с.ш., 39°27' в.д. 51° 57 ' N, 39° 27 ' E	урбano-дерново-лесные песчаные
Воронежский биосферный заповедник	51°59' с.ш., 39°53' в.д. 51 ° 59 ' N, 39 ° 53 ' E	дерновые лесные

Определение содержания в почвах валовых и подвижных форм элементов проводили на атомно-абсорбционном спектрометре МГА-915МД в соответствии с «МУ по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства». Экстракцию подвижных форм определяемых элементов проводили с использованием ацетат-аммонийного буферного раствора ($pH \approx 4,8$) [12]. Исследования проводили с тремя параллельными опытами, допускаемые расхождения определения учитывали при доверительной вероятности 95 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средние концентрации валовых и подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах урбоценозов города Воронежа приведены в таблицах 2 и 3 соответственно.

Валовая концентрация свинца в изучаемых образцах почв урбоценозов варьировала в пределах 3,0-33,8 мг/кг. В контрольном образце валовое содержание элемента составило 4,1 мг/кг. В почве, отобранный вблизи аэропорта, превысили ориентировочно допустимые нормы (32,0 мг/кг) валового содержания металла. Концентрация подвижных форм свинца варьировала 0,8-10,8 мг/кг, с превышением предельно допустимых норм (6 мг/кг) вблизи аэропорта, а также на улице города, вдоль трассы М4, железной дороги, что можно объяснить хроническим загрязнением почв выбросами транспорта [3].

В отношении ртути все изучаемые образцы почв соответствовали установленным нормативам. Валовое содержание данного элемента не превышало 50 % от

допустимых концентраций. Концентрация подвижных форм ртути не превышала 0,06 мг/кг. Наиболее высокое содержание ртути отмечено в почвах вдоль железнодорожных путей, вблизи ТЭЦ, на улице города, что может объясняться хроническим загрязнением промышленными и транспортными выбросами [6, 13].

В образце контрольной зоны валовое содержание кадмия составило 0,02 мг/кг, в почвах урбоценозов – 0,09-0,68 мг/кг. Концентрация подвижных форм элемента варьировала 0,01-0,12 мг/кг. Наиболее высокое содержание кадмия отмечено в почвах, отобранных на удалении 0-100 м от трассы М4.

Валовое содержание мышьяка в почве контрольной зоны составило 0,9 мг/кг, в почвах урбоценозов – 0,1-3,8 мг/кг, достигая значений, превышающих установленные нормативы, в образцах, отобранных вблизи ТЭЦ, которая более 70 лет работала на каменном угле, естественной примесью к которому является мышьяк [6, 7]. Концентрация подвижных форм мышьяка варьировала до 0,37 мг/кг, наибольшие значения отмечены вблизи ТЭЦ, химического предприятия, на улице города и вдоль трассы М4, что связано с относительно высоким валовым содержанием элемента [10].

Валовая концентрация никеля в почвах урбанизированных территорий варьировала 4,2-37,3 мг/кг, в образце контрольной зоны составила 2,2 мг/кг. Содержание подвижных форм металла достигало 6,3 мг/кг, с превышением допустимых норм в образцах, отобранных вдоль трассы М4 и железной дороги, что связано с высокой концентрацией в них валовых форм элемента и особенностями почв, бедных гумусовыми кислотами, связывающими металлы в прочные комплексы [11].

Валовое содержание хрома в почвах урбоценозов варьировало 9,4-43,5 мг/кг. Более низкий уровень концентраций хрома в почве выявлен для образца контрольной территории (3,9 мг/кг). Превышение допустимых норм подвижного хрома (6 мг/кг), содержание которого варьировало 0,6-9,6 мг/кг, отмечено в образцах, заготовленных на улице города, вблизи ТЭЦ, промышленного предприятия, вдоль трассы М4.

Валовое содержание кобальта в почвах урбоценозов составило 2,2-21,8 мг/кг, в почве контрольной зоны – 3,0 мг/кг. Концентрация подвижных форм элемента варьировала 0,42-5,45 мг/кг. Наиболее высокая валовая концентрация элемента и превышение предельно допустимой концентрации подвижного кобальта отмечено в почве улицы г. Воронежа.

Валовая концентрация меди в почвах урбоценозов варьировала 7,9-65,4 мг/кг. В образце контрольной зоны содержание элемента составило 3,3 мг/кг. Наиболее высокие валовые концентрации меди в почвах выявлены вдоль трассы М4 «Дон», вдоль и на удалении 100 м от железной дороги. Концентрация подвижных форм меди в почвах варьировала 0,9-17,1 мг/кг. Превышение допустимых норм подвижных форм металла выявлено в 8 образцах почв (вблизи аэропорта, АО

«Воронежсинтезкаучук», ТЭЦ, на улице города, на удалении 0-100 м от железной дороги и трассы М4), что связано с высокими валовыми концентрациями элемента данных территорий, а также с низкой гумусированностью урбанизированных почв [4, 9].

Валовая концентрация цинка в почвах урбоценозов составила 25,9-132,1 мг/кг, в образце контрольной территории – 11,5 мг/кг. Концентрация подвижных форм цинка в почвах варьировала 3,4-38,3 мг/кг с превышением допустимых его норм вблизи АО «Воронежсинтезкаучук», на улице города, вдоль трассы М4 и железной дороги. На этих же территориях отмечены более высокие валовые концентрации цинка (более 80 мг/кг), что, вероятно, связано с недостаточной очисткой выбросов производственного предприятия (цинк используется для вулканизации каучуков), а также с истиранием оцинкованных деталей транспорта, шин и применением в машинных маслах цинкодержащих присадок [3, 4, 5, 6].

Применение для интерпретации полученных результатов предельно и ориентировочно допустимых концентраций вызывает ряд затруднений в связи с их широким варьированием в зависимости от типа почв, страны установления и т.д. Более точной эколого-геохимической характеристикой почв являются кларки, так как отражают содержание элементов при одновременном влиянии естественных и техногенных процессов, происходящих в период установления кларков. С течением времени числовые значения кларков изменяются, однако, их представляется возможным использовать в качестве точек отсчета для формирования выводов о загрязнении почв [1, 7, 17].

Для анализа экспериментальных результатов сравнивали валовые концентрации элементов в почвах урбоценозов с кларками по Д.П. Малюга [8] (табл. 4) и по В.А. Алексеенко [1] (табл. 5).

При сопоставлении валовых концентраций токсичных элементов в почвах урбоценозов города Воронежа с мировыми кларками их по Д.П. Малюга (1963), в 13 из 14 образцов почв содержание различных металлов превышало среднемировые концентрации. По свинцу отмечено превышение кларков в 8 из 14 образцов, по ртути – в 11, по меди – в 10, по цинку – в 9, по кобальту – в 6, по кадмию – в 2 (преимущественно в почвах вблизи производственных предприятий и транспортных магистралей). Концентрации хрома, никеля, мышьяка в изучаемых почвах урбоценозов города Воронеж не превышали мировых кларков по Д.П. Малюга (1963).

При сравнении полученных результатов с кларками селитебных почв по В.А. Алексеенко (2014) превышение их было выявлено лишь в 5 образцах, и отмечено для 3 элементов – кобальт, никель, медь. Содержание никеля превышало данные кларки в 1 образце (вдоль автотрассы), кобальта – в 2 (на улице города и вдоль автотрассы), меди – в 4 (вдоль автотрассы и на удалении 0-200 м от железной дороги)

Таблица 2

Средние значения концентрации валовых форм токсичных элементов в почвах урбоценозов города Воронеж, мг/кг
 [Table 2. Average values of gross forms concentration of toxic elements in urbocenoses soils of the city of Voronezh, mg/kg]

№ п/п	Территория отбора пробы / Sampling area	Урбоценозы / Urbocenoses							
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu
1	Автомагистраль М4 «Дон» (0 м)	26,55	0,08	0,68	1,91	37,32	25,28	14,97	59,08
2	Автомагистраль М4 «Дон» (100 м)	12,59	0,07	0,59	1,72	26,89	32,11	13,24	30,61
3	Автомагистраль М4 «Дон» (200 м)	10,10	0,03	0,22	1,18	11,21	18,44	8,13	19,54
4	Автомагистраль М4 «Дон» (300 м)	7,98	0,02	0,21	1,14	8,16	19,36	5,07	19,49
5	Аэропорт Воронеж им. Петра Первого	33,81	0,11	0,20	1,58	15,55	24,62	6,28	28,08
6	Железнодорожные пути (0 м)	20,24	0,24	0,31	0,92	28,04	18,32	12,83	65,38
7	Железнодорожные пути (100 м)	6,17	0,06	0,23	0,76	15,68	14,23	9,65	58,05
8	Железнодорожные пути (200 м)	3,86	0,09	0,46	0,43	10,21	10,58	4,07	42,85
9	Железнодорожные пути (300 м)	3,03	0,02	0,41	0,12	6,27	9,42	2,22	31,42
10	Низовые Воронежского водохранилища (Химзатон)	11,92	0,13	0,17	1,46	8,46	18,12	7,33	7,94
11	ОАО «Воронежский синтезкаучук»	17,38	0,14	0,13	1,64	4,23	43,47	11,25	28,67
12	ТЭЦ «ВОГРЭС/ СНРР ВОГРЭС	7,35	0,16	0,09	3,81	5,39	36,74	12,09	37,89
13	Улица г. Воронежа (ул. Дмитриева)	15,84	0,15	0,18	1,68	6,17	35,49	21,78	38,34
		Контроль / Control							
14	Воронежский биосферный заповедник	4,10	0,04	0,02	0,90	2,24	3,90	2,99	3,30
	Ориентировочно допустимый уровень	32,0	2,1	2,0	10,0	80,0	-	-	11,48
	Мировой класс почв по Малюга Д. П. (1963)	10,0	0,03	0,5	5,0	40,0	200,0	10,0	220,0
	Класс солитебных почв по Алексеенко В. А. (2014)	54,5	0,88	0,9	15,9	33,0	80,0	14,1	50,0

Таблица 3

Средние значения концентрации подвижных форм токсичных элементов в почвах урбоценозов города Воронеж, мг/кг
 [Table 3. Average values of mobile forms concentration of toxic elements in urbocenoses soils of the city of Voronezh, mg/kg]

№ п/п	Территория отбора пробы / Sampling area	Урбоценозы / Urbocenoses							
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu
1	Автомагистраль М4 «Дон» (0 м)	7,18	0,03	0,12	0,15	6,34	6,57	3,61	17,12
2	Автомагистраль М4 «Дон» (100 м)	3,66	0,01	0,12	0,07	3,24	4,09	2,35	3,18
3	Автомагистраль М4 «Дон» (200 м)	2,84	0,01	0,04	0,05	1,47	3,52	1,49	2,27
4	Автомагистраль М4 «Дон» (300 м)	1,85	0,01	0,04	0,03	1,23	4,07	0,77	1,46
5	Аэропорт Воронеж им. Петра Первого	10,82	0,03	0,05	0,12	2,18	5,92	1,23	5,88
6	Железнодорожные пути (0 м)	7,09	0,06	0,07	0,06	4,21	3,85	2,85	12,97
7	Железнодорожные пути (100 м)	2,04	0,01	0,05	0,04	2,52	1,98	1,47	4,96
8	Железнодорожные пути (200 м)	0,99	0,01	0,09	0,03	1,24	1,78	0,47	2,15
9	Железнодорожные пути (300 м)	0,82	0,01	0,07	0,01	0,82	1,15	0,42	1,14
10	Низовые Воронежского водохранилища (Химзатон)	2,52	0,02	0,03	0,12	1,10	3,42	1,76	2,72
11	ОАО «Воронежский синтезкаучук»	4,08	0,02	0,02	0,13	0,47	9,12	2,57	6,33
12	ТЭЦ «ВОГРЭС	2,43	0,03	0,02	0,37	0,49	6,87	2,42	9,07
13	Улица г. Воронежа (ул. Дмитриева)	6,94	0,06	0,04	0,17	0,99	9,58	5,45	10,35
		Контроль / Control							
14	Воронежский биосферный заповедник	1,04	0,01	0,01	0,07	0,26	0,59	0,61	3,44
	ПДК	6,0	-	-	4,0	6,0	5,0	3,0	23,0

Таблица 4

Отношение концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почве к klarкам по Малюга Д.П. (1963)
[Table 4. Ratio of heavy metals and arsenic concentration in soil to claras according to Mal'yuga D.P. (1963)]

№ п/п	Территория отбора пробы / Sampling area	Урбоненозы / Urbocenosces								
		Rb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	
	Автомагистраль М4 «Дон» (0 м)	2,7	3,0	1,4	0,4	0,9	0,1	1,5	3,0	1,9
	Автомагистраль М4 «Дон» (100 м)	1,3	2,7	1,2	0,3	0,7	0,2	1,3	1,5	1,8
	Автомагистраль М4 «Дон» (200 м)	1,0	0,7	0,4	0,2	0,3	0,1	0,8	1,0	0,9
	Автомагистраль М4 «Дон» (300 м)	0,8	0,7	0,4	0,2	0,2	0,1	0,5	1,0	0,6
	Аэропорт Воронеж им. Петра Первого	3,4	4,0	0,4	0,3	0,4	0,1	0,6	1,4	0,5
	Железнодорожные пути (0 м)	2,0	8,0	0,6	0,2	0,7	0,1	1,3	3,3	1,8
	Железнодорожные пути (100 м)	0,6	2,0	0,4	0,2	0,4	0,1	1,0	2,9	1,7
	Железнодорожные пути (200 м)	0,4	2,3	0,9	0,1	0,3	0,1	0,4	2,1	1,5
	Железнодорожные пути (300 м)	0,3	0,7	0,8	<0,1	0,2	0,1	0,2	1,6	1,3
	Низовье Воронежского водохранилища (Химзатон)	1,2	4,7	0,3	0,3	0,2	0,1	0,7	0,4	0,7
	ОАО «Воронежсинтезкаучук»	1,7	5,0	0,2	0,3	0,1	0,2	1,1	1,4	2,6
	ТЭЦ «ВОГРЭС	0,7	5,3	0,2	0,8	0,1	0,2	1,2	1,9	1,9
	Улица г. Воронежа (ул. Дмитрова)	1,6	5,3	0,4	0,3	0,2	0,2	2,2	1,9	2,5
	Контроль / Control									
	Воронежский биосферный заповедник	0,4	1,3	<0,1	0,2	0,1	<0,1	0,3	0,2	0,7

Таблица 5

Отношение концентрации тяжелых металлов и мышьяка в почве к klarкам селитебных почв по Алексеенко В.А. (2014)
[Table 5. Ratio of heavy metals and arsenic concentration in soil to claras of residential soils according to V.A. Alekseeenko (2014)]

№ п/п	Территория отбора пробы / Sampling area	Урбоненозы / Urbocenosces								
		Rb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	
	Автомагистраль М4 «Дон» (0 м)	0,5	0,1	0,8	0,1	1,1	0,3	1,1	1,5	0,6
	Автомагистраль М4 «Дон» (100 м)	0,2	0,1	0,6	0,1	0,8	0,4	0,9	0,8	0,6
	Автомагистраль М4 «Дон» (200 м)	0,2	<0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,6	0,5	0,3
	Автомагистраль М4 «Дон» (300 м)	0,2	<0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,4	0,5	0,2
	Аэропорт Воронеж им. Петра Первого	0,6	0,1	0,2	0,1	0,5	0,3	0,5	0,7	0,2
	Железнодорожные пути (0 м)	0,4	0,3	0,3	0,1	0,9	0,2	0,9	1,7	0,6
	Железнодорожные пути (100 м)	0,1	0,1	0,2	0,1	0,5	0,2	0,7	1,5	0,5
	Железнодорожные пути (200 м)	0,1	0,1	0,5	<0,1	0,3	0,1	0,3	1,1	0,5
	Железнодорожные пути (300 м)	0,1	<0,1	0,4	<0,1	0,2	0,1	0,2	0,8	0,4
	Низовье Воронежского водохранилища (Химзатон)	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,5	0,2	0,2
	ОАО «Воронежсинтезкаучук»	0,3	0,2	0,1	0,1	0,5	0,8	0,7	0,8	
	ТЭЦ «ВОГРЭС	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,5	0,9	1,0	0,6
	Улица г. Воронежа (ул. Дмитрова)	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	1,5	1,0	0,8
	Контроль / Control	0,1	0,1	<0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
	Воронежский биосферный заповедник									

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено изучение содержания в почвах урбоценозов и заповедных зон города Воронежа валовых и подвижных форм основных токсичных элементов, выполнено сравнение их концентраций с различными мировыми стандартами. Выявлено, что важнейшее влияние на состояние почв урбоценозов города Воронежа оказывает авто- и железнодорожный транспорт, предприятия энергетики (ТЭЦ), а также ряд производственных предприятий. Лимитирующим показателем качества почв урбоценозов региона явилось содержание в них подвижных форм меди – превышение предельно допустимых норм по данному показателю выявлено в 57 % исследуемых образцов, что можно связать с недостаточной эффективностью очистки выбросов промышленных предприятий и транспорта, а также с низкой гумусированностью урбанизированных почв, и, как следствие, малой способностью к прочной фиксации металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко В. А., Алексеенко А. В. *Химические элементы в городских почвах*. Москва: Логос, 2014. 312 с.
2. Аристархов А., Лунев М., Павлихина А. Эколого-агрохимическая оценка состояния пахотных почв России по содержанию в них подвижных форм тяжелых металлов // *Международный сельскохозяйственный журнал*, 2016, № 6, с. 42-47.
3. Взаимосвязь свинца, цинка и меди с органическим веществом и карбонатами в городских почвах (на примере Ростова-на-Дону) / Г. А. Плахов, О. С. Безуглова, С. С. Тагивердиев, С. Н. Горбов // *АгроЭкоИнфо*, 2023, № 4 (58), с. 4-19.
4. Геоинформационный мониторинг формирования очагов экологически-обусловленной заболеваемости населения крупных городов при воздействии факторов окружающей среды / С. А. Епринцев, О. В. Клепиков, Н. А. Дьякова, П. М. Виноградов, С. В. Шекоян // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 3, с. 135-141.
5. Дьякова Н. А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // *Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА»*, 2019, № 95, с. 19-30.
6. Дьякова Н. А. Сливкин И. А., Гапонов С. П. Эколого-гигиеническая оценка состояния почв антропогенных экосистем Воронежской области // *Известия Калининградского государственного технического университета*, 2020, № 59, с. 61-72.
7. Епринцев С. А., Клепиков О. В. Исследование экологической безопасности городской среды по данным дистанционного мониторинга // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2022, № 4, с. 102-110.
8. Малюга Д. П. *Биогеохимический метод поисков рудных месторождений*. Ленинград: издательство АН СССР, 1963. 264 с.
9. Медико-экологический атлас Воронежской области: монография / С. А. Куролап, Н. П. Мамчик, О. В. Клепиков и др. Воронеж: ГУП ВО «Воронежская областная типография – издательство им. Е. А. Болховитинова», 2010. 167 с.
10. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем Сибирских регионов / Е. Г. Нечаева, И. А. Белозерцева, Е. В. Напрасникова. Новосибирск: Наука, 2010. 315 с.
11. Никель лесостепных экосистем Западного Забайкалья в системе порода – почва – гумусовые вещества – растения / Г. Д. Чимитдоржиева, Ю. Б. Цыбенков, Е. Ю. Мильхеев, А. З. Нимбуева // *Агрохимия*, 2016, № 3, с. 58-64.
12. Постановление от 28.01.2021 г. № 2 об утверждении СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Москва, 2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 08.12.2024). – Текст: электронный.
13. Тяжелые металлы и радионуклиды в почвах Ростовской агломерации / С. Н. Горбов, О. С. Безуглова. Ростов-на-Дону: Таганрог, 2020. 124 с.
14. Управление Роспотребнадзора по Воронежской области. – URL: <http://36.rosпотребnadzor.ru/key-areas/sanitary/14645> (дата обращения: 26.11.2024). – Текст: электронный.
15. Чимитдоржиева Г. Д., Нимбуева А. З., Чимитдоржиева Э. О. Кобальт и хром в системе: порода – почва – растение – гумус (на примере Западного Забайкалья) // *Агрохимия*, 2018, № 3, с. 81-85.
16. Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области / Н. А. Дьякова. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2022. 264 с.
17. Эколого-фармакогностическая оценка качества лекарственного растительного сырья Центрального Черноземья / Н. А. Дьякова, А. И. Сливкин, И. В. Гравель. Москва: РУСАЙНС, 2023. 238 с.
18. Cabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plant*. 4th. Bosa Raton, FL: Crs Press, 2010. 548 p.
19. Cadmium in edibleplants from Silesia, Poland, and its implications for health risk in populations / C. Dziubanek, R. Baranowska, M. Cwielag-Drabek, A. Spychara, A. Riekut, M. Rusin, Hajok // *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, vol. 142, pp. 8-13.
20. Contamination of food crops grown on soils with elevated heavy metals content / C. Dziubanek, A. Piekut, M. Rusin, R. Baranowska, Hajok // *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015, vol. 118, pp. 183-189.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 20.02.2025
Принята к публикации: 02.06.2025

Ecological and Hygienic Assessment of Soils in Urban Ecosystems

N.A. Dyakova , S.A. Yeprintsev, P.M. Vinogradov

*Voronezh State University, Russian Federation
(1, Universitetskaya sq., Voronezh, 394018)*

Abstract. The purpose is an ecological and hygienic assessment of the urbocenoses soils in the Central Black Soil Region by the content of the highest priority heavy metals and arsenic.

Materials and methods. Using the example of the Voronezh Region, 13 sites for sampling the upper layers of urbocenoses soils in the city of Voronezh were selected, as well as one protected area as comparison samples. The content of gross and mobile forms of heavy metals and arsenic was determined by the atomic absorption method.

Results and discussion. The content of the main toxic elements (mercury, cadmium, lead, arsenic, nickel, zinc, cobalt, chromium and copper) in the soils of urbocenoses and protected areas of the city of Voronezh was studied, and their concentrations were compared with various world claras. The territories characterised by contamination of the upper layers of soils with certain elements are shown. It has been revealed that the most important influence on the state of soils of urbocenoses of Voronezh city is exerted by auto and railway transport, energy enterprises, as well as a number of industrial enterprises.

Conclusions. The most significant limiting indicator of the quality of the studied soils of urbocenoses was the content of mobile forms of copper – an excess of the maximum permissible standards for this indicator was found in 57 % of the studied samples, which can be associated with insufficient efficiency of cleaning of emissions into the atmosphere of industrial enterprises and transport, as well as with low humanization of urbanized soils, and, as a result, low capacity for strong fixation of metals.

Key words: urbanized areas, soils, arsenic, heavy metals, gross content, mobile forms.

Funding: The study was supported by the Grant of the Russian Science Foundation No. 24-27-00272, <https://rscf.ru/project/24-27-00272/>.

For citation: Dyakova N.A., Yeprintsev S.A., Vinogradov P.M. Ecological and Hygienic Assessment of Soils in Urban Ecosystems. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologiya*, no. 2, pp. 134-141. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/2/134-141>

REFERENCES

1. Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. Himicheskie jelementy v gorodskikh pochvah [Chemical elements in urban soils]. Moscow: Logos, 2014. 312 p. (In Russ.)
2. Aristarhov A., Lunev M., Pavlihina A. Jekologo-agrohimicheskaja ocenka sostojanija pahotnyh pochv Rossii po soderzhaniju v nih podvizhnih form tjazhelyh metallov [Ecological and agrochemical assessment of the state of arable soils in Russia by the content of mobile forms of heavy metals in them]. *Mezhdunarodnyj sel'skohozajstvennyj zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 42-47. (In Russ.)
3. Vzaimosvjaz' svinca, cinka i medi s organiceskim veshhestvom i karbonatami v gorodskikh pochvah (na primere Rostova-na-Donu) [The relationship of lead, zinc and copper with organic matter and carbonates in urban soils (using the example of Rostov-on-Don)] / G.A. Plahov, O.S. Bezuglova, S.S. Tagiverdyan, S.N. Gorbov. *AgroJekolInfo*, 2023, no. 4 (58), pp. 4-19.
4. Geoinformacionnyj monitoring formirovaniya ochagov jekologicheskij-obuslovlennoj zabolеваemosti naselenija krupnyh gorodov pri vozdejstvii faktorov okruzhajushhej sredy [Geoinformation monitoring of the formation of foci of ecologically caused morbidity of the population of large cities under the influence of environmental factors] / S.A. Eprincev, O.V. Klepikov, N.A. D'yakova, P.M. Vinogradov, S.V. Shekojan. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologiya*, 2024, no. 3, pp. 135-141. (In Russ.)
5. D'yakova N.A. Ocenka zagrjaznenija tjazhelymi metallami vernih sloev pochv urbo- i agroekosistem Central'nogo Chernozem'ja [Assessment of heavy metal contamination of the upper soil layers of urban and agroecosystems of the Central Chernozem region]. *Nauchno-prakticheskij zhurnal «Vestnik IrGSHA»*, 2019, no. 95, pp. 19-30. (In Russ.)
6. D'yakova N.A. Slivkin I.A., Gaponov S.P. Jekologo-gigienicheskaja ocenka sostojanija pochv antropogennych jekosistem Voronezhskoj oblasti [Ecological and hygienic assessment of the soil condition of anthropogenic ecosystems of the Voronezh region]. *Izvestija Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*, 2020, no. 59, pp. 61-72. (In Russ.)
7. Jekologicheskaja ocenka syrejih resursov lekarstvennyh rastenij Voronezhskoj oblasti [Ecological assessment of the raw materials of medicinal plants of the Voronezh region] / N.A. D'yakova. Voronezh: Cifrovaja poligrafija, 2022. 264 p. (In Russ.)
8. Eprincev S.A., Klepikov O.V. Issledovanie jekologicheskij bezopasnosti gorodskoj sredy po dannym distancionnogo monitoringa [Study of environmental safety of the urban environment based on remote monitoring data]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologiya*, 2022, no. 4, pp. 102-110. (In Russ.)
9. Maljuga D.P. Biogeohimicheskij metod poiskov rudnyh mestorozhdenij [Biogeochemical method of ore deposit prospecting]. Leningrad: izdatel'stvo AN SSSR, 1963. 264 p. (In Russ.)



10. *Mediko-tekhnicheskij atlas Voronezhskoj oblasti: monografija* [Medical and ecological atlas of the Voronezh region: monograph] / S. A. Kurolap, N. P. Mamchik, O. V. Klepikov i dr. Voronezh: GUP VO «Voronezhskaja oblastnaja tipografija – izdatel'stvo im. E. A. Bolgovitina», 2010. 167 p. (In Russ.)
11. *Monitoring i prognozirovaniye veshhestvenno-dinamicheskogo sostojaniya geosistem Sibirsikh regionov* [Monitoring and forecasting of the material-dynamic state of geosystems of Siberian regions] / E. G. Nechaeva, I. A. Belozerceva, E. V. Naprasnikova. Novosibirsk: Nauka, 2010. 315 p. (In Russ.)
12. *Nikel' lesostepnyh jekosistem Zapadnogo Zabajkal'ja v sisteme poroda – pochva – gumusovyje veshhestva – rastenija* [Nickel of forest-steppe ecosystems of Western Transbaikalia in the rock-soil – humus substances – plants system] / G. D. Chimitdorzhieva, Ju. B. Cybenkov, E. Ju. Mil'heev, A. Z. Nimbueva. *Agrohimija*, 2016, no. 3, pp. 58-64. (In Russ.)
13. Resolution of 28.01.2021 No. 2 on the approval of SanPiN 1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans». Moscow, 2021. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (accessed 08.12.2024). – Text: electronic (In Russ.)
14. *Tjazhelye metally i radionuklidy v pochvah Rostovskoj aglomeracii* [Heavy metals and radionuclides in the soils of the Rostov agglomeration] / S. N. Gorbov, O. S. Bezuglova. Rostov-on-Don: Taganrog, 2020. 124 p. (In Russ.)
15. Department of Rospotrebnadzor in the Voronezh region. – URL: <http://36.rosпотребнадзор.ru/key-areas/sanitary/14645> (accessed 26.11.2024). – Text: electronic (In Russ.)
16. *Jekologo-farmakognosticheskaja ocenka kachestva lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ja Central'nogo Chernozem'ja* [Ecological and pharmacognostic assessment of the quality of medicinal plant raw materials of the Central Chernozem region] / N. A. D'yakova, A. I. Slivkin, I. V. Gravel'. Moscow: RUSAJNS, 2023. 238 p. (In Russ.)
17. Chimitdorzhieva G. D., Nimbueva A. Z., Chimitdorzhieva Je. O. Kobal't i hrom v sisteme: poroda – pochva – rastenie – gu-mus (na primere Zapadnogo Zabajkal'ja) [Cobalt and chromium in the system: rock – soil – plant – humus (using the example of Western Transbaikalia)]. *Agrohimija*, 2018, no. 3, pp. 81-85. (In Russ.)
18. Cabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plant*. 4th. Bosa Raton, FL: Crs Press, 2010. 548 p.
19. Cadmium in edibleplants from Silesia, Poland, and its implications for health risk in populations / C. Dziubanek, R. Baranowska, M. Cwiela-Drabek, A. Spychara, A. Riekut, M. Rusin, Hajok. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, vol. 142, pp. 8-13.
20. Contamination of food crops grown on soils with elevated heavy metals content / C. Dziubanek, A. Piekut, M. Rusin, R. Baranowska, Hajok. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015, vol. 118, pp. 183-189.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 20.02.2025

Accepted: 02.06.2025

Дьякова Нина Алексеевна

Доктор фармацевтических наук, доцент кафедры фармацевтической технологии Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-0766-3881, e-mail: ninochka_v89@mail.ru

Епринцев Сергей Александрович

Кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-5266-9238, e-mail: esa81@mail.ru

Виноградов Павел Михайлович

Кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-6978-8463, e-mail: vinpaul89@gmail.com

Nina A. Dyakova

Dr. Sci. (Pharmacy), Assoc. Prof. at the Department of Pharmaceutical Technology, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-0766-3881, e-mail: ninochka_v89@mail.ru

Sergey A. Yeprinsev

Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof. at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-5266-9238, e-mail: esa81@mail.ru

Pavel M. Vinogradov

Cand. Sci. (Geogr.), Senior Lecturer at the Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-6978-8463, e-mail: vinpaul89@gmail.com