








DOI: <https://doi.org/10.23859/estr-240325>

EDN: <https://elibrary.ru/eustoz>

УДК 631.416.8

Научная статья

Эколого-геохимическое состояние естественных и антропогенно- преобразованных почв селитебных территорий г. Ростов-на-Дону

Н.В. Сальник¹ , С.С. Тагивердиев^{1*} , П.Н. Скрипников¹ ,
С.Н. Горбов^{1, 2} , О.С. Безуглова¹ 

¹ Южный федеральный университет, 344090, Россия, г. Ростов-на-Дону, пр-т Стачки, д. 194/1

² Чеченский государственный университет им А.А. Кадырова, 364034, Россия, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. Асланбека Шерипова, д. 32

*2s-t@mail.ru

Аннотация. Приводятся данные по оценке загрязнения тяжелыми металлами почв селитебных зон г. Ростов-на-Дону. Объектами исследования выступали почвы естественного происхождения – черноземы миграционно-сегрегационные мощные среднегумусированные тяжелосуглинистые на лессовидных суглинках и антропогенно-преобразованные почвы – урбостратифицированные черноземы и урбостратоземы на погребенных черноземах миграционно-сегрегационных на лессовидных суглинках. Сравнительный анализ с фоновым аналогом показал низкую степень загрязнения черноземов тяжелыми металлами ($Z_c = 4.5–6.0$). Наибольшее скопление поллютантов можно наблюдать в насыпных и антропогенно-преобразованных горизонтах. Максимальные значения K_c зарегистрированы в горизонтах «урбик» для кобальта ($K_c = 1.6–2.6$), меди ($K_c = 1.2–3.7$), цинка ($K_c = 1.6–6.7$) и свинца ($K_c = 1.5–6.1$). В целом прослеживается явная тенденция к снижению интенсивности загрязнения элементами нижележащих горизонтов, что свидетельствует о барьерных свойствах, проявляемых урбаноземами, за счет повышенной плотности урбиковых горизонтов. Основными поллютантами антропогенно-преобразованных почв выступают цинк и мышьяк, их содержание не превышает 2 ОДК, с учетом санитарно-гигиенических критериев данный тип почв характеризуется допустимым уровнем загрязнения ($Z_c < 16$). Под влиянием техногенной нагрузки в дневных горизонтах отмечены локальные очаги загрязнения медью в подвижной форме (16.6 ПДК), а также свинцом (5.3 ОДК). Несмотря на превышение ОДК поллютантов в трансформированных почвах селитебных зон, наличие урбогоризонтов, для которых характерна повышенная плотность, и карбонатных барьеров в погребенных черноземах замедляет миграцию металлов вглубь профиля, смягчая антропогенную нагрузку на черноземы.

Ключевые слова: миграционно-сегрегационные черноземы, урбостратоземы, урбостратифицированные черноземы, тяжелые металлы

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № FENW-2023-0008.

ORCID:

Н.В. Сальник, <https://orcid.org/0000-0001-7840-365X>

С.С. Тагивердиев, <https://orcid.org/0000-0003-4422-1094>

П.Н. Скрипников, <https://orcid.org/0000-0002-7726-2178>

С.Н. Горбов, <https://orcid.org/0000-0002-0174-1631>

О.С. Безуглова, <https://orcid.org/0000-0003-4180-4008>

Для цитирования: Сальник, Н.В. и др., 2025. Эколого-геохимическое состояние естественных и антропогенно-преобразованных почв селитебных территорий г. Ростов-на-Дону. *Трансформация экосистем* 8 (3), 35–63. <https://doi.org/10.23859/estr-240325>

Поступила в редакцию: 25.03.2024

Принята к печати: 09.06.2024

Опубликована онлайн: 01.08.2025






DOI: <https://doi.org/10.23859/estr-240325>

EDN: <https://elibrary.ru/eustoz>

UDC 631.416.8

Article

Ecological and geochemical state of natural and anthropogenically transformed soils of residential areas in Rostov-on-Don

N.V. Salnik¹ , S.S. Tagiverdiev^{1*} , P.N. Skripnikov¹ ,
S.N. Gorbov^{1, 2} , O.S. Bezuglova¹ 

¹ Southern Federal University, prospect Stachki 194/1, Rostov-on-Don, 344090 Russia

² Kadyrov Chechen State University, Aslanbek Sheripov St. 32, Grozny, Chechen Republic, 364034 Russia

*2s-t@mail.ru

Abstract. This paper assesses heavy metal pollution in soils of residential areas in Rostov-on-Don. The objects of the study were soils of natural origin – migration-segregation thick medium-humus heavy loamy chernozems on loess-like loams and anthropogenically transformed soils – urbostratified chernozems and urban stratozems on buried migration-segregation chernozems on loess-like loams. Comparative analysis with the background analog showed a low level of chernozems contamination by heavy metals ($Z_c = 4.5–6.0$). The greatest accumulation of pollutants was observed in bulk and anthropogenic transformed horizons. The maximum values of K_c were recorded in the urbic horizons for cobalt ($K_c = 1.6–2.6$), copper ($K_c = 1.2–3.7$), zinc ($K_c = 1.6–6.7$) and lead ($K_c = 1.5–6.1$). In general, there is a clear tendency towards decreasing levels of contamination of the underlying horizons by these elements, which indicates the barrier properties exhibited by urbanozems due to the increased

density of urban horizons. The primary pollutants of anthropogenically transformed soils are zinc and arsenic. Their concentrations do not exceed two APC. According to sanitary and hygienic standards, this type of soil is considered to have an acceptable level of pollution ($Z_c < 16$). Under the impact of anthropogenic load, localized contaminations with copper in mobile form (16.6 MPC) as well as lead (5.3 APC) were recorded in the uppermost horizons. Despite an excess of APC for pollutants in transformed soils of residential areas, the presence of urban horizons characterized by increased density, and carbonate barriers in buried chernozems slows down the migration of metals deep into the profile, thereby mitigating the anthropogenic load on black soil.

Keywords: migration-segregation chernozems, urban stratozems, urban stratified chernozems, heavy metals

Funding. This study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and carried out within the framework of the state assignment in the field of scientific activity, project No. FENW-2023-0008.

ORCID:

N.V. Salnik, <https://orcid.org/0000-0001-7840-365X>

S.S. Tagiverdiev, <https://orcid.org/0000-0003-4422-1094>

P.N. Skripnikov, <https://orcid.org/0000-0002-7726-2178>

S.N. Gorbov, <https://orcid.org/0000-0002-0174-1631>

O.S. Bezuglova, <https://orcid.org/0000-0003-4180-4008>

To cite this article: Salnik, N.V. et al., 2025. Ecological and geochemical state of natural and anthropogenically transformed soils of residential areas in Rostov-on-Don. *Ecosystem Transformation* 8 (3), 35–63. <https://doi.org/10.23859/estr-240325>

Received: 25.03.2024

Accepted: 09.06.2024

Published online: 01.08.2025

Введение

Деградация почв в условиях техногенной нагрузки является одной из актуальных проблем почвоведения и экологии (Danila and Saulius, 2017; Zhang et al., 2020). Нарастание индустриального потенциала мегаполисов неизбежно приводит к вовлечению химических веществ в ряд антропогенных превращений и, как следствие, их отрицательному воздействию на все звенья экосистемы, в том числе и на здоровье человека (Архипова и др., 2014; Sarwar et al., 2017).

К наиболее опасной категории загрязнения, способной оказывать влияние на весь биоценоз в целом, относят загрязнение почвы тяжелыми металлами (Li et al., 2019; Tchounwo et al., 2012). Загрязнение поверхностного слоя почвы тяжелыми металлами рассматривается в тесной связи с сопредельной воздушной средой. Как правило, оно связано с аэральным переносом выхлопных газов автотранспорта, а также выбросами промышленных предприятий. Кроме того, весомый вклад вносит формирование свалок и захоронение отходов деятельности человека.

Оценивая экологическое состояние почвы, необходимо учитывать форму нахождения металла в ней, поскольку токсическое действие определяется именно биодоступностью элемента. Попадая в почву, металлы переходят в подвижное состояние за счет процессов хелатирования гуминовыми кислотами и фульвокислотами либо сорбируются минералами и удерживаются как в обменном, так и необменном состоянии (Водяницкий, 2005; Bauer, et al., 2022; Kloster and Marcelo, 2015; Minkina, et al., 2018; Pinski and Minkina, 2013). Впоследствии подвижные формы тяжелых металлов включаются в биогеохимический цикл, будучи поглощены растениями, которые аккумуля-

лируют их в вегетативных органах. Избыточное содержание металлов в тканях растений может привести не только к нарушению механизмов гомеостаза растения, но и к последующему переходу этих элементов по трофическим уровням в организм человека, что в итоге отрицательно сказывается на его здоровье (Башкин и др., 1993; Gu et al., 2016).

Тем не менее некоторые почвенные параметры, в частности рН почвенного раствора, могут препятствовать переходу металла в мобильную форму. Стоит отметить, что в фитоценозах существуют механизмы, позволяющие предотвращать избыточное накопление и транслокацию металлов в надземную часть (Gonzalez Henao and Ghneim-Herrera, 2021; Verma et al, 2021; Wang et al., 2021). Авторы исследований по транслокации металлов в системе «почва-растение» отмечают, что основную роль в установлении физиологических барьеров растениями играет селективное поглощение элементов и их последующая аккумуляция в корневой части, а также изоляция металлов в металлотионеинах (Петухов и др., 2022; Чернская, 1989).

Понимание механизмов миграции тяжелых металлов в различных почвах дает бесценную геоэкологическую информацию относительно их профильного распределения и возможного загрязнения грунтовых вод, что особенно важно в условиях урбанизированных ландшафтов (Евстафьева и др., 2018; Жарикова, 2021; Issaka and Ashraf, 2017). Наиболее остро проблема геохимического загрязнения фиксируется в крупных городах, где демографический рост сопровождается увеличением доли промышленных предприятий. Например, в Ростове-на-Дону к таким предприятиям относится ряд компаний: лакокрасочное предприятие «Эмпилс», «Комбинат крупнопанельного домостроения», пивзаводы «Балтика» и «Солнечный».

Цель нашей работы заключалась в оценке геохимического состояния естественных и антропогенно-преобразованных почв селитебных территорий г. Ростов-на-Дону.

Материалы и методы

Ростов-на-Дону, являясь одним из густонаселенных городов юга России, претерпел значительные изменения в локализации промышленных предприятий. С целью снижения техногенной нагрузки на селитебные зоны города большинство предприятий было перенесено на левый берег р. Дон; тем самым создавалась гидропреграда между промышленными и жилыми районами. Мониторинговые исследования биогеохимического состояния почв Ростова-на-Дону проводились в различные временные периоды с привязкой к функциональным зонам города (Горбов и др., 2015а, b; Дубинина и др., 2016; Соборникова и Кизильштейн, 1990; Bezuglova et al., 2019). В работе С.Н. Горбова и др. (2015b) на основе комплексной диагностики было доказано отсутствие корреляционной зависимости между показателями генотоксичности различных типов почв и содержанием тяжелых металлов.

В связи с характером землепользования на территории города сложились урбостратоземы, состоящие из антропогенных горизонтов и сформированные на погребенных черноземах. Однако в различных районах города все еще можно обнаружить сохранившие первоначальный облик нативные почвы – черноземы миграционно-сегрегационные. В процессе урбопедогенеза почвы города приобретают определенные черты, связанные с трансформацией морфологических, физических и химических свойств почвы. Отмечено, что в урбостратоземах и урбостратифицированных черноземах уменьшается мощность гумусово-аккумулятивной толщи, а также глубины залегания белоглазки в сравнении с черноземами миграционно-сегрегационными (Тагивердиев и др., 2021). Характерный для региона умеренно-континентальный климат с довольно жарким и засушливым летом значительно влияет на миграцию карбонатов в почвенном профиле, что обуславливает зоны большого скопления солей и определенным образом сказывается на распределении металлов (Безуглова и др., 2019; Минаева и др., 2021).

Объектами исследования выступали почвы естественного происхождения – черноземы миграционно-сегрегационные мощные среднегумусированные тяжелосуглинистые на лессовидных суглинках (скважины P20-35, P21-42) и антропогенно-преобразованные почвы – урбостратифицированные черноземы и урбостратоземы на погребенных черноземах миграционно-сегрегационных на лессовидных суглинках (скважины P20-28, P20-37, P21-39, P21-40, P21-43, P21-44, P21-46, P21-49, P20-24-1), а также урбостратоземы реплантационные (скважины P20-36, P20-38) (Табл. 1). Скважины бурили в функциональных селитебно-транспортных зонах, охватывающих наиболее промышленно активные районы города: Советский, Железнодорожный, Октябрьский, Пролетарский, Ворошиловский и Ленинский (Рис. 1).

С целью оценки возможности миграции тяжелых металлов в нижележащие слои образцы почвы отбирали из всех генетических горизонтов и антропогенных слоев.

Элементный состав почв определялся рентген-флуоресцентным методом с использованием прибора «Spectroscan MAKS-GVM» (Россия). Концентрацию подвижных форм металлов в почве измеряли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе МГА-915 (Россия). Экстракцию подвижных форм металлов проводили с использованием ацетатно-аммонийного буфера (pH = 4.8), соотношение почва : экстрагент 1:10.

Табл. 1. Географические координаты точек пробоотбора и основные характеристики почв г. Ростов-на-Дону.

Номер скважины/ Координаты расположения	Тип почв в соответствии с классификацией WRB (2014) и КиДПР (Шишлов и др., 2004)	Глубина, см	C _{орг} , % (Sleutel et al., 2007)	pH _{вод.}
P17-01/ N 47°14'03.24" E 39°39'25.87"	Calcic Chernozems Чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый	0–10	3.12	8.0
		10–50	1.89	8.4
		50–70	1.32	8.5
		70–95	0.93	8.6
		95–120	0.86	8.6
P20-24-1/ N 47°15'19.50" E 39°42'38.60"	Urbic Technosols Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом	120–150	0.53	8.7
		0–10	2.68	6.9
		10–20	2.51	7.3
		20–30	1.93	7.1
P20-28/ N 47°13'54.64" E 39°44'55.85"	Urbic Technosols Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом	30–50	1.14	7.3
		0–10	3.85	7.1
		10–20	1.61	7.1
P20-35/ N 47°11'59.57" E 39°37'13.93"	Calcic Chernozems Чернозем миграционно-сегрегационный мощный среднегумусированный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке	20–30	2.20	7.2
		30–50	0.83	6.8
		0–10	1.84	7.1
		10–20	1.66	7.8
P20-35/ N 47°11'59.57" E 39°37'13.93"	Calcic Chernozems Чернозем миграционно-сегрегационный мощный среднегумусированный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке	20–30	1.51	7.1
		30–50	1.28	7.8
		50–70	0.69	7.7
		70–90	0.57	8.0
P20-35/ N 47°11'59.57" E 39°37'13.93"	Calcic Chernozems Чернозем миграционно-сегрегационный мощный среднегумусированный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке	90–100	2.40	7.7

Номер скважины/ Координаты расположения	Тип почв в соответствии с классификацией WRB (2014) и КиДПР (Шишлов и др., 2004)	Глубина, см	C _{орг} , % (Sleutel et al., 2007)	pH _{вод.}
P20-36/ N 47°13'50.34" E 39°37'4.29"	Urbic Technosols Урбостратозем реплантированный тяжелосуглинистый	0–15	1.26	7.8
		15–30	3.11	8.0
P20-37/ N 47°14'9.26" E 39°38'3.59"	Urbic Technosols Урбостратозем среднесуглинистый на черноземе миграционно-сегрегационном среднемощном среднегумусированном тяжелосуглинистом	0–10	2.76	8.0
		10–20	1.99	7.5
		20–30	2.01	7.9
		30–40	2.05	7.9
		40–50	1.74	7.7
		50–70	1.41	7.9
		70–90	0.94	7.9
		90–100	0.66	8.0
P20-38/ N 47°13'35.60" E 39°37'54.66"	Urbic Technosols Урбостратозем реплантированный тяжелосуглинистый	100–110	2.90	8.1
		0–10	2.20	7.2
		10–20	1.70	7.8
		20–30	0.75	7.9
P21-39/ N 47°12'54.66" E 39°40'28.87"	Urbic Technosols Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном тяжелосуглинистом	30–50	1.04	7.7
		0–20	2.76	8.0
		20–50	1.71	8.5
		50–70	1.18	9.1
P21-40/ N 47°13'26.45" E 39°42'13.42"	Urbic Technosols Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом	70–90	0.98	8.6
		90–100	0.79	8.5
		100–120	0.14	7.4
		0–25	1.64	7.8
P21-40/ N 47°13'26.45" E 39°42'13.42"	Urbic Technosols Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом	25–50	1.90	8.4
		50–70	0.38	8.2
		70–80	1.41	7.5
		80–110	0.83	7.8

Номер скважины/ Координаты расположения	Тип почв в соответствии с классификацией WRB (2014) и КиДГПР (Шишлов и др., 2004)	Глубина, см	C _{орг} , % (Sleutel et al., 2007)	pH _{вод.}
P21-42/ N 47°14'18.45" E 39°48'38.29"	Calcic Chernozems Чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый	0–20	1.40	7.5
		20–50	1.41	7.8
		50–60	1.45	7.5
		60–75	0.3	7.8
		75–90	0.45	8.3
		90–120	0.29	8.1
P21-43/ N 47°14'8.29" E 39°49'44.96"	Urbic Technosols Урбистратифицированный чернозем миграционно-сегрегационный среднесуглинистый	0–10	3.14	7.5
		10–20	2.22	7.6
		20–40	1.77	7.3
		40–60	1.44	7.3
		60–80	1.32	7.8
		80–100	0.58	7.5
P21-44/ N 47°14'30.08" E 39°50'19.38"	Urbic Technosols Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом	100–120	0.6	8.3
		0–10	1.74	7.9
		10–30	0.55	7.9
		30–50	0.92	7.6
		50–70	1.35	7.9
P21-46/ N 47°12'26.56" E 39°38'25.16"	Urbic Technosols Урбистратифицированный чернозем миграционно-сегрегационный среднесуглинистом	70–90	1.11	7.8
		90–120	0.92	8.9
		0–20	1.9	7.7
		20–40	1.05	9.2
		40–65	1.08	7.9
P21-49/ N 47°15'42.76" E 39°40'3.78"	Urbic Technosols Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном тяжелосуглинистом	65–90	0.71	8.0
		90–120	0.19	7.9
		0–20	1.98	8.0
		20–50	0.46	7.8
		50–60	2.55	7.7
		60–90	3.58	7.7
		90–100	0.94	7.9

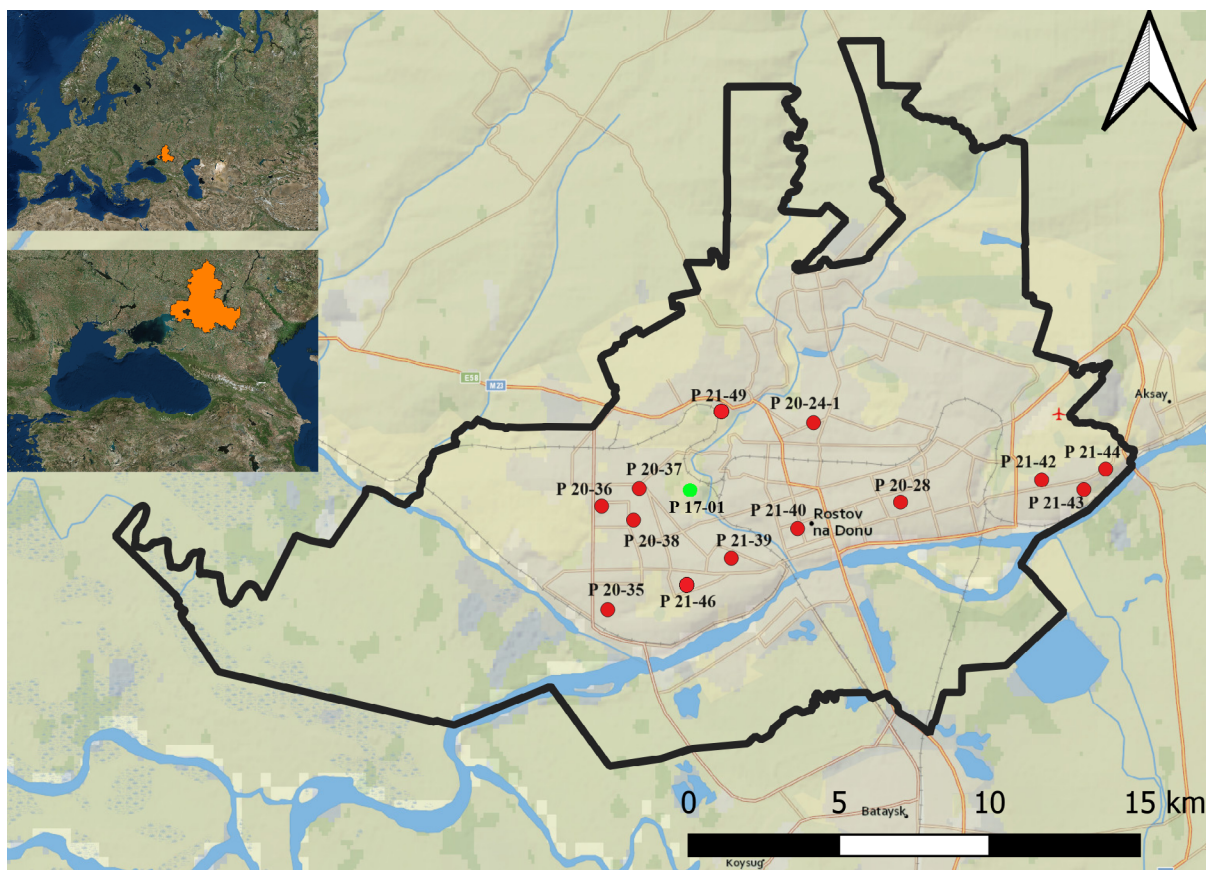


Рис. 1. Картограмма расположения точек отбора проб г. Ростов-на-Дону (красными точками обозначены скважины антропогенно-преобразованных почв, зелеными – нативная почва фонового разреза).

Для оценки степени загрязнения рассчитывали следующие коэффициенты:

коэффициент опасности

$$K_o = \frac{C_i}{\text{ПДК}};$$

коэффициент техногенной концентрации

$$K_c = \frac{C_i}{C_{fi}};$$

суммарный показатель загрязнения

$$Z_c = \sum K_{Ci} - (n-1),$$

где C_i – концентрация элемента, C_{fi} – фоновая концентрация этого же элемента, n – количество загрязняющих веществ.

В качестве фоновой концентрации использовали данные о содержании элементов в черноземах миграционно-сегрегационных в 1950-е гг. (Акимцев и др., 1962). Для сравнения были взяты условно-фоновые концентрации металлов в почвенном разрезе P17-01, заложенном в Ботаническом саду Южного федерального университета (ЮФУ).

Для выявления закономерностей накопления или выноса элементов в черноземах миграционно-сегрегационных рассчитывали коэффициенты выноса/накопления (ЕА) как отношение концентрации металла в исследуемом горизонте к его содержанию в породе.

Математическую обработку данных осуществляли с помощью общепринятых методов вариационной статистики с использованием пакета программ Microsoft Excel 2016 и Statistica 13.0.

Результаты

Для оценки степени загрязнения естественных почв селитебной зоны города содержание металлов в валовой форме сравнили с фоновыми значениями, полученными для почвы Ботанического сада ЮФУ (Табл. 2). Анализ проводился для поверхностного слоя (0–10 см), поскольку именно в нем наиболее выражены изменения степени загрязнения почвы и потенциальные экологические риски. Обнаружено, что показатель Z_c для фона превышает таковой для почв города. Данный феномен может объясняться привнесением фракций крупного и среднего песка на глубину 0–10 см, например, с противогололедными реагентами, что способно приводить к снижению общего содержания металлов. В более ранней работе авторы показывали, что в результате процессов урбопедогенеза во всех изученных почвах Ростовской агломерации в поверхностных и срединных горизонтах черноземов увеличивается доля песчаных фракций (Безуглова и др., 2018). С другой стороны, более высокое содержание микроэлементов в поверхностном слое фоновой почвы в сравнении с почвами города может быть вызвано поступлением металлов с листовым опадом, в котором они накапливаются в процессе вегетации.

Наибольшее скопление поллютантов можно наблюдать в насыпных и антропогенно-преобразованных горизонтах (Табл. 3, 4). Максимальные значения K_c зарегистрированы в горизонтах «урбик» для кобальта ($K_c = 1.6–2.6$), меди ($K_c = 1.2–3.7$), цинка ($K_c = 1.6–6.7$) и свинца ($K_c = 1.5–6.1$). Однако концентрации отдельных элементов могут значительно различаться между разными горизонтами и скважинами. В целом прослеживается явная тенденция к снижению интенсивности загрязнения элементами нижележащих горизонтов, что свидетельствует о барьерных свойствах, проявляемых урбаноземами. Оценка выноса/накопления по соотношению концентрации элемента в генетическом горизонте с его концентрацией в породе показала аккумуляцию цинка и свинца в поверхностном слое почвы данной селитебной территории, что является следствием техногенного воздействия (Табл. 5). В частности, это заметно для скважины P20-35, причем при движении вниз по профилю величины EA заметно уменьшаются. В целом в поверхностных горизонтах большинство элементов проявляют показатели умеренного накопления ($EA = 1.1–1.4$).

Как в качественном, так и в количественном отношении аккумуляция и распределение элементов в генетических горизонтах скважины P21-42 во многом сопоставимы с показателями фона, а полученные значения Z_c (Табл. 2) и EA (Табл. 5) свидетельствуют о допустимой степени загрязнения тяжелыми металлами данной территории (в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21¹) и их умеренном накоплении. Таким образом, наблюдаемые нами закономерности накопления и распределения микроэлементов в почвенной толще черноземов миграционно-сегрегационных дают понять, что во многом ощутимое влияние на естественные почвы города оказывает их близость к источникам загрязнения.

Значения Z_c как для урбостратоземов, так и для урбостратифицированных черноземов превышают единицу и варьируют в довольно широком диапазоне, причем в разных концах одного района Z_c колеблется от 3.3 (мкрн. Александровка, Пролетарский район, скважина P21-44) до 16.8 (мкрн. Нахичевань, Пролетарский район, скважина P20-28), что очевидно объясняется различной удаленностью территорий от источника техногенного загрязнения (Табл. 3). В последнем случае уровень загрязнения на глубине 0–10 см оценивается как умеренно опасный, причем наибольший вклад в загрязнение вносят цинк и свинец. По шкале опасности допустимому уровню загрязнения соответствуют Советский ($Z_c = 7.2–8.2$), Октябрьский ($Z_c = 6.1$), Железнодорожный ($Z_c = 8.4$), Пролетарский ($Z_c = 3.3–16.8$) и Ленинский ($Z_c = 7.9–8.1$) районы города. Таким образом, почвы селитебных зон города характеризуются незначительным загрязнением металлами. Элементы распределены относительно равномерно практически по всему профилю, включая материнскую породу, и их концентрации не выходят за рамки ОДК¹; исключение составляют лишь цинк, мышьяк и хром.

Обсуждение результатов

Анализ валовых форм металлов позволил выявить превышение цинка относительно значений ОДК (Табл. 4) в поверхностных горизонтах урбостратоземов и урбостратифицированных черноземов в скважинах P20-28 (2 ОДК), P20-37 (1.4 ОДК), P21-40 (1.4 ОДК) и P21-46 (1.1 ОДК). Столь высокое содержание цинка связано с аэрогенным привнесением металла в почву. Начиная

¹ СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

Табл. 2. Коэффициенты концентрации валовых форм металлов (K_c) и суммарные показатели загрязнения (Z_c) черноземов миграционно-сегрегационных.

Глубина, см	Элемент											Z_c	
	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb			
Чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый Ботанического сада ЮФУ Р17-01													
0–10	1.75	1.59	1.60	1.51	1.29	1.78	3.83	1.59	0.47			1.83	8.77
10–50	1.98	1.33	1.64	1.89	1.27	1.80	2.91	1.22	0.47			1.27	7.31
50–70	1.69	1.25	1.44	2.49	1.28	1.94	2.87	0.63	0.56			0.40	6.94
70–95	1.69	1.05	1.24	2.38	1.09	1.93	2.72	0.98	0.66			0.91	6.11
95–120	1.56	1.39	1.19	2.21	1.01	1.85	2.51	1.01	0.72			0.95	5.73
120–150	1.67	1.12	1.33	2.59	1.08	2.11	2.81	1.15	0.86			1.17	7.03
Чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый Р21-42													
0–20	1.20	1.34	1.22	2.11	1.00	1.27	1.44	1.44	0.46			0.83	4.02
20–50	1.36	1.24	1.37	2.67	0.96	1.16	0.98	0.86	0.45			1.22	4.01
50–60	1.41	0.94	1.31	2.97	0.94	1.05	0.87	0.77	0.43			1.44	4.17
60–75	1.31	1.15	1.12	2.38	1.04	1.44	0.93	1.12	0.58			1.07	3.62
75–90	1.38	1.08	1.13	2.16	1.03	1.33	0.97	1.20	0.58			0.82	3.31
90–120	1.26	0.98	1.02	2.37	0.89	1.51	0.95	1.44	0.76			1.07	3.67
Чернозем миграционно-сегрегационный мощный среднегумусированный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке Р20-35													
0–10	1.18	0.91	1.24	2.62	0.77	0.91	2.24	0.76	0.46			3.22	6.49
10–20	1.14	0.97	1.15	1.81	0.79	1.25	2.14	1.17	0.45			2.18	4.84
20–30	1.07	0.96	1.18	1.84	0.79	1.16	1.73	1.15	0.42			2.02	4.15
30–50	1.27	0.91	1.12	2.75	0.82	0.83	1.15	0.73	0.40			1.49	3.78
50–70	1.15	1.02	0.99	2.83	0.79	1.00	0.99	0.83	0.43			1.18	3.19
70–90	1.16	0.73	0.95	2.20	0.70	0.94	0.97	0.83	0.47			1.07	2.43
90–дно	0.90	0.76	0.88	1.96	0.74	0.86	0.95	0.94	0.52			0.97	1.96

Табл. 3. Коэффициенты концентрации тяжелых металлов (K_c) и суммарные показатели загрязнения (Z_c) антропогенно-преобразованных почв.

Глубина, см	Элемент											Z_c
	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb		
Урбостратозем среднесуглинистый на черноземе миграционно-сегрегационном среднемощном среднегумусированном тяжелосуглинистом P20-37 (Советский район)												
0–10	1.26	1.07	1.22	1.64	0.87	1.23	4.89	1.17	0.60	1.68	7.16	
10–20	1.28	1.03	1.23	2.22	0.85	1.26	3.84	0.86	0.57	1.67	6.53	
20–30	1.34	0.93	1.40	1.46	0.93	1.16	3.25	0.80	0.53	1.61	5.23	
30–40	1.27	0.99	1.42	2.03	1.05	1.28	2.45	1.18	0.54	1.25	4.93	
40–50	1.37	1.16	1.70	2.02	1.21	1.10	1.45	0.82	0.52	1.77	4.76	
50–70	1.31	1.24	1.61	2.05	1.19	0.99	1.35	0.48	0.49	1.78	4.53	
70–90	1.52	1.17	1.53	2.01	1.20	1.01	1.25	0.70	0.49	1.93	4.62	
90–100	1.25	1.23	1.49	2.30	1.14	1.07	1.20	0.63	0.52	1.65	4.32	
100–110	1.22	1.02	1.40	2.05	1.10	1.05	1.17	0.96	0.57	1.38	3.40	
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном тяжелосуглинистом P21-39 (Железнодорожный район)												
0–20	1.07	0.95	1.20	2.21	0.90	1.61	3.35	1.51	0.67	3.46	8.42	
20–50	1.39	1.18	1.19	2.11	0.96	1.50	1.80	1.50	0.63	1.49	5.16	
50–70	1.26	1.47	1.20	1.47	1.04	1.27	1.08	1.35	0.57	1.01	3.16	
70–90	1.19	0.87	1.13	2.19	0.97	1.31	0.98	1.10	0.59	1.03	2.94	
90–100	1.48	0.98	1.05	1.95	0.91	1.43	0.92	1.31	0.62	1.18	3.39	
100–120	1.37	1.00	1.05	2.14	0.91	1.34	0.95	0.91	0.68	1.06	2.97	
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P21-40 (Ленинский район)												
0–25	0.62	0.73	0.69	2.56	0.50	1.59	4.59	0.55	0.70	2.14	7.87	
25–50	1.29	1.12	1.60	2.68	0.94	1.91	2.19	2.07	0.91	3.70	9.56	
50–70	0.67	0.74	1.26	2.03	0.79	2.20	1.33	2.55	1.00	4.04	8.41	
70–80	1.39	0.98	1.40	2.18	1.00	1.41	1.17	1.28	0.62	2.25	5.09	
80–110	1.54	1.36	1.41	2.42	1.07	1.26	1.06	0.73	0.51	1.74	4.86	
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P21-44 (Пролетарский район)												
0–10	0.65	1.06	0.99	1.55	0.67	1.36	1.61	1.24	0.46	1.48	3.30	

Глубина, см	Элемент											Z _c
	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb		
10–30	1.05	0.98	1.12	2.00	0.89	1.51	1.06	0.98	0.59	1.59		3.33
30–50	1.36	1.52	1.33	2.87	0.92	1.42	1.06	1.18	0.57	1.49		5.22
50–70	1.34	1.47	1.47	2.31	1.01	1.32	1.28	1.20	0.51	1.34		4.74
70–90	1.24	1.37	1.42	2.40	0.98	1.44	1.05	1.40	0.48	1.31		4.63
90–120	1.34	1.01	1.16	2.69	1.01	1.49	0.98	1.04	0.52	1.07		3.82
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом Р21–46 (Советский район)												
0–20	1.13	1.03	1.08	2.02	0.76	1.35	3.65	0.61	0.48	3.90		8.16
20–40	1.28	1.03	1.39	3.12	0.92	1.51	1.92	1.12	0.56	1.63		6.00
40–65	1.02	0.98	1.37	2.84	0.94	1.60	1.63	1.08	0.53	1.49		5.03
65–90	1.19	1.14	1.17	2.73	1.03	1.41	1.45	0.74	0.54	1.36		4.47
90–120	1.10	1.19	1.05	3.13	0.89	1.51	0.98	1.43	0.59	1.11		4.52
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном тяжелосуглинистом Р21–49 (Октябрьский район)												
0–20	1.53	1.05	1.67	1.99	1.22	1.50	1.45	1.02	0.56	2.64		6.07
20–50	0.98	0.91	1.12	1.63	0.77	1.80	1.78	0.69	0.59	2.06		4.39
50–60	1.12	0.91	1.33	1.74	1.08	2.00	6.21	1.21	0.65	1.76		9.44
60–90	0.90	0.87	1.18	1.09	1.16	2.16	11.94	1.66	0.65	1.48		14.67
90–100	1.19	0.99	1.27	1.29	1.11	1.87	2.68	1.71	0.57	1.03		5.16
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом Р20–24-1 (Ленинский район)												
0–10	1.57	1.51	1.87	3.18	1.39	1.68	1.54	0.55	0.54	2.33		8.07
10–20	1.46	1.05	1.80	1.72	1.29	1.65	2.16	1.36	0.58	1.71		6.18
20–30	1.39	1.28	1.57	1.35	1.14	2.06	4.09	2.39	0.69	5.53		12.80
30–50	1.24	1.26	1.34	1.46	1.13	1.82	1.51	1.42	0.66	1.30		4.46
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом Р20–28 (Пролетарский район)												
0–10	0.94	1.21	1.75	1.55	0.97	3.74	6.72	1.81	0.74	6.07		16.84
10–20	0.82	0.96	1.43	1.32	0.80	3.27	3.43	2.77	1.29	3.46		10.98
20–30	1.28	0.89	1.33	2.79	0.82	2.77	3.30	1.72	1.04	3.85		11.08
30–50	0.53	0.73	0.93	1.88	0.57	1.26	1.56	0.65	0.88	1.70		3.40

Табл. 4. Величины коэффициента опасности (K_c) валовых форм металлов в антропогенно-преобразованных почвах.

Глубина, см	Элемент									
	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
Урбостратозем среднесуглинистый на черноземе миграционно-сегрегационном среднемощном среднегумусированном тяжелосуглинистом P20-37										
0–10	0.56	1.07	0.45	0.26	0.49	0.28	1.45	0.94	0.30	0.26
10–20	0.57	1.03	0.45	0.35	0.48	0.29	1.14	0.69	0.28	0.26
20–30	0.60	0.93	0.51	0.23	0.52	0.26	0.96	0.64	0.26	0.25
30–40	0.57	0.99	0.52	0.33	0.59	0.29	0.72	0.95	0.27	0.19
40–50	0.61	1.16	0.62	0.32	0.68	0.25	0.43	0.66	0.26	0.27
50–70	0.59	1.24	0.59	0.33	0.67	0.23	0.40	0.39	0.25	0.27
70–90	0.68	1.17	0.56	0.32	0.67	0.23	0.37	0.56	0.24	0.30
90–100	0.56	1.23	0.55	0.37	0.64	0.24	0.36	0.50	0.26	0.25
100–110	0.55	1.02	0.52	0.33	0.62	0.24	0.35	0.77	0.28	0.21
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном тяжелосуглинистом P21-39										
0–20	0.48	0.95	0.44	0.35	0.51	0.37	0.99	1.21	0.33	0.53
20–50	0.62	1.18	0.44	0.34	0.54	0.34	0.53	1.20	0.32	0.23
50–70	0.56	1.47	0.44	0.24	0.58	0.29	0.32	1.08	0.28	0.16
70–90	0.53	0.87	0.42	0.35	0.55	0.30	0.29	0.88	0.29	0.16
90–100	0.66	0.98	0.38	0.31	0.51	0.32	0.27	1.05	0.31	0.18
100–120	0.61	1.00	0.38	0.34	0.51	0.30	0.28	0.73	0.34	0.16
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P21-40										
0–25	0.28	0.73	0.25	0.41	0.28	0.36	1.35	0.44	0.35	0.33
25–50	0.58	1.12	0.59	0.43	0.53	0.43	0.65	1.66	0.46	0.57
50–70	0.30	0.74	0.46	0.32	0.44	0.50	0.39	2.04	0.50	0.62
70–80	0.62	0.98	0.51	0.35	0.56	0.32	0.35	1.03	0.31	0.35
80–110	0.69	1.36	0.52	0.39	0.60	0.29	0.31	0.58	0.26	0.27
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P21-44										
0–10	0.29	1.06	0.36	0.25	0.38	0.31	0.47	0.99	0.23	0.23

Глубина, см	Элемент									
	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
10–30	0.47	0.98	0.41	0.32	0.50	0.34	0.31	0.78	0.30	0.24
30–50	0.61	1.52	0.49	0.46	0.52	0.32	0.31	0.94	0.29	0.23
50–70	0.60	1.47	0.54	0.37	0.57	0.30	0.38	0.96	0.25	0.21
70–90	0.55	1.37	0.52	0.38	0.55	0.33	0.31	1.12	0.24	0.20
90–120	0.60	1.01	0.43	0.43	0.57	0.34	0.29	0.83	0.26	0.16
Урбистратифицированный чернозем миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P21-46										
0–20	0.51	1.03	0.40	0.32	0.43	0.31	1.08	0.49	0.24	0.60
20–40	0.57	1.03	0.51	0.50	0.52	0.34	0.57	0.89	0.28	0.25
40–65	0.46	0.98	0.50	0.45	0.53	0.36	0.48	0.86	0.27	0.23
65–90	0.53	1.14	0.43	0.44	0.58	0.32	0.43	0.59	0.27	0.21
90–120	0.49	1.19	0.39	0.50	0.50	0.34	0.29	1.14	0.30	0.17
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном тяжелосуглинистом P21-49										
0–20	0.69	1.05	0.61	0.32	0.69	0.34	0.43	0.81	0.28	0.41
20–50	0.44	0.91	0.41	0.26	0.43	0.41	0.52	0.55	0.29	0.32
50–60	0.50	0.91	0.49	0.28	0.61	0.45	1.83	0.97	0.33	0.27
60–90	0.40	0.87	0.43	0.17	0.65	0.49	3.53	1.33	0.33	0.23
90–100	0.53	0.99	0.47	0.21	0.63	0.42	0.79	1.37	0.29	0.16
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P20-24-1										
0–10	0.70	1.51	0.69	0.51	0.78	0.38	0.46	0.44	0.27	0.36
10–20	0.65	1.05	0.66	0.28	0.72	0.37	0.64	1.09	0.29	0.26
20–30	0.62	1.28	0.58	0.22	0.64	0.47	1.21	1.91	0.35	0.85
30–50	0.55	1.26	0.49	0.23	0.63	0.41	0.45	1.13	0.33	0.20
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P20-28										
0–10	0.42	1.21	0.64	0.25	0.54	0.85	1.99	1.44	0.37	0.93
10–20	0.37	0.96	0.52	0.21	0.45	0.74	1.01	2.21	0.65	0.53
20–30	0.57	0.89	0.49	0.45	0.46	0.63	0.97	1.38	0.52	0.59
30–50	0.24	0.73	0.34	0.30	0.32	0.29	0.46	0.52	0.44	0.26

Глубина, см	Элемент										
	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb	
Урбостратозем среднесуглинистый на черноземе миграционно-сегрегационном среднемощном среднелугуслиновом тяжелосуглинистом Р20-37 (Советский район)											
0–10	1.0	1.1	0.9	0.8	0.8	1.2	4.2	1.2	1.1	1.2	1.2
10–20	1.1	1.0	0.9	1.1	0.8	1.2	3.3	0.9	1.0	1.2	1.2
20–30	1.1	0.9	1.0	0.7	0.8	1.1	2.8	0.8	0.9	1.2	1.2
30–40	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	2.1	1.2	1.0	0.9	0.9
40–50	1.1	1.1	1.2	1.0	1.1	1.0	1.2	0.8	0.9	1.3	1.3
50–70	1.1	1.2	1.1	1.0	1.1	0.9	1.2	0.5	0.9	1.3	1.3
70–90	1.2	1.2	1.1	1.0	1.1	1.0	1.1	0.7	0.9	1.4	1.4
90–100	1.0	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.6	0.9	1.2	1.2
100–110	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном тяжелосуглинистом Р21-39 (Железнодорожный район)											
0–20	0.8	1.0	1.1	1.0	1.0	1.2	3.5	1.7	1.0	3.3	3.3
20–50	1.0	1.2	1.1	1.0	1.1	1.1	1.9	1.6	0.9	1.4	1.4
50–70	0.9	1.5	1.1	0.7	1.1	0.9	1.1	1.5	0.8	1.0	1.0
70–90	0.9	0.9	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0	1.2	0.9	1.0	1.0
90–100	1.1	1.0	1.0	0.9	1.0	1.1	1.0	1.4	0.9	1.1	1.1
100–120	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом Р21-40 (Ленинский район)											
0–25	0.4	0.5	0.5	1.1	0.5	1.3	4.3	0.8	1.4	1.2	1.2
25–50	0.8	0.8	1.1	1.1	0.9	1.5	2.1	2.8	1.8	2.1	2.1
50–70	0.4	0.5	0.9	0.8	0.7	1.7	1.3	3.5	1.9	2.3	2.3
70–80	0.9	0.7	1.0	0.9	0.9	1.1	1.1	1.8	1.2	1.3	1.3
80–110	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом Р21-44 (Пролетарский район)											
0–10	0.5	1.0	0.8	0.6	0.7	0.9	1.6	1.2	0.9	1.4	1.4
10–30	0.8	1.0	1.0	0.7	0.9	1.0	1.1	0.9	1.1	1.5	1.5

с 1926 г. на территории города функционировал химический завод по производству цинковых белил (ныне ОАО «Эмпилс»), который служил основным источником загрязнения поверхностного слоя почвы цинком. Позже завод был перенесен в северо-западную промзону, однако оставшийся производственный цех в центральной части города по-прежнему функционирует. Тем не менее за прошедшие годы вследствие значительного снижения атмосферной нагрузки наблюдается размывание зон аномально высоких концентраций и увеличение площади распространения металла (Приваленко и Безуглова, 2003). Миграция цинка вниз по профилю заметно сокращается, что обусловлено его специфической сорбцией карбонатами кальция и магния. Значительное загрязнение нижней части профиля цинком в урбостратоземе на погребенном черноземе отмечено в скважине P21-49 на глубине 50–60 см (1.8 ОДК) и 90–100 см (3.5 ОДК). Данное явление можно объяснить накоплением этого металла еще до погребения почвы под слоем техногенного горизонта.

В отношении мышьяка горизонты «урбик» характеризуются превышением ОДК в скважинах P21-39 (1.2 ОДК), P21-40 (1.7 ОДК), P20-28 (1.4 ОДК). При этом поллютант накапливается в поверхностном горизонте; следовательно, загрязнение этим элементом происходит в настоящее время. Вероятнее всего, металлоид поступает в почву с атмосферными осадками, несущими в себе выбросы действующих предприятий на территории города. Высокое содержание мышьяка также зафиксировано в срединных горизонтах скважин P21-49 (1.3 ОДК) и P20-24-1 (1.9 ОДК) и может быть объяснено хемосорбцией элемента на карбонатных минералах.

Поскольку нормативы ОДК хрома в почвах России не разработаны, довольно сложно судить о наличии локальных загрязнений почвы. Содержание хрома в почве зависит от нескольких факторов, среди которых обычно выделяют минералогический состав почвенных пород, процессы дегумификации, обусловленные антропогенной деятельностью, а также климатические условия (Бугаев, 2015; Дубовик и Дубовик, 2016; Лукин, 2011; Лукин и Хижняк, 2016; Сергеев и др., 2017). Отмечается накопление металла в поверхностных горизонтах, а также в срединных и нижних слоях почвы, при этом в Ростовской области на фоновых участках содержание хрома в валовой форме может достигать 250–300 мг/кг (Приваленко и Безуглова, 2003). Исходя из этого, на наш взгляд, логичнее всего провести качественную оценку накопления металла. Накопление хрома в верхних слоях почвы может быть связано с деятельностью машинно- и приборостроительных заводов, сжиганием органического топлива, общей деградацией почвы селитебной зоны, вызывающей высвобождение хрома из комплексов с гуминовыми кислотами, а в срединных и нижних слоях – присутствием в черноземах вторичных минералов, например монтмориллонита, который способен адсорбировать хром на своей поверхности.

Таким образом, можно заключить, что нативные и антропогенно-преобразованные почвы селитебных зон характеризуются умеренной степенью загрязнения и обладают различными барьерными механизмами, позволяющими сохранить устойчивое эколого-геохимическое состояние погребенных черноземов. Однако воздушно-пылевая миграция поллютантов создает риск здоровью населения и способна не только ухудшить условия жизни городских жителей, но и понизить инвестиционную привлекательность жилых зон.

С целью сравнения распределения тяжелых металлов по глубине в естественных и антропогенно-преобразованных почвах была проведена статистическая обработка данных по валовому содержанию цинка, меди и свинца – основных поллютантов, оказывающих значительное влияние на растительность. Были построены диаграммы размаха (Рис. 2) и рассеяния (Рис. 3), которые демонстрируют довольно большой разброс значений в урбогоризонтах селитебных территорий в сравнении с естественными почвами. При этом концентрации элементов в погребенных горизонтах близки к соответствующим в горизонтах естественных почв, а урбогоризонты характеризуются высоким загрязнением. В естественных почвах обнаружена прямая корреляционная зависимость содержания меди от глубины почвенного горизонта. Для цинка и свинца отмечена обратная зависимость (Табл. 6).

С экологической точки зрения активное влияние на фитоценоз оказывает не столько рост содержания тяжелых металлов в валовых формах, сколько увеличение в почвах их подвижности. Высокие концентрации меди в обменной форме наблюдаются практически во всех урбогоризонтах (Рис. 4); кроме того, отмечены пики и в нижележащих слоях, что может объясняться как вовлеченностью органических веществ почвы во взаимодействие с медью, так и специфической сорбцией меди карбонатными минералами. Локальные зоны высококонтрастного загрязнения на глубине 0–25 см скважины P21-40 (5.6 ОДК) и глубинах 20–50 см (16.4 ОДК) и 50–60 см (16.2 ОДК) скважины P21-49 свидетельствуют о техногенном характере загрязнения и, как следствие, о при-

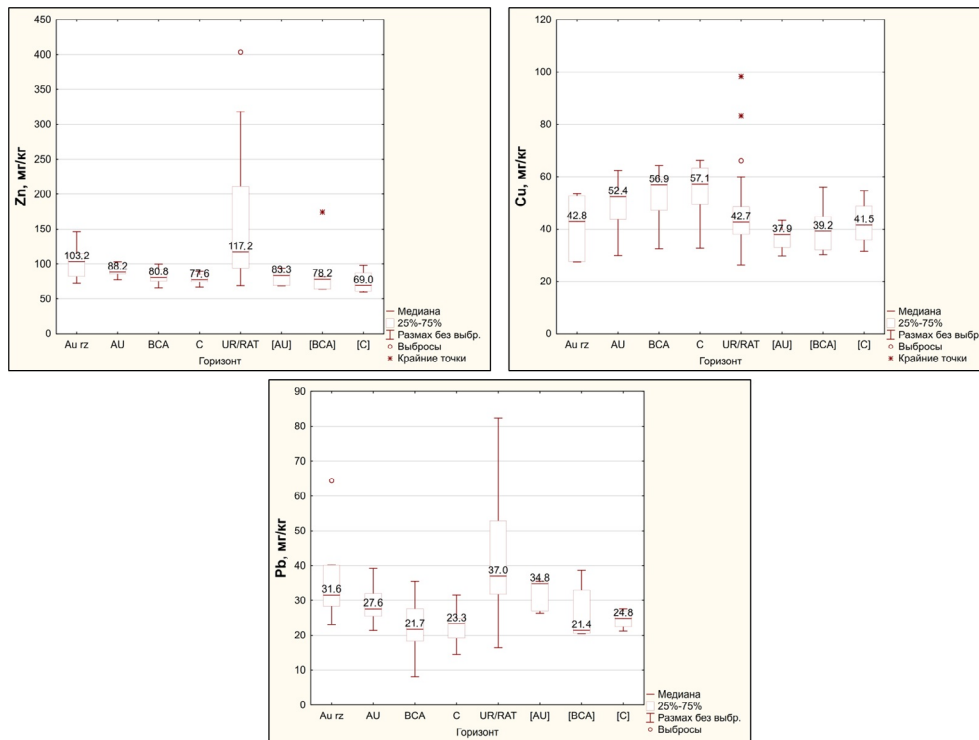


Рис. 2. Диаграммы размаха по содержанию валовых форм цинка, меди и свинца в горизонтах почв г. Ростов-на-Дону. AU gz – гумусово-аккумулятивные (дерновые) горизонты с содержанием гумуса более 5%; AU – гумусово-аккумулятивные горизонты с содержанием гумуса менее 5%; BCA – аккумулятивно-карбонатные горизонты; C – почвообразующая порода; UR/RAT – горизонты антропогенно-преобразованных почв; [AU], [BCA], [C] – аналоги нативных горизонтов, погребенные под антропогенной толщей.

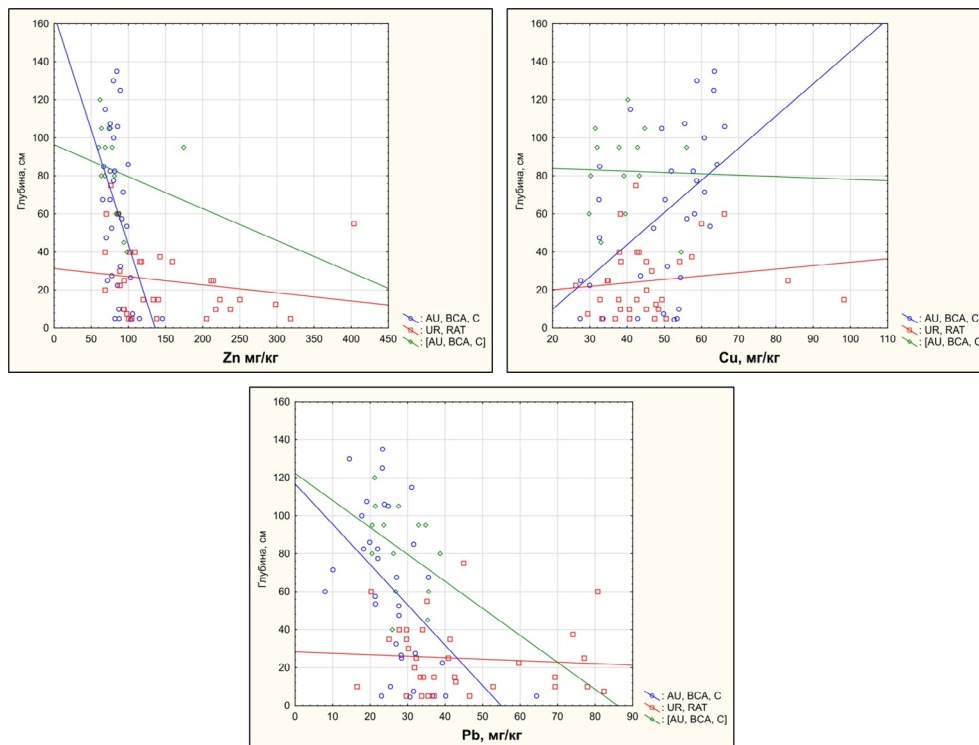


Рис. 3. Диаграммы рассеяния цинка, меди и свинца для группы горизонтов почв г. Ростов-на-Дону. AU, BCA, C – горизонты естественных почв; UR/RAT – горизонты антропогенно-преобразованных почв; [AU], [BCA], [C] – аналоги нативных горизонтов, погребенные под антропогенной толщей.

Табл. 6. Статистические параметры (r – коэффициент корреляции; p – уровень достоверности) диаграмм рассеяния по содержанию валовых форм цинка, меди и свинца для группы горизонтов почв г. Ростов-на-Дону. AU, BCA, C – горизонты естественных почв; UR – горизонт «урбик» антропогенно-преобразованных почв; [AU], [BCA], [C] – аналоги нативных горизонтов, погребенных под антропогенной толщей.

Горизонты	Статистический параметр	
	r	p
	Cu	
AU, BCA, C	0.4788	0.0048
UR	0.1416	0.4320
[AU], [BCA], [C]	0.0249	0.9325
	Zn	
AU, BCA, C	-0.4652	0.0064
UR	-0.1889	0.2924
[AU], [BCA], [C]	-0.2057	0.4805
	Pb	
AU, BCA, C	-0.5161	0.0021
UR	-0.0792	0.6613
[AU], [BCA], [C]	-0.3816	0.1782

сутствии токсических концентраций ионов меди в почве (Табл. 7). При этом отмечена тенденция к снижению содержания металла в нижележащих горизонтах.

Наличие локальных очагов загрязнения цинком с превышением показателей ОДК в 1.1–2.0 раза позволяет сделать предположение о значительной доле обменных форм данного металла в почве, однако установлено, что подвижность цинка в урбостратоземах и урбостратифицированных черноземах довольно низка. Это может быть связано с двумя факторами: во-первых, активным поглощением и аккумуляцией обменных форм цинка в ассимилирующих органах растений, поскольку пробы отбирались под травянистыми и древесными ценозами; во-вторых, преобладанием прочно связанных форм металла в почве, что обусловлено карбонатностью субстрата.

Накопление свинца в поверхностном слое урбаноземов во многом связано с транспортными потоками в селитебных зонах (Aslam et al., 2013). Содержание этого элемента в валовой форме не превышает ОДК на территории Ростовской агломерации, однако присутствуют зоны повышенного содержания его подвижных форм в поверхностном слое, что может быть связано с активно протекающими процессами комплексообразования металла с органическим веществом почвы. На уровне карбонатного барьера на глубине 65–90 см скважины P21-46 (14.5 ОДК) и глубине 0–25 см скважины P21-40 (5.3 ОДК) также замечены очаги загрязнения.

Статистическая обработка данных по распределению подвижных форм цинка, меди и свинца по глубине профиля не позволяет отследить корреляционную зависимость. Вероятно, это связано с комплексом почвенных свойств, которые влияют на подвижность и, соответственно, распределение металлов в профиле, что отражается в большом количестве выбросов в изучаемых выборках (Рис. 4).

Очаги загрязнения синлитогенных почв металлами и в валовой, и в подвижной форме свидетельствуют о том, что трансформированные почвы селитебных зон обладают признаками как современного, так и прошлого антропогенного воздействия. В ряде проб загрязнение цинком обнаруживается в почвах, экранированных асфальтовым покрытием, что свидетельствует о его поступлении в те годы, когда производивший цинковые белила крупнейший в СССР химзавод им. Октябрьской революции находился практически в центре разросшегося города. В 1990-е гг. завод был преобразован в ЗАО «Эмпилс», и основное производство было вынесено на окраину микрорайона Западный. С учетом розы ветров (преимущественно восточного направления) в настоящее время дневные горизонты почв фактически не загрязнены цинком.

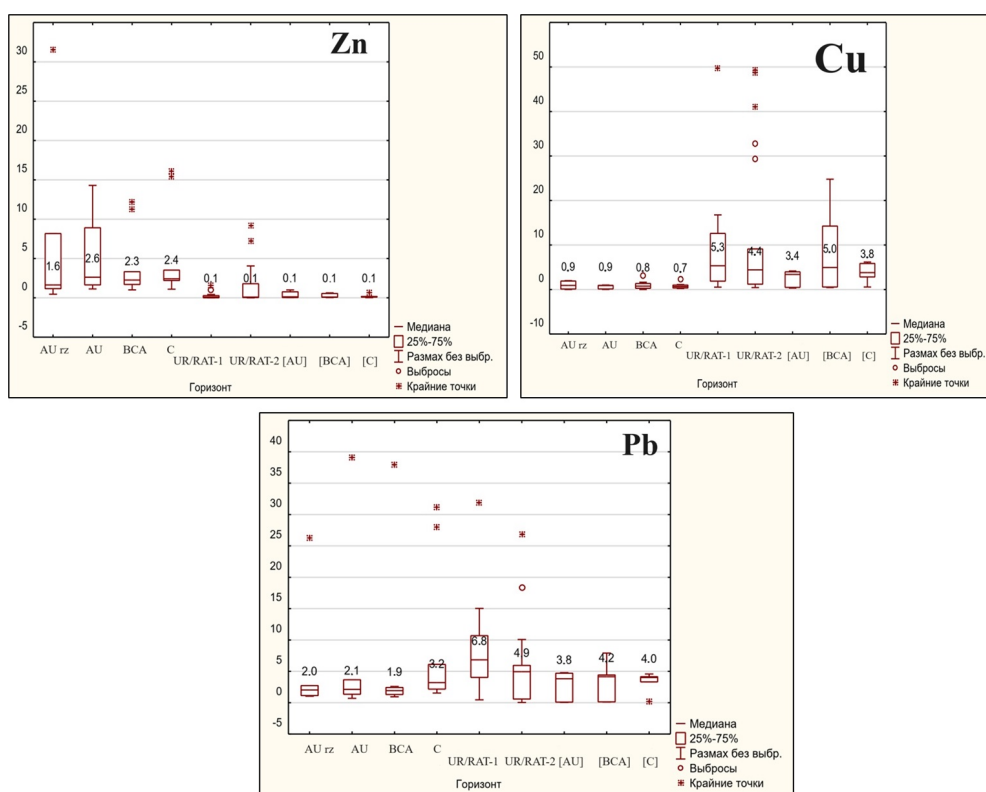


Рис. 4. Диаграммы размаха по содержанию подвижных форм меди, цинка и свинца в горизонтах почв г. Ростов-на-Дону. Обозначения как на Рис. 2.

Заключение

Результаты проведенной диагностики нативных и антропогенно-преобразованных почв позволили составить представление о пространственной структуре загрязнения тяжелыми металлами селитебных территорий города. Наибольшей антропогенной нагрузке подверглись урбогоризонты урбостратоземов и урбостратифицированных черноземов, первостепенными поллютантами которых выступают цинк и мышьяк (их содержание не превышает 2 ОДК). Тем не менее с точки зрения санитарно-гигиенических критериев данные урбаноземы в целом характеризуются допустимым уровнем загрязнения – $Z_c < 16$. Исключением является скважина P20-28 на глубине 0–10 см; уровень загрязнения здесь соответствует умеренно-опасному – $Z_c = 16.8$.

Обращает на себя внимание большое количество меди в обменной форме в почвах урбаноземов. Однако распределение металла по профилю свидетельствует скорее о педогеохимической специфике урболандшафтов, нежели о факте загрязнения. Тем не менее обнаружены локальные очаги с аномально высокими концентрациями ионов меди (16.6 ПДК), а также свинца (5.3 ОДК), что указывает на техногенный характер загрязнения дневных горизонтов.

Несмотря на превышение ОДК поллютантов в трансформированных почвах селитебных зон, наличие урбогоризонтов, зачастую характеризующихся более высокой плотностью, и карбонатных барьеров в погребенных черноземах замедляет миграцию металлов вглубь профиля, смягчая антропогенную нагрузку на черноземы.

Наиболее чистыми почвами выступают естественные почвы города – черноземы миграционно-сегрегационные. Однако близость некоторых территорий к источникам загрязнения существенно сказывается на накоплении в гумусово-аккумулятивных горизонтах таких поллютантов, как цинк и свинец.

Подводя итог, можно заключить, что почвы селитебных зон г. Ростов-на-Дону характеризуются умеренным уровнем загрязнения тяжелыми металлами, однако с целью предупреждения деградации почв некоторые территории нуждаются в проведении ремедиационных мероприятий.

Табл. 7. Величины коэффициента опасности (K_o) подвижных форм металлов в антропогенно-преобразованных почвах.

Глубина, см	Элемент		
	Cu	Zn	Pb
Урбостратозем среднесуглинистый на черноземе миграционно-сегрегационном среднемощном среднегумусированном тяжелосуглинистом P20-37			
0–10	0.24	0.04	0.48
10–20	0.22	0.08	0.27
20–30	0.22	0.13	0.10
30–40	0.23	0.32	0.08
40–50	0.16	0.04	0.02
50–70	0.11	0.03	0.01
70–90	0.15	0.03	0.02
90–100	0.19	0.02	0.02
100–110	0.19	0.03	0.03
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном тяжелосуглинистом P21-39			
0–20	3.70	0.00	2.51
20–50	2.14	0.00	0.90
50–70	1.43	0.01	0.55
70–90	1.68	0.00	0.74
90–100	2.06	0.00	0.76
100–120	1.95	0.01	0.67
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P21-40			
0–25	5.59	0.00	5.32
25–50	2.55	0.00	3.05
50–70	3.04	0.01	4.48
70–80	1.24	0.00	1.00
80–110	1.32	0.01	0.78
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P21-44			
0–10	1.01	0.01	1.59
10–30	2.27	0.00	1.12
30–50	1.09	0.00	0.84
50–70	1.39	0.00	0.64
70–90	1.13	0.00	0.80
90–120	0.94	0.00	0.69

Глубина, см	Элемент		
	Cu	Zn	Pb
Урбистратифицированный чернозем миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P21-46			
0–20	4.70	0.00	1.32
20–40	2.11	0.00	0.81
40–65	1.62	0.01	0.82
65–90	1.34	0.00	14.53
90–120	1.47	0.00	0.75
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном тяжелосуглинистом P21-49			
0–20	1.81	0.00	0.96
20–50	16.46	0.00	0.84
50–60	16.24	0.01	0.86
60–90	8.26	0.00	0.66
90–100	4.75	0.00	0.71
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P20-24-1			
0–10	1.75	0.00	0.57
10–20	0.78	0.00	0.68
20–30	1.65	0.01	1.32
30–50	1.26	0.00	0.55
Урбостратозем на погребенном черноземе миграционно-сегрегационном среднесуглинистом P20-28			
0–10	16.60	0.00	1.97
10–20	13.67	0.00	0.90
20–30	9.77	0.00	0.99
30–50	10.95	0.00	0.70

Список литературы

- Акимцев, В.В., Болдырева, А.В., Голубев, С.Н., Кудрявцев, М.И., Руденская, К.В., Садименко, П.А., Соборникова, И.Г., 1962. Содержание микроэлементов в почвах Ростовской области. *Материалы 3-го межвузовского совещания «Микроэлементы и естественная радиоактивность»*. Издательство Ростовского университета, Ростов-на-Дону, Россия, 38–41.
- Архипова, О.Е., Черногубова, Е.А., Лихтанская, Н.В., Кулыгин, В.В., Шевердяев, И.В. и др., 2014. Пространственно-временной анализ встречаемости онкологических заболеваний как индикатора медико-экологической безопасности. Издательство ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия, 224 с.
- Башкин, В.Н., Евстафьева, Е.В., Снакин, В.В., Алябина, И.О., Антипова, А.В. и др., 1993. Биогеохимические основы экологического нормирования. Наука, Москва, Россия, 304 с.

- Безуглова, О.С., Тагивердиев, С.С., Горбов, С.Н., 2018. Физические характеристики городских почв Ростовской агломерации. *Почвоведение* 9, 1153–1159.
- Безуглова, О.С., Минаева, Е.Н., Морозов, И.В., 2019. Генезис карбонатного и гипсоносного горизонтов в черноземах обыкновенных карбонатных. *Наука Юга России* 15 (4), 55–62.
- Бугаев, С.В., 2015. Геохимическое районирование пахотных почв Республики Мордовия по содержанию тяжелых металлов. *Достижения науки и техники АПК* 29 (3), 28–32.
- Водяницкий, Ю.Н., 2005. Изучение тяжелых металлов в почвах. Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия, 109 с.
- Горбов, С.Н., Безуглова, О.С., Алексикова, А.С., Тагивердиев, С.С., Дубинина, М.Н., Шерстнев, А.К., 2015а. Содержание и распределение тяжелых металлов и мышьяка в почвах Ростова-на-Дону. *Современные проблемы науки и образования* 4, 543.
- Горбов, С.Н., Безуглова, О.С., Вардуни, Т.В., Горовцов, А.В., Тагивердиев, С.С., Гильдебрант, Ю.А., 2015b. Генотоксичность и загрязнение тяжелыми металлами естественных и антропогенно-преобразованных почв Ростова-на-Дону. *Почвоведение* 12, 1519–1529.
- Дубинина, М.Н., Горбов, С.Н., Безуглова, О.С., Шерстнев, А.К., 2016. Содержание и профильное распределение валовых форм тяжелых металлов в почвах урбанизированных территорий Юга России. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук* 18 (2-2), 349–354.
- Дубовик, Д.В., Дубовик, Е.В., 2016. Тяжелые металлы в черноземах типичных на склонах различной крутизны и экспозиции. *Почвоведение* 1, 39–51.
- Евстафьева, Е.В., Богданова, А.М., Минкина, Т.М., Сушкова, С.Н., Барановская, Н.В., Манджиева, С.С., Антоненко, Е.М., 2018. Содержание тяжелых металлов в почвах селитебных территорий республики Крым. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов* 329 (10), 19–29.
- Жарикова, Е.А., 2021. Тяжелые металлы в городских почвах: оценка содержания и экологического риска. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов* 332 (1), 164–173.
- Лукин, С.В., 2011. Мониторинг содержания хрома в сельскохозяйственных культурах и почвах. *Достижения науки и техники АПК* 6, 54–55.
- Лукин, С.В., Хижняк, Р.М., 2016. Экологическая оценка содержания кобальта, никеля и хрома в лесостепных агроценозах Центрально-Черноземных областей. *Агрехимия* 4, 37–45.
- Минаева, Е.Н., Безуглова, О.С., Морозов, И.В., 2021. Влияние многолетней динамики атмосферных осадков на генезис степных и сухостепных почв Ростовской области. *Наука Юга России* 17 (1), 52–62.
- Петухов, А.С., Кремлева, Т.А., Петухова, Г.А., Хритохин, Н.А., 2022. Аккумуляция и миграция тяжелых металлов в почвах и растениях в условиях антропогенного загрязнения городской среды. *Труды КарНЦ РАН* 3, 53–66.
- Приваленко, В.В., Безуглова, О.С., 2003. Экологические проблемы антропогенных ландшафтов Ростовской области. Т. 1. Экология города Ростова-на-Дону. Издательство СКНЦ ВШ, Ростов-на-Дону, Россия, 290 с.
- Сергеев, А.П., Липатникова, Т.Я., Волошин, Е.И., 2017. Тяжелые металлы в почвах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края. *Плодородие* 3, 28–31.

- Соборникова, И.Г., Кизильштейн, Л.Я., 1990. Медь, цинк, свинец в почвах и растениях полыни г. Ростова-на-Дону и его окрестностей. *Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. Естественные науки* 4, 3–8.
- Тагивердиев, С.С., Безуглова, О.С., Горбов, С.Н., Минаева, Е.Н., Козырев, Д.А. и др., 2021. О трансформации структурного состояния почв под влиянием урбопедогенеза на примере Ростовской агломерации. *Наука Юга России* 17 (4), 45–52.
- Чернаская, Н.М., 1989. Физиология растительных организмов и роль металлов. Издательство МГУ, Москва, СССР, 157 с.
- Шишлов, Л.Л., Тонконогов, В.Д., Лебедева, И.И., Герасимова, М.И., 2004. Классификация и диагностика почв России. Ойкумена, Смоленск, Россия, 341 с.
- Aslam, J., Khan, S.A., Khan, S.H., 2013. Heavy metals contamination in roadside soil near different traffic signals in Dubai, United Arab Emirates. *Journal of Saudi Chemical Society* 17 (3), 315–319. <http://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.04.015>
- Bauer, T.V., Pinskii, D.L., Minkina, T.M., Shuvaeva, V.A., Soldatov, A.V et al., 2022. Application of XAFS and XRD methods for describing the copper and zinc adsorption characteristics in hydromorphic soils. *Environmental Geochemistry and Health* 44, 335–347. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00773-2>
- Bezuglova, O.S., Gorbov, S.N., Okolelova, A.A., Salnik, N.V., Tagiverdiev, S.S., Plakhov, G.A., 2019. Particle-size distribution and heavy metals accumulation in soils of Rostov-on-Don. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 368, 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/368/1/012009>
- Danila, V., Saulius, V., 2017. Theoretical evaluation of heavy metals migration and sorption in soil. *10th International conference "Environmental Engineering"* Vilnius, Lithuania, 1–7. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.015>
- Gonzalez Henao, S., Ghneim-Herrera, T., 2021. Heavy metals in soils and the remediation potential of bacteria associated with the plant microbiome. *Frontiers in Environmental Science* 9, 604216. <http://doi.org/10.3389/fenvs.2021.604216>
- Gu, Y.G., Gao, Y.P., Lin, Q., 2016. Contamination, bioaccessibility and human health risk of heavy metals in exposed-lawn soils from 28 urban parks in southern China's largest city, Guangzhou. *Applied Geochemistry* 67, 52–58. <http://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.02.004>
- Issaka, S., Ashraf, M.A., 2017. Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. *Geology, Ecology and Landscapes* 1 (1), 1–11. <http://doi.org/10.1080/24749508.2017.1301053>
- Kloster, N., Marcelo, A., 2015. Interaction of humic acids with soil minerals: adsorption and surface aggregation induced by Ca²⁺. *Environmental Chemistry* 12 (6), 731–738. <https://doi.org/10.1071/EN14157>
- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., Han, W., 2019. A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal* 28 (4), 380–394. <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1592108>
- Minkina, T.M., Linnik, V.G., Nevidomskaya, D.G., Bauer, T.V., Mandzhieva, S.S., Khoroshavin, V., 2018. Forms of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) compounds in technogenically transformed soils adjacent to the Karabashmed copper smelter. *Journal of Soils and Sediments* 18, 2217–2228. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1708-2>

- Pinskii, D.L., Minkina, T.M., 2013. Regularities of Cu, Pb and Zn adsorption by chernozems of the South of Russia. *Eurasian Journal of Soil Science* **2**, 59–68. <https://ejss.fesss.org/10.18393/ejss.2013.1.059-068>
- Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M.R., Ishaque, W., Kamran, M.A. et al., 2017. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. *Chemosphere* **171**, 710–721. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>
- Sleutel, S., De Neve, S., Singier, B., Hofman, G., 2007. Quantification of organic carbon in soils: A comparison of methodologies and assessment of the carbon content of organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **38**, 2647–2657.
- Tchounwo, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K., Sutton, D.J., 2012. Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, clinical and environmental toxicology* **101**, 133–164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- Verma, R.K., Sankhla, M.S., Jadhav, E.B., Parihar, K., Awasthi, K.K., 2021. Phytoremediation of heavy metals extracted from soil and aquatic environments: current as well as emerging trends. *Biointerface Research in Applied Chemistry* **12**, 5486–5509. <http://doi.org/10.33263/BRIAC124.54865509>
- Wang, L., Rinklebe, J., Tack, F.M., Hou, D., 2021. A review of green remediation strategies for heavy metal contaminated soil. *Soil Use Manage* **37**, 936–963. <http://doi.org/10.1111/sum.12717>
- WRB, 2014. World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, Italy, 181 p.
- Zhang, X., Kumstel, S., Tang, G., Talbot, S.R., Seume, N. et al., 2020. A rational approach of early humane endpoint determination in a murine model for cholestasis. *Altex* **37** (2), 197–207. <https://doi.org/10.14573/altex.1909111>

References

- Akimtsev, V.V., Boldyreva, A.V., Golubev, S.N., Kudriavtsev, M.I., Rudenskaia, K.V., Sadimenko, P.A., Sobornikova, I.G., 1962. Soderzhanie mikroelementov v pochvakh Rostovskoi oblasti [Content of trace elements in soils of the Rostov region]. *Materialy 3-go mezhvuzovskogo soveshchaniia "Mikroelementy i estestvennaia radioaktivnost"* [Materials of the 3rd interuniversity meeting "Microelements and natural radioactivity"]. Rostov University Publishing House, Rostov-on-Don, Russia, 38–41. (In Russian).
- Arkhipova, O.E., Chernogubova, E.A., Lihtanskaia, N.V., Kulygin, V.V., Sheverdiaev, I.V. et al., 2014. Prostranstvenno-vremennoi analiz vstrechaemosti onkologicheskikh zabolevanii kak indikatora mediko-ekologicheskoi bezopasnosti [Spatial and temporal analysis of cancer occurrence as an indicator of medical and environmental safety]. Southern Scientific Center RAS Publishing House, Rostov-on-Don, Russia, 224 p. (In Russian).
- Aslam, J., Khan, S.A., Khan, S.H., 2013. Heavy metals contamination in roadside soil near different traffic signals in Dubai, United Arab Emirates. *Journal of Saudi Chemical Society* **17** (3), 315–319. <http://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.04.015>
- Bashkin, V.N., Evstaf'eva, E.V., Snakin, V.V., Alyabina, I.O., Antipova, A.V. et al., 1993. Biogeoхимические основы экологического нормирования [Biogeochemical bases of environmental rationing]. Nauka, Moscow, Russia, 304 p. (In Russian).

- Bauer, T.V., Pinskii, D.L., Minkina, T.M., Shuvaeva, V.A., Soldatov, A.V et al., 2022. Application of XAFS and XRD methods for describing the copper and zinc adsorption characteristics in hydromorphic soils. *Environmental Geochemistry and Health* **44**, 335–347. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00773-2>
- Bezuglova, O.S., Tagiverdiev, S.S., Gorbov, S.N., 2018. Physical properties of urban soils in Rostov agglomeration. *Eurasian Soil Science* **51** (9), 1105–1110. <http://doi.org/10.1134/S1064229318090028>
- Bezuglova, O.S., Minaeva, E.N, Morozov, I.V., 2019a. Genesis karbonatnogo i gipsonosnogo gorizontov v chernozemakh obyknovennykh karbonatnykh [Genesis of carbonate and gypsiferous horizons in ordinary carbonate chernozems]. *Nauka Yuga Rossii [Science of the South of Russia]* **15** (4), 55–62. (In Russian).
- Bezuglova, O.S., Gorbov, S.N., Okolelova, A.A., Salnik, N.V., Tagiverdiev, S.S., Plakhov, G.A., 2019b. Particle-size distribution and heavy metals accumulation in soils of Rostov-on-Don. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **368**, 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/368/1/012009>
- Bugaev, S.V., 2015. Geokhicheskoe raionirovanie pakhotnykh pochv Respubliki Mordoviya po sodержaniyu tiazhelykh metallov [Geochemical zoning of arable soils of the Republic of Mordovia on the content of heavy metals]. *Dostizheniia nauki i tekhniki APK [Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex]* **29** (3), 28–32. (In Russian).
- Chernaskaia, N.M., 1989. Fiziologiya rastitel'nykh organizmov i rol' metallov [Physiology of plant organisms and the role of metals]. Moscow State University Publishing House, Moscow, USSR, 157 p. (In Russian).
- Dubinina, M.N., Gorbov, S.N., Bezuglova, O.S., Sherstnev, A.K., 2016. Soderzhanie i profil'noe raspredelenie valovykh form tiazhelykh metallov v pochvakh urbanizirovannykh territorii Yuga Rossii [Content and profile distribution of gross forms of heavy metals in soils of urbanised territories of Southern Russia]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo centra Rossiiskoi akademii nauk [Izvestia of Samara Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences]* **18** (2-2), 349–354. (In Russian).
- Danila, V., Saulius, V., 2017. Theoretical evaluation of heavy metals migration and sorption in soil. *10th International conference "Environmental Engineering"* Vilnius, Lithuania, 1–7. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.015>
- Dubovik, D.V., Dubovik, E.V., 2016. Heavy metals in ordinary chernozems on slopes of different gradients and aspects. *Eurasian Soil Science* **49** (1), 33–44. <http://doi.org/10.1134/S1064229316010051>
- Evstaf'eva, E.V, Bogdanova, A.M., Minkina, T.M., Sushkova, S.N., Baranovskaia, N.V., Mandzhieva, S.S., Antonenko, E.M., 2018. Soderzhanie tiazhelykh metallov v pochvakh selitebnykh territorii respubliky Krym [Heavy metal content in soils of residential areas of the Republic of Crimea]. *Izvestiia Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering]* **329** (10), 19–29. (In Russian).
- Gonzalez Henao, S., Ghneim-Herrera, T., 2021. Heavy metals in soils and the remediation potential of bacteria associated with the plant microbiome. *Frontiers in Environmental Science* **9**, 604216. <http://doi.org/10.3389/fenvs.2021.604216>
- Gorbov, S.N., Bezuglova, O.S., Aleksikova, A.S., Tagiverdiev, S.S., Dubinina, M.N., Sherstnev, A.K., 2015a. Soderzhanie i raspredelenie tiazhelykh metallov i mysh'iaka v pochvakh Rostova-na-Donu [Content and distribution of heavy metals and arsenic in the soils of Rostov-on-Don]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education]* **4**, 543. (In Russian).
- Gorbov, S.N., Bezuglova, O.S., Varduni, T.V., Gorovtsov, A.V., Tagiverdiev, S.S., Hildebrant, Y.A., 2015b. Genotoxicity and contamination of natural and anthropogenically transformed soils of the city of

- Rostov-on-Don with heavy metals. *Eurasian Soil Science* **48** (12), 1383–1392. <http://doi.org/10.1134/S106422931512008X>
- Gu, Y.G., Gao, Y.P., Lin, Q., 2016. Contamination, bioaccessibility and human health risk of heavy metals in exposed-lawn soils from 28 urban parks in southern China's largest city, Guangzhou. *Applied Geochemistry* **67**, 52–58. <http://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.02.004>
- Issaka, S., Ashraf, M.A., 2017. Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. *Geology, Ecology and Landscapes* **1** (1), 1–11. <http://doi.org/10.1080/24749508.2017.1301053>
- Kloster, N., Marcelo, A., 2015. Interaction of humic acids with soil minerals: adsorption and surface aggregation induced by Ca²⁺. *Environmental Chemistry* **12** (6), 731–738. <https://doi.org/10.1071/EN14157>
- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., Han, W., 2019. A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal* **28** (4), 380–394. <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1592108>
- Lukin, S.V., 2011. Monitoring sodержaniia khroma v sel'skokoziastvennykh kul'turakh i pochvakh [Monitoring of chromium content in agricultural crops and soils]. *Dostizheniia nauki i tehniki APK [Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex]* **6**, 54–55. (In Russian).
- Lukin, S.V., Khizhnyak, R.M., 2016. Ekologicheskaiia otsenka sodержaniia kobal'ta, nikelia i khroma v lesostepnykh agrotsenozakh Tsentral'no-Chernozemnykh oblastei [Ecological assessment of cobalt, nickel and chromium content in forest-steppe agrocenoses of the Central Chernozem regions]. *Agrohimiia [Agrochemistry]* **4**, 37–45. (In Russian).
- Minaeva, E.N., Bezuglova, O.S., Morozov, I.V., 2021. Vliianie mnogoletnei dinamiki atmosferynykh osadkov na genezis stepnykh i suhostepnykh pochv Rostovskoi oblasti [Influence of multi-year dynamics of atmospheric precipitation on the genesis of steppe and dry-steppe soils of Rostov region]. *Nauka Yuga Rossii [Science of the South of Russia]* **17** (1), 52–62. (In Russian).
- Minkina, T.M., Linnik, V.G., Nevidomskaya, D.G., Bauer, T.V., Mandzhieva, S.S., Khoroshavin, V., 2018. Forms of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) compounds in technogenically transformed soils adjacent to the Karabashmed copper smelter. *Journal of Soils and Sediments* **18**, 2217–2228. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1708-2>
- Petukhov, A.S., Kremleva, T.A., Petukhova, G.A., Khritokhin, N.A., 2022. Akkumulatsiia i migratsiia tiazhelykh metallov v pochvakh i rasteniiakh v usloviakh antropogennogo zagriazneniia gorodskoi sredy [Accumulation and migration of heavy metals in soils and plants under anthropogenic pollution of urban environment.]. *Trudy KarNTs RAN [Proceedings of the Karelian Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences]* **3**, 53–66. (In Russian).
- Pinskii, D.L., Minkina, T.M., 2013. Regularities of Cu, Pb and Zn adsorption by chernozems of the South of Russia. *Eurasian Journal of Soil Science* **2**, 59–68. <https://ejss.fesss.org/10.18393/ejss.2013.1.059-068>
- Privalenko, V.V., Bezuglova, O.S., 2003. Ekologicheskie problemy antropogennykh landshaftov Rostovskoi oblasti. T. 1. Ekologija goroda Rostova-na-Donu [Ecological problems of anthropogenic landscapes of the Rostov region. Vol. 1: Ecology of the city of Rostov-on-Don]. North Caucasian Scientific Center of Higher Education Publishing House, Rostov-on-Don, Russia, 290 p. (In Russian).
- Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M.R., Ishaque, W., Kamran, M.A. et al., 2017. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. *Chemosphere* **171**, 710–721. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>

- Sergeev, A.P., Lipatnikova, T.Ya., Voloshin, E.I., 2017. Tiazhelye metally v pochvakh Minusinskoi lesostepnoi zony Krasnoyarskogo kraia [Heavy metals in soils of the Minusinsk forest-steppe zone of Krasnoyarsk Krai]. *Plodorodie [Fertility]* **3**, 28–31. (In Russian).
- Shishlov, L.L., Tonkonogov, V.D., Lebedeva, I.I., Gerasimova, M.I., 2004. Klassifikatsiia i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Oikumena, Smolensk, Russia, 341 p. (In Russian).
- Sleutel, S., De Neve, S., Singier, B., Hofman, G., 2007. Quantification of organic carbon in soils: A comparison of methodologies and assessment of the carbon content of organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **38**, 2647–2657.
- Sobornikova, I.G., Kizilshtein, L.Ya., 1990. Med', tsink, svinets v pochvakh i rasteniiakh polyni g. Rostova-na-Donu i ego okrestnostei [Copper, zinc, lead in soils and plants of wormwood in Rostov-on-Don and its neighbourhood]. *Izvestiia Severo-Kavkazskogo nauchnogo tsentra vysshei shkoly. Estestvennye nauki [Proceedings of the North Caucasian Scientific Center of Higher Education. Natural Sciences]* **4**, 3–8. (In Russian).
- Tagiverdiev, S.S., Bezuglova, O.S., Gorbov, S.N., Minaeva, E.N., Kozyrev, D.A. et al., 2021. O transformatsii struktornogo sostoianii pochv pod vlianiem urbopedogeneza na primere Rostovskoi aglomeratsii [On the transformation of soil structural state under the influence of urban pedogenesis on the example of Rostov agglomeration]. *Nauka Yuga Rossii [Science of the South of Russia]* **17** (4), 45–52. (In Russian).
- Tchounwo, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K., Sutton, D.J., 2012. Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, clinical and environmental toxicology* **101**, 133–164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- Verma, R.K., Sankhla, M.S., Jadhav, E.B., Parihar, K., Awasthi, K.K., 2021. Phytoremediation of heavy metals extracted from soil and aquatic environments: current as well as emerging trends. *Biointerface Research in Applied Chemistry* **12**, 5486–5509. <http://doi.org/10.33263/BRIAC124.54865509>
- Vodyanitskii, Yu.N., 2005. Izuchenie tiazhelykh metallov v pochvakh [Study of heavy metals in soils]. V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia, 109 p. (In Russian).
- Wang, L., Rinklebe, J., Tack, F.M., Hou, D., 2021. A review of green remediation strategies for heavy metal contaminated soil. *Soil Use Manage* **37**, 936–963. <http://doi.org/10.1111/sum.12717>
- WRB, 2014. World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, Italy, 181 p.
- Zhang, X., Kumstel, S., Tang, G., Talbot, S.R., Seume, N. et al., 2020. A rational approach of early humane endpoint determination in a murine model for cholestasis. *Altex* **37** (2), 197–207. <https://doi.org/10.14573/altex.1909111>
- Zharikova, E.A., 2021. Tiazhelye metally v gorodskikh pochvakh: otsenka sodержaniia i ekologicheskogo riska [Heavy metals in urban soils: assessment of content and environmental risk]. *Izvestiia Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering]* **332** (1), 164–173. (In Russian).