

УДК 632.111.7:632*232.33

DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-109-134



Ссылки для цитирования:

Гордиенко О.А., Балкушкин Р.Н. Пространственная неоднородность свойств почв рекреационных территорий г. Волгограда // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 114. С. 109-134. DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-109-134

Cite this article as:

Gordienko O.A., Balkushkin R.N., Spatial heterogeneity of soil properties of recreational areas of Volgograd, Dokuchaev Soil Bulletin, 2023, V. 114, pp. 109-134, DOI: 10.19047/0136-1694-2023-114-109-134

Благодарность:

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН № FNFE-2022-0012.

Acknowledgments:

The studies were carried out within the framework of State assignment of Federal Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences, No. FNFE-2022-0012.

Пространственная неоднородность свойств почв рекреационных территорий г. Волгограда

© 2023 г. О. А. Гордиенко*, Р. Н. Балкушкин

ФГБНУ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН

(ФНЦ агроэкологии РАН), Россия,

400062, Волгоград, пр-т Университетский, д. 97,

**<https://orcid.org/0000-0001-5381-9114>,*

e-mail: oleg.gordienko.95@bk.ru.

*Поступила в редакцию 01.01.2023, после доработки 01.02.2023,
принята к публикации 22.03.2023*

Резюме: Построены почвенные карты и карты пространственной изменчивости свойств (распределение pH, общее солесодержание, содержание органического углерода, карбонатов кальция, плотность) почв некоторых зеленых рекреационных зон Волгограда. В исследуемых рекреационных территориях среди антропогенных почв выделяются

различные урбостратоземы (Urbic Technosols (Transportic)), экраноземы (Ekranic Technosols (Transportic)), а также квазиземы (Phaeozems (Tehnic)), среди агрогенных – агроземы аккумулятивно-карбонатные (Cambisols (Aric, Protocalcic)). Естественные почвы представлены светло- и темногумусовыми почвами, каштановыми, солонцами, а также стратоземами и псаммоземами. По данным изолинейного картографирования установлено, что кислотно-щелочные свойства почв зеленых зон варьируют от слабощелочных до щелочных в зависимости от почвенного горизонта и антропогенной нагрузки. При картографировании не выявлено засоления верхних 0–30 см. Значения органического углерода сильно варьируют (1–10%) и обусловлены наличием или отсутствием мелиоративных насыпных горизонтов, а также характером использования территории. Содержание карбонатов кальция в верхних 30 см невелико и варьирует от 0.7 до 5%. Установлено, что плотность напрямую зависит от уровня антропогенной нагрузки, увеличиваясь в тропиновых сетях и на газонах. Пространственная оценка свойств городских почв имеет важное значение для выявления зон с превышением или, наоборот, с низким значением тех или иных химических и физических показателей при планировании работ по озеленению и благоустройству городской территории.

Ключевые слова: картографирование почв, Technosols, урбостратоземы, квазиземы, крингинг.

Spatial heterogeneity of soil properties of recreational areas of Volgograd

© 2023 O. A. Gordienko*, R. N. Balkushkin

*Federal Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation, Russian Academy of Sciences,
97 Prospect Universitetsky, Volgograd 400062, Russian Federation.*

**<https://orcid.org/0000-0001-5381-9114>,*

e-mail: oleg.gordienko.95@bk.ru.

Received 01.01.2023, Revised 01.02.2023, Accepted 22.03.2023

Abstract: The article presents the developed soil maps and maps of spatial variability of soil properties (pH, total salt and carbonate content, organic carbon, density) in some recreational areas of Volgograd. The anthropogenic soils in the studied recreational areas include various urbostratozems (Urbic Technosols (Transportic)), Ekranic Technosols (Transportic), as well as quasi-

zems (Phaeozems (Tehnic)), among the agrogenic ones – accumulation-carbonate agrozeims (Cambisols (Aric, Protocalcic). Natural soils are represented by light and dark humus soils, chestnut soils, solonetz, as well as stratozems and psammozems. According to the data of isolinear mapping, it was found that acid-alkaline properties of soils of green zones vary from slightly alkaline to alkaline depending on the soil horizon and anthropogenic load. The mapping did not reveal salinization of the upper 0–30 cm layer. Values of organic carbon vary greatly (1–10%) and are conditioned by the presence or absence of meliorative artificial layers, as well as by the character of territory use. The content of calcium carbonates in the upper 30 cm is small and varies from 0.7 to 5%. It is established that the physical properties (density) directly depend on the level of anthropogenic load, increasing in footpaths and lawns. Spatial assessment of the properties of urban soils is important for identifying areas with an excess or on the contrary – low content of certain chemical and physical indicators for the planning of landscaping and gardening of urban areas.

Keywords: mapping, Technosols, urbostratozems, quasizems, kriging.

ВВЕДЕНИЕ

Городские почвы характеризуются вертикальной и пространственной неоднородностью. Уровень антропогенного воздействия в городах варьирует от “очень высокого” в промышленных и жилых районах до “очень низкого” в рекреационных ([Околелова и др., 2021](#)).

В Волгограде и в других городах России и мира картографирование свойств антропогенных почв носит несистемный характер и ограничивается определенной областью исследования, например, содержанием тяжелых металлов (ТМ), как в случае с городами Орск ([Саблина, Турлибекова, 2013](#)), Надым ([Попов и др., 2016](#)), Казань ([Тагиров, Александрова, 2018](#)), Синьцзян ([Wang et al., 2016](#)), Брно ([Hladky et al., 2019](#)), Волгоград ([Околелова и др., 2021](#); [Tikhonova et al., 2020](#)), Москва ([Власов и др., 2017](#); [Касимов и др., 2016](#)). Картографирование свойств почв в различных функциональных зонах (селитебных, рекреационных и др.) апробировано в Пекине ([Mao et al., 2014](#); [Zhao et al., 2013](#)), Ростове ([Безуглова и др., 2018](#)), Гонконге ([Jim, 1998](#)), Фениксе ([Davies, Hall, 2010](#)), Балтиморе ([Pouyat et al., 2008](#); [Pouyat et al., 2007](#)). Широко распространено мнение, что различия в хозяйственной дея-

тельности человека способствуют различиям почвенных свойств ([Davies, Hall, 2010](#); [Pouyat et al., 2007](#)). Например, почвы в транспортных, промышленных и жилых районах, как правило, характеризуются более высокой реакцией среды и плотностью ([Чупина, 2020](#); [Pouyat et al., 2007](#); [Yang et al., 2014](#); [Zhao et al., 2013](#)). Почвы в парковых зонах ([Charzynski et al., 2018](#); [Zhao et al., 2013](#); [Zhu et al., 2006](#)) характеризуются более высоким содержанием органического углерода, в то время как почвы промышленных и транспортных зон часто загрязнены тяжелыми металлами ([Hamzeh et al., 2011](#); [Jenerette et al., 2006](#); [Lu, Bai, 2010](#)).

Точная и подробная пространственная информация о свойствах городских почв необходима для мониторинга, моделирования и точного управления этими почвами. Пространственная почвенная информация может помочь в реализации управленческих решений для поддержания и улучшения состояния плодородия почв, а также в повышении эффективности городского озеленения в степных и сухостепных зонах.

Целью работы являлось картографирование пространственной неоднородности почвенного покрова и его химических и физических свойств в рекреационных зонах г. Волгограда.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Волгоград – один из крупнейших (826 км²) промышленных городов Российской Федерации. Город имеет разнообразные функциональные зоны, включая селитебную, транспортную, дачную, сельскохозяйственную, рекреационную, специальную (кладбища, спортивные сооружения), промышленную, а также зону индивидуальной жилой застройки. Согласно генеральному плану г. Волгограда, рекреационный фонд составляет 310 км², или 37.5% от всей площади города, однако из них на с/х территории приходится 174 км². В состав этой зоны входят также и земли сельскохозяйственного назначения, что, по нашему мнению, ошибочно, поскольку они напрямую не предназначены для выполнения рекреационных функций. Площадь же озелененных рекреационных территорий в пределах города составляет всего 3 км² (0.97% от площади всей зоны и 0.4% от всего города). С учетом низкой обеспеченности древесно-кустарниковыми насаждениями в горо-

дах сухостепной зоны ([Ivantsova et al., 2019](#); [Kulik et al., 2022](#)) вопросы, связанные с изучением почв рекреационных территорий, приобретают особое значение.

Объектом исследования являются почвы трех различных рекреационных территорий: сквер им. Саши Филиппова (Ворошиловский район), парк “Дружба” (Кировский район), а также дендрарий “ВНИАЛМИ” (Советский район).

Выбранные участки отличаются разной степенью антропогенных изменений и нагрузки. Так, сквер им. Саши Филиппова в настоящее время является популярным рекреационным объектом. Парк “Дружба” за последние 30 лет потерял свою востребованность и в настоящее время не используется. Дендрарий “ВНИАЛМИ” до 2006 г. имел статус памятника природы регионального значения. На сегодняшний день осуществляет роль научного кластера ФНЦ агроэкологии РАН. Территория участков по геоморфологическим условиям относится к первой террасе правобережной части долины р. Волга ([Gordienko et al., 2022](#)).

Полевые исследования проводили в июне–июле 2022 г. В ходе работ на территории опытных объектов было заложено 20 разрезов (для составления почвенных карт), а также 50 прикопок, из которых были отобраны образцы на глубину 0–30 см через каждые 10 см для составления объединенной пробы (150 образцов). Отбор образцов проводился по регулярной сетке, которая покрывает всю территорию и затрагивает все внутренние функциональные зоны каждого из участков исследования: сквер им. Саши Филиппова – 9 точек, дендрарий “ВНИАЛМИ” – 17, парк “Дружба” – 24 ([Сизов, 2009](#)). Кригинг как геостатистический метод сеточной интерполяции является наиболее оптимальным для решения поставленных задач. Алгоритм учитывает интервалы между данными и присущую им достоверность для корректировки весов интерполяции, что позволяет наиболее точно описать изучаемые явления и свойства природных объектов ([Minasny, McBratney, 2016](#)).

Во всех почвенных образцах были определены кислотно-щелочные свойства, общее солесодержание, содержание органического углерода, CaCO_3 . Все эти анализы были выполнены с использованием руководства по химическому анализу почв ([Аринушкина, 1970](#); [van Reeuwijk, 2022](#)). Отдельно определялась

плотность почв методом режущего кольца ([Шеин, 2005](#)). Составление картосхем выполнялось с применением программ QGIS и Surfer. Идентификация почвенных типов и подтипов производилась на основе полевого определителя почв России 2008 г., международной классификацией WRB-2022, антропогенные почвы – по авторской классификации группы российских авторов ([Полевой определитель почв России, 2008](#); [Прокофьева и др., 2014](#); [IUSS, 2022](#)).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Неоднородность почвенного покрова исследуемых территорий. В ходе картографирования неоднородности почвенного покрова сквера им. Саши Филиппова были установлены следующие комбинации (рис. 1, табл. 1).

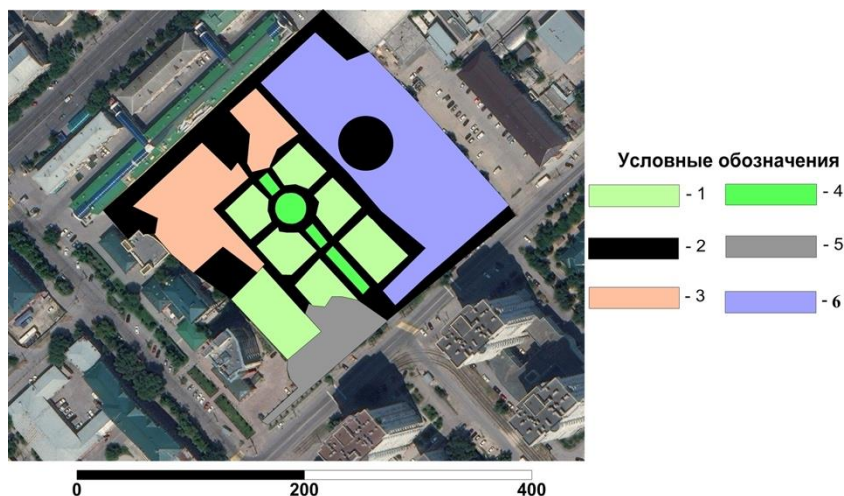


Рис. 1. Картосхема почвенного покрова сквера им. Саши Филиппова.

Fig. 1. Schematic map of the soil cover in Sasha Filippov Square.

В восточной рекреационно наиболее освоенной части сквера распространение получили урбостратоземы техногенные с погребенными глинисто-иллювирированными почвами. Непочвенные

образования – экраноземы – приурочены к пешеходным дорожкам, а также выделяются под постройками. Северная и северо-западная части сквера, в которых полив не производится, и травянистая и газонная растительность почти отсутствует, описаны урбостратоземы типичные с сохранившимися аккумулятивно-карбонатными горизонтами. Центральная и юго-западная часть сквера с систематическим поливом характеризуется наличием реплантоземов, а также урбостратоземов компостно-гумусовых. Для этих почв и техногенных поверхностных образований (ТПО) характерно наличие реплантированных горизонтов URrat и RAT. Южная часть сквера характеризуется наличием очень мощных (до 2 м) типичных урбостратоземов. Такой состав почвенного покрова обусловлен тем, что ранее на этом месте располагался купеческий дом, а затем в советское время рынок.

Таблица 1. Почвенный покров сквера им. Саши Филиппова
Table 1. Soil cover of Sasha Filippov Square

№ в легенде	Почвенные типы и подтипы	Площадь, га
1	Урбостратоземы компостно-гумусовые на погребенных каштановых и глинисто-иллювирированных почвах (Urbic Technosols (Loamic, Mollic))	0.32
2	Экраноземы (Ekranic Technosols (Eutric, Loamic, Transportic))	0.37
3	Урбостратоземы типичные на погребенных аккумулятивно-карбонатных почвах (Urbic Technosols (Loamic, Calcic))	0.33
4	Реплантоземы глееватые на погребенных глинисто-иллювиальных почвах (Cambic Gleyic Phaeozems (Bathycalcic, Loamic))	0.05
5	Урбостратоземы типичные Urbic Technosols (Arenic, Calcaric, Hyperartefactic)	0.31
6	Урбостратозем техногенные на погребенных глинисто-иллювирированных почвах (Urbic Technosols (Loamic, Mollic))	0.8

Дендрарий “ВНИАЛМИ”. Почвенный покров дендрария, несмотря на бывший статус ООПТ, существенным образом трансформирован (рис. 2, табл. 2).



Рис. 2. Картосхема почвенного покрова дендрария “ВНИАЛМИ”.

Fig. 2. Schematic map of the soil cover in VNIALMI arboretum.

Поскольку ранее данная территория была густо изрезана мелкими балками и оврагами, были проведены различные сельскохозяйственные обработки, а именно выравнивание рельефа территории, засыпка балок и оврагов, а также глубокая плантажная вспашка для посадки древесных и кустарниковых насаждений. Также в ходе заложения и монтажа оросительных систем периферийные части дендропарка были сильно трансформированы. В настоящее время почвенный покров периферийных зон представ-

лен типичными и техногенными урбостратоземами. На южной границе дендропарка распространение получили псаммоземы техногенные, а также стратоземы светлогумусовые урбистратифицированные. Урбистратифицированный подтип выделен на основании наличия в светлогумусовом стратифицированном горизонте (RJ) маломощного (5 см) признака *ur* с включениями бытового и строительного мусора. Морфологический профиль псаммозема техногенного характеризуется наличием сверху (50 см) техногенного материала, привнесенного в результате отсыпки с близлежащих территорий. Большая часть дендропарка представлена бывшими каштановыми почвами. В результате сельскохозяйственных обработок они трансформировались в агроземы аккумулятивно-карбонатные глинисто-иллювирированные турбированные. В северной части дендрария на небольшой территории фиксируются неизменные или слабоизмененные каштановые типичные почвы.

Таблица 2. Почвенный покров дендрария “ВНИАЛМИ”
Table 2. Soil cover of the “VNIALMI” arboretum

№ в легенде	Почвенные типы и подтипы	Площадь, га
1	Агроземы аккумулятивно-карбонатные глинисто-иллювирированные турбированные (Eutric Endogleyic Cambisols (Loamic, Aric, Protocalcic))	15.1
2	Урбостратоземы типичные / техногенные (Urbic Technosols (Loamic, Calcaric, Hyperartefactic, Transportic))	2.6
3	Псаммоземы техногенные (Eutric Calcaric Gleyic Arenosols (Raptic, Prototechnic, Transportic)) / Стратоземы светлогумусовые урбистратифицированные (Calcaric Colluvic Regosols (Arenic, Prototechnic))	0.9
4	Каштановые типичные (Calcic Kastanozems (Loamic))	3

Парк “Дружба”. Ранее было установлено, что почвенный покров несет на себе отпечаток структуры и характера землеполь-

зования и представляет собой разнообразие комбинаций природных и антропогенных почв ([Gordienko et al., 2022](#)). Парк, ранее активно использовавшийся местными жителями, представляет собой территорию, где сочетаются почвы с измененными и неизменными профилями (рис. 3, табл. 3).

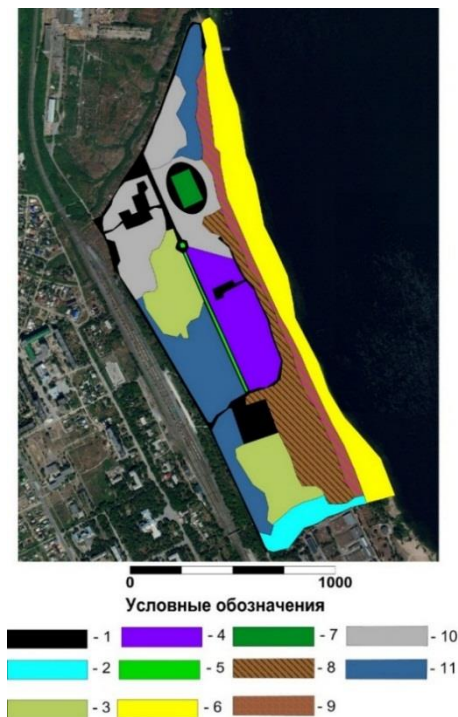


Рис. 3. Картограмма почвенного покрова парка “Дружба”.
Fig. 3. Schematic map of the soil cover in Druzhba Park.

Под дорожно-тропиночной сетью вскрыты различные антропогенные почвы и ТПО, такие как экраноземы, в которых часто обнаруживаются погребенные гумусовые горизонты светло- и темногомусовых почв. Междорожные (аллейные) зоны представлены реплантоземами.

Таблица 3. Почвенный покров парка “Дружба”

Table 3. Soil cover of Druzhba Park

№ в легенде	Почвенные типы и подтипы	Площадь, га
1	Экраноземы (Ekranic Technosols (Arenic, Transportic))	5.3
2	Светлогумусовая техногенная на погребенной светлогумусовой почве (Colluvic Regosols Prototechnic, Transportic over Eutric Arenosols)	1.75
3	Квазиглеевая урбистратифицированная (Stagnic Someric Phaeozems (Loamic, Technic))	6.9
4	Урбиквазиземы и урбостратоземы техногенные (Urbic Technosols Transportic)	5.5
5	Квазизем техногенный на погребенной квазиглееватой глинисто-иллювиированной почве (Somic Phaeozems (Loamic, Prototechnic, Raptic, Transportic))	0.35
6	Аллювиальные светлогумусовые почвы (Calcaric Fluvisols (Arenic))	7
7	Урбиквазиземы техногенные на погребенной темногумусовой квазиглееватой слитизированной почве (Urbic Technosols (Calcaric, Raptic over Vertic Stagnic Phaeozems (Loamic))	0.7
8	Каштановая урбистратифицированная солонцеватая Eutric Cambisols (Loamic, Protocalcic, Sodic, Technic))	9.6
9	Солонцы светлые типичные (Protocalcic Solonetz Columnic, Cutanic))	4.5
10	Урбостратозем техногенный пирогенный на погребенной темногумусовой квазиглееватой слитизированной почве (Urbic Technosols (Calcaric, Raptic, Pyric, Transportic over Vertic Stagnic Phaeozems (Loamic))	6.5
11	Темногумусовая квазиглееватая слитизированная урбистратифицированная (Vertic Stagnic Phaeozems (Loamic, Prototechnic)	6.9

В южной части парка, по данным прошлых космических снимков, отмечено большое количество оврагов, при засыпке ко-

торых сформировались светлогумусовые техногенные почвы с погребенными светлогумусовыми почвами. Рельеф северо- и юго-западной части парка характеризуется как выровненный, что свидетельствует о целенаправленной срезке верхних почвенных горизонтов в результате планировки местности. На таких участках вскрыты профили квазиглеевых урбистратифицированных почв (ur-Qca), лишенных природных гумусовых горизонтов. Под древесной растительностью выделены темnogумусовые квазиглееватые слитизированные урбистратифицированные (признак ur) почвы. Центральная и северная части парка, ввиду наличия в прошлом объектов строительства, а также максимального сосредоточения рекреационно-развлекательных объектов, наиболее трансформированы. Здесь сформировались различные урбиквазиземы и урбостратоземы техногенные, а также урбостратоземы техногенные пирогенные, поскольку последние 10 лет на территории 8.3 га (15% от всей площади парка) происходят частые летние пожары. Восточная обрывистая часть парка представлена естественными аллювиальными светлогумусовыми почвами. На территории парка находятся 2 футбольных поля. Первое было специальным образом сконструировано. В нем сформировались урбиквазиземы техногенные с погребенными темnogумусовыми квазиглееватыми слитизированными почвами. Для второго поля отмечены отсутствие естественного гумусового горизонта и его замена на рекультивационный слой (RAT), который без ухода и полива трансформировался в горизонт UR. Под ним сохранился диагностический горизонт каштановых почв BMKsp. Между каштановыми и аллювиальными почвами тонкой вертикальной полосой на карте выделены солонцы светлые. Для них характерно локальное замусоривание поверхностных горизонтов SEL.

Картографирование свойств почв, исследуемых территории. Химические, физические свойства почв сквера им. Саши Филиппова отличаются пестротой (рис. 4). Кислотно-щелочные свойства верхних 30 см варьируют от 7.55 до 8.15 единиц pH. Наиболее щелочные значения выявлены для южной и восточной части сквера, это обусловлено прежде всего повышенной антропогенной нагрузкой, а также отсутствием травянистой и древесной

растительности. Северная и северо-западная части сквера имеют слабощелочную реакцию за счет опада хвойных насаждений, которые способствуют подкислению почвы. Центральные (поливные) части сквера имеют pH от 7.75 до 7.95, что может быть вызвано химическим составом приносимых мелиоративных подсыпок (новых горизонтов RAT), поскольку нижележащие горизонты имеют более низкую реакцию среды.

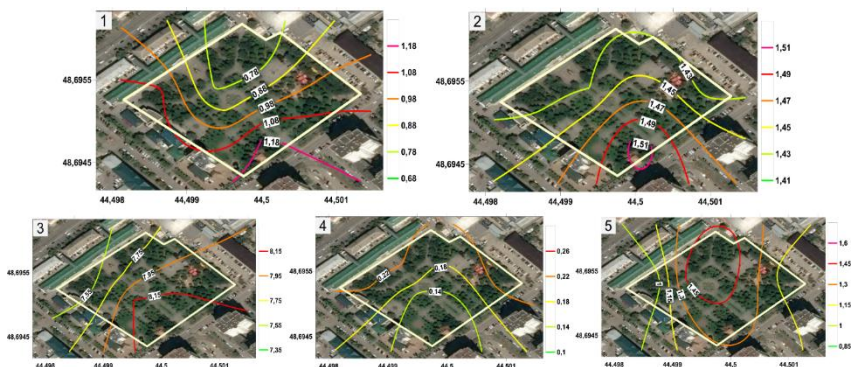


Рис. 4. Картографирование химических и физических свойств сквера им. Саша Филиппова. 1 – CaCO_3 , %; 2 – плотность почв, г/см^3 ; 3 – pH_(водный); 4 – общее солесодержание, %; 5 – $\text{C}_{\text{орг}}$, %.

Fig. 4. Mapping of chemical and physical properties in Sasha Filippov Square. 1 – CaCO_3 , %; 2 – soil density, g/cm^3 ; 3 – pH; 4 – salt content, %; 5 – organic carbon, %.

В целом все поверхностные горизонты и слои имеют низкие значения содержания солей. Максимальные значения зафиксированы в урбостратоземах типичных и техногенных, в которых отмечаются погребенные карбонатные горизонты бывших каштановых почв. В результате подтягивания почвенных растворов происходит незначительное увеличение общего солесодержания до 0.2%. Для остальных почвенных типов значения варьируют от 0.14 до 0.18%. В поливных зонах увеличение солесодержания может быть вызвано качеством воды, используемой для полива. Наиболее высокие (до 1.6%) значения углерода отмечены в верхних 0–30 см слоя RAT квазиземов. Далее при удалении от розари-

ев постепенно происходит уменьшение углерода, достигая минимальных значений на периферии сквера. В целом можно выстроить ряд почвенных типов и групп ТПО по уменьшению в них органического углерода: квазиземы → урбостратоземы компостно-гумусовые → урбостратоземы техногенные → урбостратоземы типичные. Содержание карбонатов кальция в верхних 30 см для всех почвенных типов и групп ТПО невелико и варьирует от 0.7 до 1.2%. Наибольшие значения CaCO_3 отмечаются в урбостратоземах с сохранившимися карбонатными горизонтами, верхние части которых при организации сквера могли быть нарушены и вовлечены (перемешаны) в урбиковые горизонты.

Величины плотности характеризуют почвы как сильно уплотненные. Ее значения в верхних 0–30 см варьируют от 1.4 до 1.5 г/см³. Наиболее уплотненными оказались горизонты URrat и RAT центральных и западных (поливных / газонных) частей. Это обусловлено высокой рекреационной нагрузкой на них, а также, возможно, собственной высокой плотностью дернины. Южная часть сквера также уплотнена ввиду того, что, как было отмечено ранее, на ней были постройки. Те части сквера, на которых отсутствует газон, не пользуются популярностью среди посетителей, и антропогенное воздействие на них почти отсутствует.

Верхние 0–30 см почв дендрария “ВНИАЛМИ” представлены следующими горизонтами: AJ, P, а также UR. Химические, физические свойства почв дендрария, в отличие от сквера им. Саши Филиппова, более однородны (рис. 5). Реакция среды верхних 0–30 см во всех горизонтах слабощелочная от 7.8 до 8.4. Наибольшие значения щелочности отмечены в горизонтах UR периферийных зон за счет включения в них антропогенных карбонатсодержащих артефактов (обломки кирпича, щебень, строительный мусор). Для естественных и агрогенных горизонтов каштановых почв и агроземов в целом реакция среды мало отличается и составляет 8.1 и 8.3 соответственно. Наименьшие значения выявлены для псаммоземов и стратоземов – 7.8, это обусловлено их расположением в понижениях рельефа (балки и микропонижения), за счет чего они получают наибольшее увлажнение и выщелачивание солей и карбонатов. Общее солесодержание в урбиковых горизон-

тах составляет 0.18%, в агрогоризонтах – 0.13–0.16%, светлогумусовых – до 0.12%.

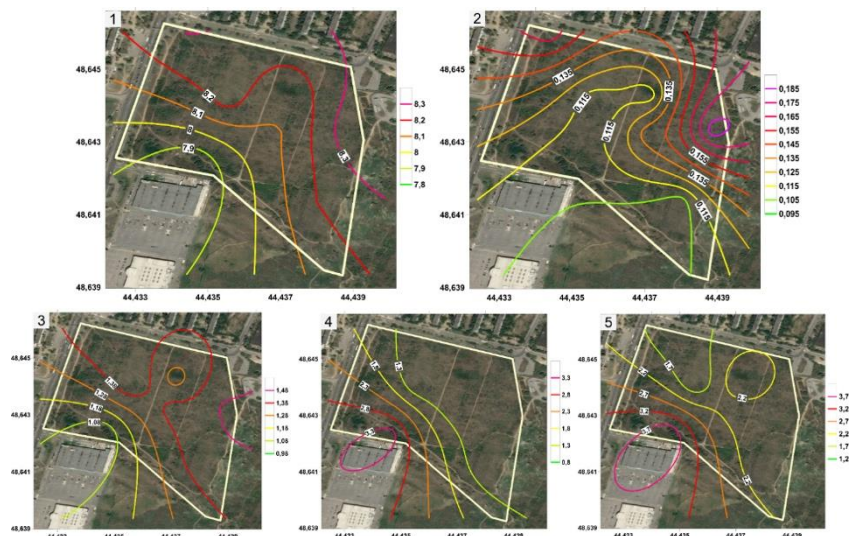


Рис. 5. Картографирование химических и физических свойств дендрария “ВНИАЛМИ”. 1 – CaCO_3 , %; 2 – плотность почв, г/см^3 ; 3 – $\text{pH}_{(\text{водный})}$; 4 – общее солесодержание, %; 5 – $\text{C}_{\text{орг}}$, %.

Fig. 5. Mapping of chemical and physical properties of VNIALMI arboretum. 1 – CaCO_3 , %; 2 – soil density, g/cm^3 ; 3 – pH ; 4 – salt content, %; 5 – organic carbon, %.

В протогумусовых горизонтах (W) балок общее солесодержание не превышает 0.09%. Что касается содержания органического углерода, то на основе составленной картосхемы выявлено, что светлогумусовые и агрогумусовые горизонты имеют небольшие значения $\text{C}_{\text{орг}}$ – от 0.8 до 1.3%. Наибольшие значения фиксируются в гумусовых горизонтах почв балок (до 3.5%), а также в урбиковых горизонтах (1.8–2.8%). Это обусловлено тем, что при техногенном воздействии на почвы, а именно при загрязнении битумно-асфальтовыми смесями, битуминозными веществами, са-

жей, нефтепродуктами, органическими взвешенными частицами, наблюдается увеличение содержания органического углерода ([Касимов и др., 2016](#)). Содержание карбонатов кальция в верхних 30 см также невелико и достигает максимума (4%) в урбиковых горизонтах южной и северной частей дендропарка. Естественные и агрогумусовые горизонты содержат от 1.8 до 2.2% карбонатов. Содержание карбонатов в пахотных и естественных горизонтах отражает зональные условия и соответствует общему содержанию CaCO_3 в естественных светлогумусовых горизонтах сухостепной зоны. Плотность поверхностных горизонтов напрямую зависит от их использования, как в настоящий момент, так и в прошлом. Периферийные зоны дендрария, пользующиеся популярностью у городского населения, изрезаны тропиной сетью, где фиксируются повышенные значения плотности (до 1.5 г/см^3). Южная и центральная часть дендропарка ввиду отсутствия рекреационной нагрузки характеризуется слабым (до 1.2 г/см^3) или почти полным отсутствием уплотнения (1.08 г/см^3). Для агрогоризонтов отмечается плотность от 1.28 до 1.38 г/см^3 , что обусловлено прошлой сельскохозяйственной деятельностью.

Верхние 0–30 см почв парка “Дружба” предоставлены горизонтами UR, RAT, SEL, AJ и AU. Химические, физические свойства почв парка характеризуются сильной пространственной неоднородностью (рис. 6). Величина pH варьирует от 7 до 8.2. Исходя из представленной картосхемы отчетливо выделяются две зоны с наибольшими значениями pH. Слабо- и среднещелочная реакция среды отмечена в северной и южной частях парка. Обусловлено это тем, что в указанных частях парка в настоящее время бывшие парковые сооружения разрушены, и на поверхности почвы в больших количествах содержатся антропогенные карбонатсодержащие включения щебня, кирпича, бетона. Для остальных зон парка реакция среды нейтральная или близкая к слабощелочной (7–7.25). На основе картосхемы выявлены две зоны с повышенными значениями солесодержания – северная и южная. Значения солесодержания в них варьируют от 0.3 до 0.4%. Высокие значения обусловлены тем, что современные урбиковые горизонты, вероятнее всего, образовались в результате трансформации естественных горизонтов, в которых морфологически фиксировались

гипсовые новообразования в виде пятен, вертикальных полос, а также крупных гипсан. Значения общего солесодержания на фоне гипсовых новообразований и включений (известково-гипсовых) могут быть ложно высокими. Для поверхностных горизонтов остальных частей парка характерны небольшие значения солей (до 0.2%). Показатели содержания органического углерода в парке очень высокие, превышающие аналогичные в других изученных рекреационных территориях в несколько раз.

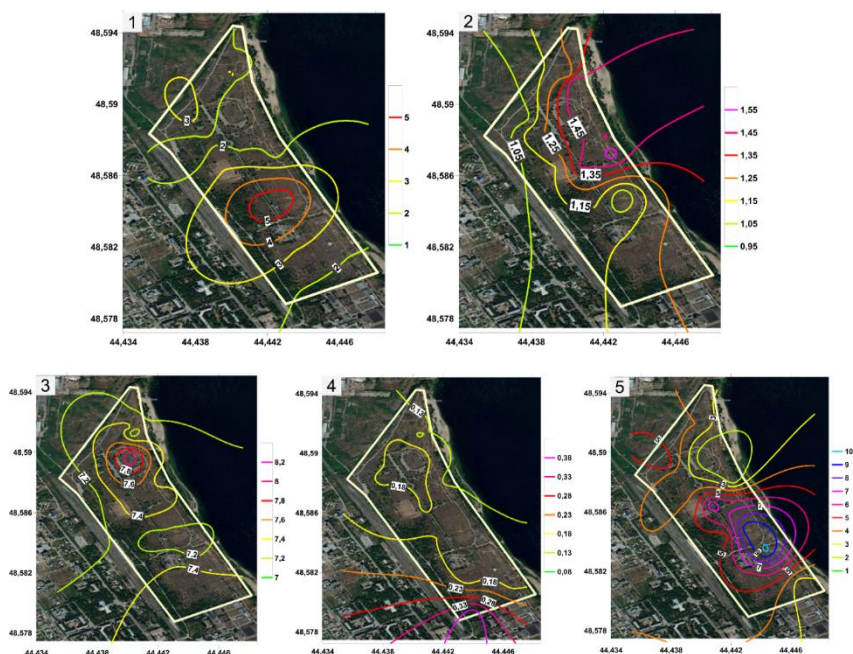


Рис. 6. Картографирование химических и физических свойств парка “Дружба”. Примечание: 1 – CaCO₃, %; 2 – плотность почв, г/см³; 3 – pH_(водный); 4 – общее солесодержание, %; 5 – C_{орг}, %.

Fig. 6. Mapping of chemical and physical properties Druzhba Park. Note: 1 – CaCO₃, %; 2 – soil density, g/cm³; 3 – pH; 4 – salt content, %; 5 – organic carbon, %.

В наиболее урбанизированных (северных и южных) частях парка значения содержания углерода минимальны – от 1 до 3%. В юго-восточной части, где встречаются естественные гумусовые горизонты AJ, AU, показатели углерода в среднем от 3 до 5%. В рекультивационных горизонтах RAT квазиземов отмечены значения содержания углерода от 5 до 10%. Содержание карбоната кальция в большинстве поверхностных горизонтов невелико и составляет менее 2%. На местах бывших строительных сооружений, дорог и разрушенных площадок, и стадионов вследствие содержания большого количества антропогенных включений происходит окарбоначивание верхних урбиковых и техногенных горизонтов до 5–6%. Несмотря на существовавшую ранее высокую рекреационную активность, верхние горизонты почв характеризуется слабым уплотнением (до 1.3 г/см³), а местами и отсутствием уплотнения (0.9–1.1 г/см³). Наибольшие значения плотности фиксируются в техногенных горизонтах ТСН под дорогами и зданиями (1.3–1.4 г/см³), а также в урбиковых горизонтах футбольных полей и беговых дорожек. Также повышенные значения плотности могут быть объяснены частыми пожарами, при которых происходит ухудшение структуры и дальнейшее увеличение плотности. Наименьшая плотность отмечена в естественных и квазиестественных (AJur/AUur) горизонтах.

Проводя параллель между исследованиями других авторов в других городах можно сделать вывод, что, во-первых, урбанизация сопровождается привносом строительного щебня, кирпича и других строительных материалов, в результате чего может произойти структурная деградация почв и последующее уплотнение, а также подщелачивание и окарбоначивание городских почв ([Jim, 1998](#)), что делает их менее пригодными для выращивания древесно-кустарниковой и травянистой растительности.

Во-вторых, пространственная неоднородность почвенного покрова в городе является результатом техногенных преобразований и мелиорации (создание озелененных рекреационных территорий), следовательно, их свойства могут быть различны в зависимости от режима использования территории ([Прокофьева, Герасимова, 2018](#)).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе полученных картографических материалов были сделаны следующие основные выводы:

1. Кислотно-щелочные свойства верхних 0–30 см во всех исследуемых рекреационных территориях варьируют от слабощелочных до щелочных (7–8,4 pH).

2. Во всех исследуемых ключевых участках не выявлено высоких показателей общего солесодержания.

3. В целом можно выстроить ряд почвенных типов и групп ТПО по уменьшению в них органического углерода: квазиземы → урбостратоземы компостно-гумусовые → урбостратоземы техногенные → урбостратоземы типичные → техноземы. Естественные горизонты АJ имеют типичные для данной зоны значения содержания углерода. Гумусо-аккумулятивные горизонты АU в парке “Дружба” характеризуются как сильно гумусированные.

4. Содержание карбонатов кальция в мелкоземе верхних 30 см для всех почвенных типов и групп ТПО невелико и варьирует от 0,7 до 5%. Как и с органическим углеродом можно выстроить ряд по увеличению содержания карбоната кальция: техногенные горизонты (ТСН) → урбиковые горизонты (UR) → урбиковые компостно-гумусовые (URrat) → естественные светло- и темногумусовые горизонты (AJ, AU) → рекультивационные горизонты (RAT).

5. Плотность поверхностных горизонтов напрямую зависит от их использования, как в настоящий момент, так и ранее. Периферийные и центральные зоны, пользующиеся популярностью у городского населения, изрезаны тропиночными сетями, в которых фиксируются повышенные значения плотности (до 1,6 г/см³).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу. М: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
2. Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н. Физические характеристики городских почв Ростовской агломерации // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1153–1159. DOI: [10.1134/S1064229318090028](https://doi.org/10.1134/S1064229318090028).

3. Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Картографирование ландшафтно-геохимической структуры урбанизированной территории (на примере Москвы) // ИнтерКарто/ИнтерГИС. 2017. Т. 23. № 1. С. 242–255. DOI: [10.24057/2414-9179-2017-1-23-242-255](https://doi.org/10.24057/2414-9179-2017-1-23-242-255).
4. Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
5. Околенова А.А., Егорова Г.С., Нефедьева Е.Э. Почвы урболандшафтов. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2021. 72 с.
6. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
7. Попов А.С., Луганский Н.В., Луганский Н.С., Ненашев Н.С. Состояние и динамика свойств глеево-подзолистых почв в условиях антропогенеза (на примере парка им. Е.Ф. Козлова в городе Надым, Ямало-Ненецкий автономный округ) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. № 3 (137). 2016. С. 63–67.
8. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И. Городские почвы: диагностика и классификационное определение по материалам научной конференции SUITMA-9 по Москве // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1057–1070. DOI: [10.1134/S1064229318090090](https://doi.org/10.1134/S1064229318090090).
9. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.И. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164. DOI: [10.1134/S1064229314100093](https://doi.org/10.1134/S1064229314100093).
10. Саблина О.А., Турлибекова Д.М. Урбаноземы рекреационных зон города Орска. // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. № 6 (155). С. 78–80.
11. Сизов А.П. Мониторинг и охрана городских земель: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям укрупненных направлений 120 000 “Геодезия и землеустройство”. М.: МИИГАиК, 2009. 264 с.
12. Тагиров Р.М., Александрова А.Б. Оценка состояния почв парков центральной части г. Казани // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 4 (16). С. 42–46.
13. Шеин Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
14. Чупина В.Т. Антропогенные почвы ботанических садов (обзор) // Почвоведение. 2020. № 4. С. 495–506. DOI: [10.1134/S1064229320040043](https://doi.org/10.1134/S1064229320040043).
15. Davies R., Hall S.J. Direct and indirect effects of urbanization on soil and plant nutrients in desert ecosystems of the Phoenix metropolitan area, Arizona

(USA) // Urban Ecosyst. 2010. № 13. P. 295–317. DOI: [10.1007/s11252-010-0120-0](https://doi.org/10.1007/s11252-010-0120-0).

16. Gordienko O., Balkushkin R., Kholodenko A., Ivantsova E. Influence of ecological and anthropogenic factors on soil transformation in recreational areas of Volgograd (Russia) // Catena. 2022. Vol. 208. P. 105773. DOI: [10.1016/j.catena.2021.105773](https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105773).

17. Hamzeh M.A., Aftabi A., Mirzaee M. Assessing geochemical influence of traffic and other vehicle-related activities on heavy metal contamination in urban soils of Kerman city, using a GIS-based approach // Environ Geochem Health. 2011. № 33. P. 577–594. DOI: [10.1007/s10653-010-9372-0](https://doi.org/10.1007/s10653-010-9372-0).

18. Hladky J., Radziemska M., Klim M., Koudelkov Z., Bal L., Va M. Assessment of phytotoxicity, environmental and health risks of historical urban park soils // Chemosphere. 2018. Vol. 220. P. 678–686. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2018.12.188](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.188).

19. Charzynski P., Bednarek R., Hudanska P., Switoniak M. Issues related to classification of garden soils from the urban area of Torun. Poland // Soil Sci. Plant Nutr. 2018. No. 64. P. 132–137. DOI: [10.1080/00380768.2018.1429833](https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1429833).

20. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.

21. Ivantsova E.A., Ovsyankin R.V., Matveeva A., Onistratenko N. Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using Gis-Technologies // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. No. 224. P. 012036. DOI: [10.1088/1755-1315/224/1/012036](https://doi.org/10.1088/1755-1315/224/1/012036).

22. Jenerette G.D., Wu J., Grimm N.B., Hope D. Points, patches, and regions: scaling soil biogeochemical patterns in an urbanized arid ecosystem // Glob Chang Biol. 2006. No. 12. P. 1532–1544. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2006.01182.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01182.x).

23. Jim C.Y. Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong // Landscape and Urban Planning. 1998. No. 40. P. 235–249. DOI: [10.1016/S0169-2046\(97\)00117-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(97)00117-5).

24. Lu S.G., Bai S.Q. Contamination and potential mobility assessment of heavy metals in urban soils of Hangzhou, China: relationship with different land uses // Environmental Earth Sciences. 2010. No. 60. P. 1481–1490. DOI: [10.1007/s12665-009-0283-2](https://doi.org/10.1007/s12665-009-0283-2).

25. Kulik A.K., Balkushkin R.N., Vlasenko M.V., Zaitsev A.A., Khnyckin A.S. Current state of landscaping objects in Volzhsky // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 6. 2022. P. 042064. DOI: [10.1088/1755-1315/981/4/042064](https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042064).

26. *Mao Q., Huang G., Buyantuev A.* Spatial heterogeneity of urban soils: the case of the Beijing metropolitan region, China // *Ecol Process*. 2014. No. 3. P. 1–11. DOI: [10.1186/s13717-014-0023-8](https://doi.org/10.1186/s13717-014-0023-8).
27. *Minasny B., McBratney A.B.* Digital soil mapping: A brief history and some lessons // *Geoderma*. 2016. No. 264. P. 301–311. DOI: [10.1016/j.geoderma.2015.07.017](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.017).
28. *Pouyat R., Yesilonis I., Szlavecz K., Csuzdi C., Hornung E., Korsós Z., Russell-Anelli J., Giorgio V.* Response of forest soil properties to urbanization gradients in three metropolitan areas // *Landsc. Ecol*. 2008. No. 23. P. 1187–1203. DOI: [10.1007/s10980-008-9288-6](https://doi.org/10.1007/s10980-008-9288-6).
29. *Pouyat R., Yesilonis I., Russell-Anelli J., Neerchal N.* Soil chemical and physical properties that differentiate urban land-use and cover types // *Soil Sci Soc Am J*. 2007. No. 71. P. 1010–1019. DOI: [10.2136/sssaj2006.0164](https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0164).
30. *Tikhonova A., Polovinkina Yu., Gordienko O., Manaenkov I.* Features of Monitoring Heavy Metals in Soil Cover of Urban Environment // *Proc. of the IV Int. Sci. and Prac. Conf. "Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society"*. 2020. P. 286–291. DOI: [10.2991/aer.k.200202.058](https://doi.org/10.2991/aer.k.200202.058).
31. *van Reeuwijk L.P.* Procedures for soil analysis. ISRIC-FAO. 2002. ISRIC Technical Paper No. 9. 6th edition. 119 p.
32. *Wang W., Lai Y., Ma Y., Liu Z., Wang S., Hong C.* Heavy metal contamination of urban topsoil in a petrochemical industrial city in Xinjiang, China // *J. Arid Land*. 2016. No. 8. P. 871–880. DOI: [10.1007/s40333-016-0057-0](https://doi.org/10.1007/s40333-016-0057-0).
33. *Yang L., Li Y., Peng K., Wu S.* Nutrients and heavy metals in urban soils under different green space types in Anji, China // *Catena*. 2014. No. 115. P. 39–46. DOI: [10.1016/j.catena.2013.11.008](https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.008).
34. *Zhao D., Li F., Yang Q., Wang R., Song Y., Tao Y.* The influence of different types of urban land use on soil microbial biomass and functional diversity in Beijing, China // *Soil Use Manag*. 2013. No. 29. P. 230–239. DOI: [10.1111/sum.12034](https://doi.org/10.1111/sum.12034).
35. *Zhu W.-X., Hope D., Gries C., Grimm N.B.* Soil characteristics and the accumulation of inorganic nitrogen in an arid urban ecosystem // *Ecosystems*. 2006. 9. P. 711–724. DOI: [10.1007/s10021-006-0078-1](https://doi.org/10.1007/s10021-006-0078-1).

REFERENCES

1. *Arinushkina E.V., Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv* (A manual on chemical analysis of soils), Moscow: Moscow State University, 1961, 491 p.

2. Bezuglova O.S., Tagiverdiev S.S., Gorbov S.N., Fizicheskie harakteristiki gorodskih pochv Rostovskoj aglomeracii (Physical properties of urban soils in Rostov agglomeration), *Pochvovedenie*, 2018, No. 9, pp. 1153–1159, DOI: [10.1134/S1064229318090028](https://doi.org/10.1134/S1064229318090028).
3. Vlasov D.V., Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Kartografirovaniye landshaftno-geohimicheskoy struktury urbanizirovannoy territorii (na primere Moskvy) (Mapping of landscape and geochemical structure of urban territory (Moscow case study)), *InterKarto/InterGIS*, No. 1, pp. 242–255, DOI: [10.24057/2414-9179-2017-1-23-242-255](https://doi.org/10.24057/2414-9179-2017-1-23-242-255).
4. Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Geochemistry of landscapes in Eastern Moscow (Geohimiya landshaftov Vostochnoy Moskvy), Moscow: APR, 2016, 279 p.
5. Okolelova A.A., Egorova G.S., Nefed'eva E.E., *Pochvy urbolandshaftov* (Soils of urban landscapes), Volgograd: Volgogradskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2021, 72 p.
6. *Polevoy opredelitel pochv Rossii* (Field determinant of soils of Russia), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2008, 182 p.
7. Popov A.S., Luganskij N.V., Luganskij N.S., Nenashev N.S., Sostoyaniye i dinamika svoystv gleevo-podzolistykh pochv v usloviyakh antropogeneza (na primere parka im. E.F. Kozlova v gorode Nadym, YAmalo-Neneckij avtonomnyj okrug) (State and dynamics of the properties of gley-podzol soils under anthropogenesis (by the example of E.F. Kozlov Park in Nadym, Yamalo-Nenets Autonomous District)), *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, No. 3 (137), 2016, pp. 63–67.
8. Prokofeva T.V., Gerasimova M.I., Urban Soils: Diagnostics and Taxonomic Position according to Materials of Scientific Excursion in Moscow at the Suitma-9 Workshop, *Eurasian Soil Sc.*, 2018, Vol. 51, pp. 995–1007, DOI: [10.1134/S1064229318090090](https://doi.org/10.1134/S1064229318090090).
9. Prokof'eva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S., Bahmatova K.A., Gol'eva A.A., Gorbov S.N., Zharikova E.A., Matinyan N.N., Nakvasina E.N., Sivceva N.I., Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian soil classification system, *Eurasian Soil Sc.*, 2014, Vol. 47, pp. 959–967, DOI: [10.1134/S1064229314100093](https://doi.org/10.1134/S1064229314100093).
10. Sablina O.A., Turlibekova D.M., Urbanozemnyye rekreacionnyye zony goroda Orska (Urbanozem recreational zones of Orsk), *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, No. 6 (155), pp. 78–80.
11. Sizov A.P., *Monitoring i ohrana gorodskih zemel'* (Monitoring and protection of urban land), Moscow: MIIGAik, 2009, 264 p.
12. Tagirov R.M., Aleksandrova A.B., Ocenka sostoyaniya pochv parkov central'noj chasti g. Kazani (Assessment of soil conditions in parks of the

central part of Kazan), *Rossiiskij zhurnal prikladnoj ekologii*, 2018, No. 4 (16), pp. 42–46.

13. Shein E.V., *Kurs fiziki pochv* (Course of physics of soils), Moscow: Izd-vo MGU, 2005, 432 p.

14. Chupina V.I., Anthropogenic Soils of Botanical Gardens: A Review, *Eurasian Soil Sc.*, 2020, Vol. 53, pp. 523–533, DOI: [10.1134/S1064229320040043](https://doi.org/10.1134/S1064229320040043).

15. Davies R., Hall S.J., Direct and indirect effects of urbanization on soil and plant nutrients in desert ecosystems of the Phoenix metropolitan area, Arizona (USA), *Urban Ecosyst.*, 2010, No. 13, pp. 295–317, DOI: [10.1007/s11252-010-0120-0](https://doi.org/10.1007/s11252-010-0120-0).

16. Gordienko O., Balkushkin R., Kholodenko A., Ivantsova E., Influence of ecological and anthropogenic factors on soil transformation in recreational areas of Volgograd (Russia), *Catena*, 2022, Vol. 208, pp. 105773, DOI: [10.1016/j.catena.2021.105773](https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105773).

17. Hamzeh M.A., Aftabi A., Mirzaee M., Assessing geochemical influence of traffic and other vehicle-related activities on heavy metal contamination in urban soils of Kerman city, using a GIS-based approach, *Environ Geochem Health*, 2011, No. 33, pp. 577–594, DOI: [10.1007/s10653-010-9372-0](https://doi.org/10.1007/s10653-010-9372-0).

18. Hladky J., Radziemska M., Klim M., Koudelkov Z., Bal L., Va M., Assessment of phytotoxicity, environmental and health risks of historical urban park soils, *Chemosphere*, 2018, Vol. 220, pp. 678–686, DOI: [10.1016/j.chemosphere.2018.12.188](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.188).

19. Charzynski P., Bednarek R., Hudanska P., Switoniak M., Issues related to classification of garden soils from the urban area of Torun. Poland, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 2018, No. 64, pp. 132–137, DOI: [10.1080/00380768.2018.1429833](https://doi.org/10.1080/00380768.2018.1429833).

20. IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.

21. Ivantsova E.A., Ovsyankin R.V., Matveeva A., Onistratenko N., Environmental Evaluation of the System of Protective Forest Plantations in Urban Landscapes Volgograd Agglomeration Using Gis-Technologies, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, No. 224, pp. 012036, DOI: [10.1088/1755-1315/224/1/012036](https://doi.org/10.1088/1755-1315/224/1/012036).

22. Jenerette G.D., Wu J., Grimm N.B., Hope D., Points, patches, and regions: scaling soil biogeochemical patterns in an urbanized arid ecosystem, *Glob Chang Biol.*, 2006, No. 12, pp. 1532–1544, DOI: [10.1111/j.1365-2486.2006.01182.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01182.x).

23. Jim C.Y., Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong, *Landscape and Urban Planning*, 1998, No. 40, pp. 235–249, DOI: [10.1016/S0169-2046\(97\)00117-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(97)00117-5).
24. Lu S.G., Bai S.Q., Contamination and potential mobility assessment of heavy metals in urban soils of Hangzhou, China: relationship with different land uses, *Environmental Earth Sciences*, 2010, No. 60, pp. 1481–1490, DOI: [10.1007/s12665-009-0283-2](https://doi.org/10.1007/s12665-009-0283-2).
25. Kulik A.K., Balkushkin R.N., Vlasenko M.V., Zaitsev A.A., Khnyckin A.S., Current state of landscaping objects in Volzhsky, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*: 6, 2022, 042064, DOI: [10.1088/1755-1315/981/4/042064](https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042064).
26. Mao Q., Huang G., Buyantuev A., Spatial heterogeneity of urban soils: the case of the Beijing metropolitan region, China, *Ecol. Process*, 2014, No. 3, pp. 1–11. DOI: [10.1186/s13717-014-0023-8](https://doi.org/10.1186/s13717-014-0023-8).
27. Minasny B., McBratney A.B., Digital soil mapping: A brief history and some lessons, *Geoderma*, 2016, No. 264, pp. 301–311, DOI: [10.1016/J.GEODERMA.2015.07.017](https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2015.07.017).
28. Pouyat R., Yesilonis I., Szlavecz K., Csuzdi C., Hornung E., Korsós Z., Russell-Anelli J., Giorgio V., Response of forest soil properties to urbanization gradients in three metropolitan areas, *Landsc Ecol*, 2008, No. 23, pp. 1187–1203, DOI: [10.1007/s10980-008-9288-6](https://doi.org/10.1007/s10980-008-9288-6).
29. Pouyat R., Yesilonis I., Russell-Anelli J., Neerchal N., Soil chemical and physical properties that differentiate urban land-use and cover types, *Soil Sci Soc Am J.*, 2007, No. 71, pp. 1010–1019. DOI: [10.2136/sssaj2006.0164](https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0164).
30. Tikhonova A., Polovinkina Yu., Gordienko O., Manaenkov I., Features of Monitoring Heavy Metals in Soil Cover of Urban Environment, *Proc. of the IV International Sci. and Prac. Conf. "Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society"*, 2020, pp. 286–291, DOI: [10.2991/aer.k.200202.058](https://doi.org/10.2991/aer.k.200202.058).
31. van Reeuwijk L.P., *Procedures for soil analysis*. ISRIC-FAO. ISRIC Technical Paper No. 9, 6th edition, 2002, 119 p.
32. Wang W., Lai Y., Ma Y., Liu Z., Wang S., Hong C., Heavy metal contamination of urban topsoil in a petrochemical industrial city in Xinjiang, China, *J. Arid Land*, 2016, No. 8, pp. 871–880, DOI: [10.1007/s40333-016-0057-0](https://doi.org/10.1007/s40333-016-0057-0).
33. Yang L., Li Y., Peng K., Wu S., Nutrients and heavy metals in urban soils under different green space types in Anji, China, *Catena*, 2014, No. 115, pp. 39–46, DOI: [10.1016/j.catena.2013.11.008](https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.008).
34. Zhao D., Li F., Yang Q., Wang R., Song Y., Tao Y., The influence of different types of urban land use on soil microbial biomass and functional

diversity in Beijing, China, *Soil Use Manag.*, 2013, No. 29, pp. 230–239, DOI: [10.1111/sum.12034](https://doi.org/10.1111/sum.12034).

35. Zhu W.-X., Hope D., Gries C., Grimm N.B., Soil characteristics and the accumulation of inorganic nitrogen in an arid urban ecosystem, *Ecosystems*, 2006, Vol. 9, pp. 711–724, DOI: [10.1007/s10021-006-0078-1](https://doi.org/10.1007/s10021-006-0078-1).