

## ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.4

### КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗАПЕЧАТАННОСТИ ПОЧВ ГОРОДА ВОЛГОГРАДА

© 2019 г. О. А. Гордиенко<sup>а, б</sup>, И. В. Манаенков<sup>а, \*</sup>, А. В. Холоденко<sup>а</sup>, Е. А. Иванцова<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Волгоградский государственный университет, Университетский пр-т, 100, Волгоград, 400062 Россия

<sup>б</sup>Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, Университетский пр-т, 97, Волгоград, 400062 Россия

\*e-mail: manaenkov@volsu.ru

Поступила в редакцию 01.07.2018 г.

После доработки 14.03.2019 г.

Принята к публикации 24.04.2019 г.

Изложены результаты картографирования и оценки степени запечатанности почв города Волгограда (Российская Федерация). В основе картографирования почвенного покрова лежат результаты дешифрирования космоснимков с последующим уточнением в рамках полевых исследований на 35 участках в пределах различных функциональных зон города. Также по результатам дешифрирования космоснимков на территории функциональных зон выделяли поверхности со степенью запечатанности (0–99%), включая покрытие почвенного покрова постройками и дорогами. Для обработки полученных данных применяли программное обеспечение MapInfoProfessional 10.0. По результатам проведенных картографических исследований впервые для обновленных границ города рассчитаны площади отдельных типов почв и почвенных комбинаций естественного и антропогенного происхождения, дана расчетная оценка степени их запечатанности. Преобладающими (25.86%) типами естественных почв для территории г. Волгограда являются каштановые почвы различного гранулометрического состава и степени солонцеватости [23] (Cambisols и Cambisols (Sodic)) и естественных поверхностно-преобразованных агроземов текстурно-карбонатных (Cambisols (Aric), Cambisols (Aric, Sodic)) 18.67%. Антропогенно-преобразованные представлены широким спектром почв, включая экранированные почвы (Ekranic Technosols), урбостратоземы (Urbic Technosols), в том числе химически загрязненные (Technosols (Toxic)), а также квазиземы (Urbic Technosols). Установлена приуроченность антропогенно-измененных почв к восточной части города, а естественных почв к западным территориям. Суммарное расчетное значение доли запечатанных поверхностей составляет 18% от площади г. Волгограда, что установлено на оценке показателя для отдельных функциональных зон города и сложившегося режима использования территории. Полученные результаты могут быть востребованы для решения задач территориального планирования в рамках существующих функциональных зон, и при реализации работ по озеленению и прочему благоустройству городской территории.

**Ключевые слова:** городские почвы (Urban Soil), запечатанные почвы (sealed soils), урбостратоземы (Urbic Technosols), каштановые типичные (Cambisols), каштановые солонцеватые (Cambisols (Sodic)), агроземы текстурно-карбонатные (Cambisols (Aric), Cambisols (Aric, Sodic))

**DOI:** 10.1134/S0032180X19110054

#### ВВЕДЕНИЕ

Попытки определить степень запечатанности городских почв были предприняты в работах Кошелевой для г. Волгограда [8], Прокофьевой и Хайбрахмановой для г. Москвы [14, 17, 21], Гарсии и Кортихо для г. Мадрида [24–26]. К запечатанным относятся почвы и грунты, перекрытые различными поверхностями (асфальтом, асфальтобетоном) или строениями [14]. Разными авторами степень запечатанности трактуется и как оценка интенсивности хозяйственного освоения [8], и как ранжированная оценка экологического состояния территории, в обоих случаях в основе

лежит определение процентного отношения открытых и запечатанных поверхностей [14, 21]. Непосредственно картографированием и систематикой городских почв Волгограда занимались ученые ФНЦ агроэкологии РАН [9, 10]. При картографировании городских почв использовалась интерпретированная авторами совокупность различных классификаций либо крайне устаревших, либо малоинформативных, с точки зрения идентификации того или иного типа почв, что усложняет сравнение полученных результатов с опытом других исследователей. Основным подходом к картографированию было дешифрирование космоснимков без подтверждения полевыми данными

ми, что снижает общую достоверность результата. С учетом вышесказанного целесообразна актуализация исследований [9, 10] на основе универсального многократно апробированного, качественно методически проработанного подхода к классификации и картографированию почв городских территорий [18], в том числе с учетом изменившейся административной границы г. Волгограда, его общей площади и площади функциональных зон.

Цель работы – картографирование и определение расчетной степени запечатанности городских почв на территории г. Волгограда.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являются почвы г. Волгограда, земли которого вытянуты вдоль р. Волга на расстояние более 90 км. Его территория делится на восемь районов, последовательно сменяющих друг друга с севера на юг (Тракторозаводской, Краснооктябрьский, Дзержинский, Центральный, Ворошиловский, Советский, Кировский и Красноармейский).

Волгоград расположен в зоне распространения каштановых почв. Преобладают каштановые почвы различного гранулометрического состава и степени солонцеватости (Cambisols, Cambisols (Sodic)) с содержанием  $\text{CaCO}_3$  не более 9% [23]. Древесная растительность представлена городскими зелеными насаждениями, естественными байрачными лесами и искусственными насаждениями зеленой зоны города (зеленого кольца) [10].

При реализации исследований почвенного покрова г. Волгограда с учетом морфологических особенностей городских почв территорию города разделили на зоны, частично совпадающие с действующим функциональным зонированием, а в некоторых случаях дополняющие его. Картографирование почвенного покрова осуществляли на основе существующего функционального зонирования г. Волгограда. Для каждой зоны выделили контрольные точки (для зон специального назначения, спортивных и комплексных сооружений – по одной точке; для зон сельскохозяйственного использования, транспортной инфраструктуры и производственно-деловой и промышленной зоны – по три; для зон озелененных территорий рекреационного значения, земель запаса, пустырей и зон коллективных садов и дач – по четыре; для зоны застройки индивидуальными жилыми домами – семь; для зоны застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями – девять), для которых провели полевое эталонирование (почвенные разрезы, прикопки, полуямы) по стандартным методикам [15]. Количество точек (разрезов) для каждой функциональной зоны определяли исходя из ее площади и комплексности почвенного покрова. Впоследствии

по данным литературных источников и результатам полевых исследований, с учетом схожести общих условий почвообразования на территории города были выделены ареалы распространения отдельных типов и подтипов почв.

В рамках жилой зоны по существующему функциональному зонированию дополнительно выделили зону много-, мало- и среднеэтажных жилых зданий и зону индивидуальных жилых домов; в общественно-деловой зоне существующего зонирования – зону много-, мало- и среднеэтажных жилых зданий и зону спортивных и комплексных сооружений; зона озелененных территорий рекреационного значения помимо собственного зоны озелененных территорий рекреационного значения включала земли запаса и пустыри, выделена зона сельскохозяйственного использования. Зона коллективных садов и дач дана без изменений, производственную и коммунальную зону рассматривали как промышленную; зону объектов специального назначения – как зону кладбищ, так как г. Волгоград не содержит других объектов; зону инженерной и транспортной инфраструктур – как зону транспортной инфраструктуры.

По данным картографирования, площадь г. Волгограда составляет 825.66 км<sup>2</sup>. Картографирование почвенного покрова проводили по районам. В качестве растровой основы для ГИС картографирования в программе MapInfo использовали космический снимок М 1 : 50000 (спутник Bing). Результаты дешифрирования снимков уточняли по данным полевых исследований: в разных функциональных зонах города заложили 35 почвенных разрезов [15, 16], а также учитывали результаты полевого обследования (15 разрезов), выполненные другими авторами [12]. Таким образом, объем рассматриваемых полевых описаний составляет 50 разрезов. В основу исследования положен факт, что формирующим фактором развития почвенного покрова является тип землепользования отдельных участков на территории города, что отражается в системе функционального зонирования [13]. Для определения степени запечатанности, следуя апробированному ранее Кошелевой подходу [8], рассмотрены 6 городских зон: промышленная, дачной застройки, транспортная, селитебная, которая в свою очередь делится на зону много-, мало- и среднеэтажной и индивидуальной застройки, а также открытые участки, объединяющие зоны озелененных территорий рекреационного значения, кладбищ, спортивных и комплексных сооружений, сельскохозяйственного использования, земли запаса и пустыри.

Для определения степени запечатанности почвенного покрова для обследуемых функциональных зон для территории города по 36 полигонам (по 6 полигонов для каждой из 6 функциональных зон), соответствующим каждой функцио-

нальной зоне, провели дешифрирование космического снимка (Bing 2017) ручным способом по совокупности признаков (характер поверхности по текстуре и фототону; наличие строений по рисунку изображения, форме и размеру объектов; тип дорожного покрытия по ширине и цветности полотна и др.). По результатам дешифрирования была выявлена доля открытых и запечатанных поверхностей для каждого полигона, по которым расчетным методом получили средние значения для обследуемых полигонов каждой функциональной зоны с последующей экстраполяцией на ее общую площадь в пределах города. При оценке степени запечатанности, которая на территории города варьирует от 0 до 99%, учитывали покрытие поверхности (почв и грунтов) постройками и дорожной сетью.

На текущий момент в российской и мировой литературе по почвоведению отсутствует единый подход к классификации городских почв, в связи с чем этот вопрос остается дискуссионным [18]. В российских классификациях почв 1977 [7] и 2004 гг. [23] почвы урбанизированных территорий подробно не рассматривались.

В процессе написания статьи были использованы три различные почвенные классификации. Непосредственно для классификация городских почв использовали классификацию Прокофьевой [18, 25], которая коррелирует с классификацией почв России 2004 г. [23], применявшейся нами для идентификации неизмененных и слабоизмененных почв на территории г. Волгограда, а также международная классификация почв WRB 2014 [26].

Так как по снимкам с большой точностью практически невозможно отличить естественные каштановые и каштановые солонцеватые почвы от слабонарушенных каштановых урбистратифицированных и каштановых урбистратифицированных солонцеватых, антропогенное преобразование которых ограничивается изменением отдельных морфологических и аналитических свойств, было принято решение объединить данные разности почв, отражаемые на карте (рис. 1) одним цветом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

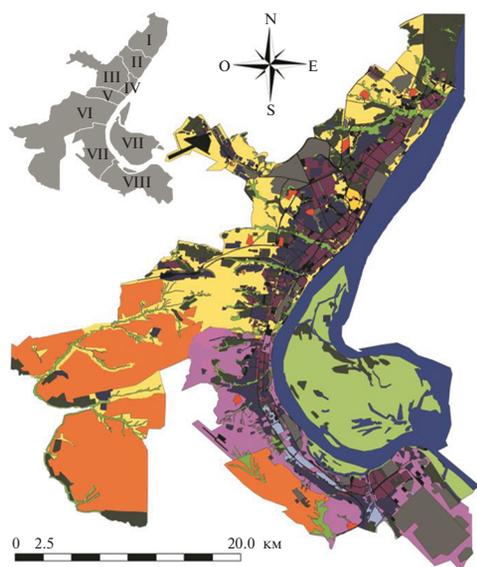
В современном Волгограде сосредоточен значительный промышленный, культурный и жилищно-коммунальный потенциал. Почвы на территории города сильно изменены, главным фактором почвообразования является урбаногенный.

Картосхема антропогенных и естественных почв города Волгограда представлена на рис. 1.

Анализ отечественного и зарубежного опыта [1, 2, 4, 6, 15, 17, 22, 24, 25, 27, 29–35] картографирования почв урбанизированных территорий показал, что используемый авторами подход универсален и является востребованным в аналогич-

ных исследованиях. Подход применим как для крупных городов с населением более 1 млн человек (Пермь, Москва, Тхыат-хьен-Хюэ), так и для малонаселенных городов (Биробиджан, Торунь, Оснабрюк) и позволяет обеспечить достаточную детализацию при масштабах 1 : 25 000 и 1 : 100 000 и менее. Его преимущество основано на учете сложившейся структуры города в виде функционального зонирования, естественных и антропогенных условий почвообразования, что обеспечивает высокую точность картографирования городских почв (масштаб от 1 : 25 000), в том числе за счет соотношения данных дистанционного зондирования с данными полевых исследований. Подобный опыт характерен в основном для российских городов [2, 4, 6, 22, 24, 29] и был реализован в данном исследовании для г. Волгограда. Это особенно актуально при линейном типе городской планировки крупного города (население 1 млн человек), обуславливающим существенные различия как в темпах и интенсивности городской застройки и промышленного освоения, так и в разнообразии почвенно-экологических условий. Важное значение в исследованиях подобного рода имеет степень проработанности классификации антропогенных почв. Так, для городов Москва и Торунь применялись классификации на уровне типов и подтипов антропогенно-трансформированных почв, как авторские [1], так и универсальные (WRB 2014) или соотносимые с ней [18, 24, 28], в то время как для городов Нанкин и Тхыат-хьен-Хюэ детализация сводилась к выделению на территории города застроенных участков ("urban area" [35]) без отсылки к типам почв [30, 32]. При этом в зарубежной практике часто большое внимание уделяется детализации естественных и сельскохозяйственных почв, расположенных на территории города [30, 32, 34–36]. При картографировании почв г. Волгограда применяли классификацию Прокофьевой с соавт. [18], позволившую актуализировать ранний опыт картографирования почв г. Волгограда, реализованный Куликом и соавт. [9, 10]. Такой уровень детализации (картографирование почвенного покрова г. Волгограда в масштабе 1 : 35 000) позволил анализировать пространственное распределение отдельных типов и подтипов и их комплексов в привязке к функциональным зонам города, что имеет большое практическое значение при планировании развития городской территории.

В зоне озелененных территорий рекреационного значения, землях запаса, пустырей общей площадью 374.31 км<sup>2</sup> (45.3% от площади г. Волгограда) почвенный покров представлен в основном каштановыми квазиглееватыми почвами и стратоземами светлогумусовыми – 38.46 км<sup>2</sup> (4.65%), солонцами светлыми квазиглеевыми – 7.07 км<sup>2</sup> (0.86%), аллювиальными – 115.06 км<sup>2</sup> (13.92%), а



Зона города	Почвы и техногенно-поверхностные образования, входящие в состав почвенного покрова функциональной зоны	Цвет на карте
1	Каштановые (Cambisols) и каштановые урбистратифицированные (Cambisols (Novic, Technic))	[Yellow, Pink, Green, Light Green, Light Blue]
	Каштановые солонцеватые (Cambisols (Sodic)) с солонцами светлыми (Calcic Solonetz) и каштановые урбистратифицированные солонцеватые (Cambisols (Sodic, Novic, Technic))	
	Аллювиальные (Fluvisols)	
	Каштановые квазиглееватые (Gleyic Cambisols) и почвы днищ балок стратоземы светлогумусовые (Colluvic Regosols)	
	Солонцы светлые квазиглеевые (Stagnic Solonetz)	
2	Агроземы текстурно-карбонатные Cambisols (Aric), Cambisols (Aric, Sodic)	[Orange]
3	Урбостратоземы (Hortic Anthrosols), почвы и грунты, экранированные зданиями и дорожными покрытиями (Ekranic Technosols), каштановые урбистратифицированные (Cambisols (Novic, Technic)) и каштановые урбистратифицированные солонцеватые (Cambisols (Sodic, Novic, Technic))	[Dark Grey]
	4	
5	Почвы и грунты, экранированные дорожными покрытиями (Ekranic Technosols), урбостратоземы (Urbic Technosols), квазиземы (Urbic Technosols)	[Black]
6	Почвы и грунты, экранированные зданиями и дорожными покрытиями (Ekranic Technosols), урбостратоземы (Urbic Technosols), урбостратоземы химически загрязненные (Technosols (Toxic)), квазиземы (Urbic Technosols)	[Light Grey]
	7	
8	Почвы и грунты, экранированные зданиями и дорожными покрытиями (Ekranic Technosol), урбостратоземы (Urbic Technosols), квазиземы (Urbic Technosols)	[Purple]
9	Урбостратоземы (Urbic Technosols), почвы и грунты, экранированные зданиями и дорожными покрытиями (Ekranic Technosols), каштановые урбистратифицированные (Cambisols (Novic, Technic)), каштановые урбистратифицированные солонцеватые (Cambisols (Sodic, Novic, Technic)) и квазиземы (Urbic Technosols)	[Dark Blue]
Водные объекты (Waters)		[Blue]

**Рис. 1.** Картограмма размещения почв и техногенно-поверхностных образований в границах функциональных зон г. Волгограда (масштаб 1 : 35000). Функциональные зоны: 1 – зона озелененных территорий рекреационного назначения, земли запаса, пустыри; 2 – зона сельскохозяйственного использования; 3 – зона коллективных садов и дач; 4 – зона специального назначения (зона кладбищ); 5 – зона транспортной инфраструктуры; 6 – производственно-деловая и промышленная зона; 7 – зона спортивных и комплексных сооружений; 8 – зона застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями; 9 – зона застройки индивидуальными жилыми домами. На врезке – районы г. Волгограда: I – Дзержинский; II – Тракторозаводской; III – Краснооктябрьский; IV – Центральный; V – Ворошиловский; VI – Советский; VII – Кировский; VIII – Красноармейский.

также зональными каштановыми, каштановыми солонцеватыми с пятнами солонцов светлых, каштановыми урбистратифицированными, каштановыми урбистратифицированными солонцеватыми – 213.72 км<sup>2</sup> (25.86%).

Зона сельскохозяйственного использования общей площадью 173.58 км<sup>2</sup> (18.67%) представлена агроземами текстурно-карбонатными.

В зоне коллективных садов и дач общей площадью 69.44 км<sup>2</sup> (8.4%) состав почвенного покрова существенно трансформирован. Преобладающей разностью здесь являются высокоплодородные урбостратоземы, реже встречаются каштановые урбистратифицированные разной степени солонцеватости и почвы и грунты, экранированные зданиями и дорожными покрытиями. Эти терри-

тории в меньшей степени подвержены физико-химическим воздействиям в ходе градостроительной деятельности.

*Зона кладбищ* общей площадью 3.56 км<sup>2</sup> (0.43%) представлена специфичными почвенными образованиями – почвами кладбищ (некроземами по классификации М.Н. Строгановой) [13, 18, 20].

Почвенный покров *зоны транспортной инфраструктуры* общей площадью 37.88 км<sup>2</sup> (4.58%) образован почвами и грунтами, экранированными дорожными покрытиями, урбостратоземами, а также рекультивированными почвоподобными образованиями – квазиземами.

*Промышленная зона* общей площадью 63.05 км<sup>2</sup> (7.63%) приурочена в основном к 1.5-километровой полосе, протянувшейся вдоль берега Волги, и представлена особо сильно загрязненными почвами – урбостратоземы химически загрязненными [12] в совокупности с урбостратоземами и квазиземами.

В *зону спортивных и комплексных сооружений* общей площадью 0.62 км<sup>2</sup> (0.08%) входят редкие и мало изученные, специальным образом сконструированные техногенно-поверхностные образования, конструктороземы, представленные в городе в основном на футбольных полях [5].

В *зоне застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями* общей площадью 41.79 км<sup>2</sup> (5.06%) преобладающими почвами и почвоподобными образованиями являются урбостратоземы, квазиземы в районах новостроек, а также почвы и грунты, экранированные зданиями и дорожными покрытиями.

*Зона застройки индивидуальными жилыми домами* общей площадью 61.43 км<sup>2</sup> (7.43%) представлена окультуриваемыми урбостратоземами как правило на насыпных грунтах в совокупности с почвами и грунтами, экранированными зданиями и дорожными покрытиями, каштановыми урбистратифицированными почвами, а также квазиземами.

Для каждого из районов г. Волгограда характерно индивидуальное сочетание типов и подтипов почв в рамках вышеперечисленных. Например, в ходе картографирования установлено, что почвенный покров Центрального района города наиболее однороден и представлен в основном урбостратоземами с глубиной преобразования профиля от 2 м и более, различными квазиземами, а также большими площадями запечатанных почв. Для территории Советского района отмечается ярко выраженное преобладание агроземов текстурно-карбонатных в почвенном покрове, Кировский район характеризуется большими площадями пойменных аллювиальных почв, а также наличием солонцов светлых квазиглеевых.

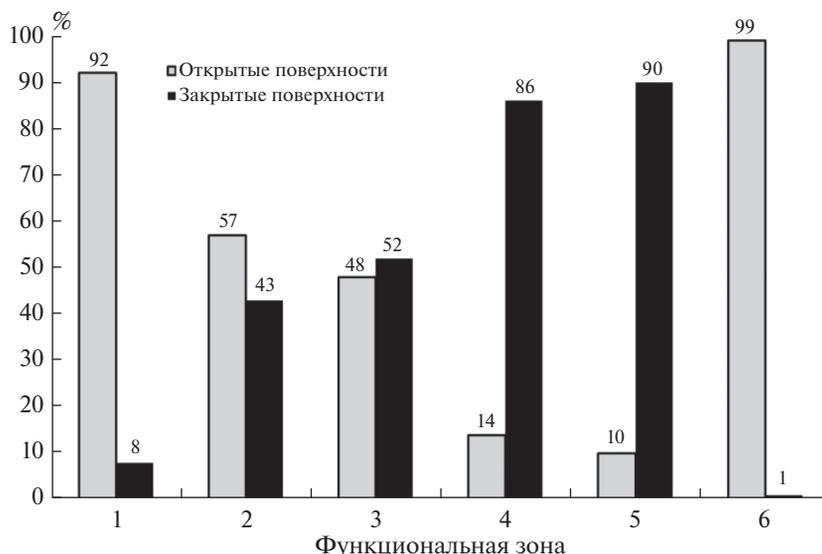
Картографирование почвенного покрова Волгограда позволило дать общую оценку фонда естественных и антропогенных глубокопреобразованных почв. По данным картографирования отмечено значительное преобладание естественных почв (66.3% от всей площади города) над антропогенными (33.7% соответственно). Такое распределение также характерно для городов Нанкин (61% естественных почв) [35], Пермь (59%) [4, 22], Биробиджан (64.5%) [6, 27].

Для территории Краснооктябрьского и Центрального районов города, наоборот, отмечается преобладание антропогенных почв (свыше 74% от площади районов), что обусловлено высокой насыщенностью жилыми кварталами и производственными объектами. Такие районы, как Дзержинский и Красноармейский при сохранении общей для города закономерности, характеризуются присутствием почв с опасными уровнями загрязнения (урбостратоземы химически загрязненные), связанных с промышленными зонами, которые занимают 16.27 и 26.59% их территории соответственно.

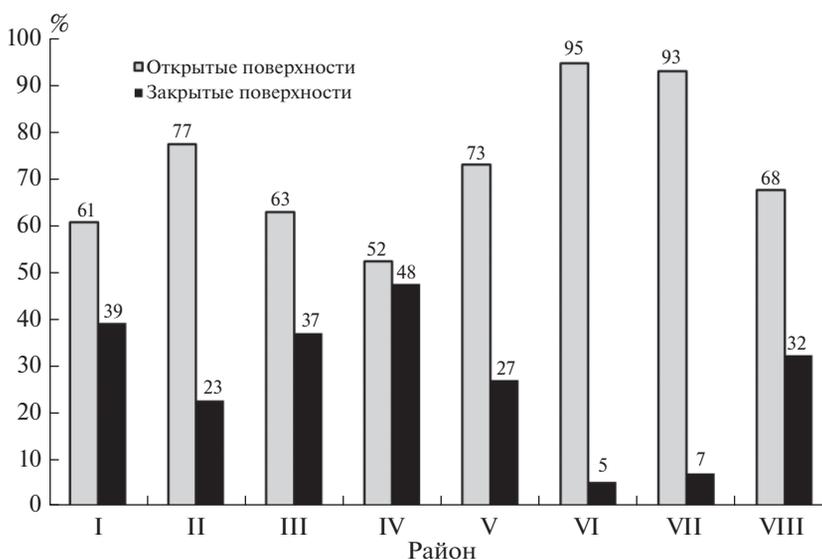
Самый высокий процент естественных и естественных поверхностно-преобразованных почв наблюдается в Советском (84.6%) и Кировском (81.45%) районах, что связано с наличием на их территории земель, преимущественно относимых к категории сельскохозяйственных угодий и не используемых под жилищное строительство, а также с сохранившимися крупными зелеными массивами.

Таким образом, установлена приуроченность естественных почвенных типов к западным, а антропогенно-преобразованных к восточной и центральной частям города. Это обусловлено отсутствием застройки и слабой вовлеченностью в процессы урбанизации на сегодняшний день западных окраин, для которых единственным направлением изменений являются различные виды сельскохозяйственной обработки почвы и замусоривание поверхностного слоя. Преобладание антропогенно-преобразованных почвенных разностей в восточной части города связано с тяготением основных объектов промышленности, жилого фонда и транспортной инфраструктуры к берегу р. Волга.

В настоящий момент задача по определению степени запечатанности почвенного покрова городов является приоритетной. Наиболее распространенным методом является спектральный анализ космоснимков по различным цветовым каналам, применявшийся для анализа территории г. Мадрида с запечатанностью почв 29.36% от общей площади [26], районов г. Мадрида Кольменар-Вьехо (2.61%) [25] и Куэнка-дель-Гвадаррама (9.0%) [27], ВАО г. Москвы [11, 21] и Московской агломерации (10–20%) [19]. Данный подход позволяет с точностью до 97% определить общую запечатанность поверхности. В указанных примерах, за исключением ВАО Москвы, не рас-



**Рис. 2.** Средняя степень запечатанности почв по функциональным зонам (1 – зона коллективных садов и дач; 2 – зона застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями; 3 – зона застройки индивидуальными жилыми домами; 4 – промышленная зона; 5 – зона транспортной инфраструктуры; 6 – зона озелененных территорий рекреационного значения, земли запаса, пустыри, зона сельскохозяйственного использования, зона кладбищ, зона спортивных и комплексных сооружений) г. Волгограда по данным дешифрирования, %.



**Рис. 3.** Средняя запечатанность почвенного покрова по районам города Волгограда: I – Дзержинский; II – Тракторозаводской; III – Краснооктябрьский; IV – Центральный; V – Ворошиловский; VI – Советский; VII – Кировский; VIII – Красноармейский.

смаивался тип экранироваемой почвы и характер покрытия. При определении степени запечатанности почвенного покрова г. Волгограда применяли метод ручного дешифрирования космоснимков отдельных районов и функциональных зон, для территории которых была выявлена средняя запечатанность, но при этом учитывали тип запечатываемой почвы по классификации WRB 2014 и характер покрытия. Полученные на текущий момент результаты позволяют получить актуальную информацию о степени освоения городского простран-

ства и в дальнейшем могут быть детализированы на основе применения метода спектрального анализа космоснимков территории города. Задача по определению степени запечатанности почвенного покрова г. Волгограда является одной из приоритетных, так как все открытые участки территории города могут быть в дальнейшем озеленены и благоустроены. Зеленые насаждения в городской среде выполняют важную климаторегулирующую и экологостабилизирующую роль, а также обеспечивают комфортность городской среды за счет



Номер зоны	Цвет на карте	Функциональная зона	Интервал значений запечатанности почвенного покрова, %
1		Зона коллективных садов и дач	1–8
2		Зона застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями	45–68
3		Зона застройки индивидуальными жилыми домами	28–46
4		Промышленная зона	81–90
5		Зона транспортной инфраструктуры	>90
6		Зона озелененных территорий рекреационного значения, земли запаса, пустыри, зона сельскохозяйственного использования, зона кладбищ, зона спортивных и комплексных сооружений	0–1

**Рис. 4.** Запечатанность почвенного покрова г. Волгограда под зданиями и дорожными покрытиями, % (масштаб 1 : 35000). Функциональные зоны: 1 – зона коллективных садов и дач; 2 – зона застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями; 3 – зона застройки индивидуальными жилыми домами; 4 – промышленная зона. 5 – зона транспортной инфраструктуры; 6 – зона озелененных территорий рекреационного значения, земли запаса, пустыри, зона сельскохозяйственного использования, зона кладбищ, зона спортивных и комплексных сооружений. На врезке районы г. Волгограда: I – Дзержинский; II – Тракторозаводской; III – Краснооктябрьский; IV – Центральный; V – Ворошиловский; VI – Советский; VII – Кировский; VIII – Красноармейский.

рекреационных и эстетических свойств. Это особенно актуально для территории г. Волгограда с учетом низкой обеспеченности защитными насаждениями (11–13 м<sup>2</sup>/чел. из рекомендованных для крупных городов 24.6 м<sup>2</sup>/чел.) и степени их сохранности [3].

По описанной методике [8] получены расчетные значения средней запечатанности почв, определено соотношение открытых и запечатанных почв для функциональных зон и районов г. Волгограда (рис. 2, 3) и составлена картосхема запечатанности почв для всей городской территории (рис. 4).

Для рассматриваемых функциональных зон степень запечатанности варьирует в широких пределах. Так, наибольшие значения запечатанности поверхности почвы (81–90%) характеризуют промышленную зону, с максимумом (до 100%) для объектов транспортной сети. Широкий интервал значений (28–68%) соответствует территориям зон городской застройки с много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями и индивидуальными жилыми домами. Минимальные значения (1–8%) соотносятся с зонами коллективных садов и дач. Отдельно выделены территории со степенью запечатанности менее 1%, им соответствуют зоны озелененных территорий рекреационного значения, сельскохозяйственного использования, зона кладбищ, спортивных и комплексных сооружений, а также земли запаса и пустыри.

В результате анализа данных о запечатанности почв районов города можно сделать вывод, что общая площадь запечатанных почв составляет 145,07 км<sup>2</sup>. Наиболее запечатанными оказались почвы в Дзержинском, Центральном, Краснооктябрьском и Красноармейском районах. Это связано с тем, что в этих районах наиболее развита дорожно-транспортная сеть, сосредоточены основные промышленные объекты и проживает значительная часть населения города. Почвы Советского и Кировского районов показали наименьшую долю запечатанности почвенного покрова. Это обусловлено тем, что на их территориях в основном располагаются сельскохозяйственные угодья (Советский район) и участки, не вовлеченные в процесс урбанизации (остров Сарпинский в составе Кировского района). Полученные сведения о степени запечатанности территории г. Волгограда позволяют объективную картину освоения городского пространства и определить перспективные направления его развития.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в сухостепной зоне в современных границах г. Волгограда в полном объеме был применен подход М.Н. Строгановой при картографировании пространственного распределения отдельных типов (подтипов) почв и техногенно-поверхностных образований на основе актуальных почвенных классификаций с учетом степени детализации (масштаб 1 : 35000) и привязки к функциональному зонированию. Еще одним значимым результатом является составленная впервые карта-схема степени запечатанности почвенного покрова г. Волгограда и ее расчетные значения для отдельных функциональных зон и районов города.

Почвенный покров города Волгограда несет на себе отпечаток структуры и характера землепользования и представляет собой многообразие поч-

венных комбинаций как природного, так и антропогенного происхождения.

Общая доля запечатанных почв составляет 18% от площади города и напрямую связана с площадью зоны жилой застройки, степенью развития промышленности и транспортной инфраструктуры. Низкая степень запечатанности почвенного покрова г. Волгограда во многом обусловлена увеличением площади города путем присоединения в 2014 г. сопредельных территорий с естественными и естественно-антропогенными поверхностно-преобразованными почвами. Увеличение площади естественных почв в границах города можно рассматривать как фактор увеличения природоохранного и рекреационного потенциала его территории.

Изучение запечатанности почвенного покрова, особенно с учетом высокой климаторегулирующей роли растений в условиях континентального климата аридной зоны, в сочетании с данными почвенного картографирования дает возможность раскрыть потенциал территории в целях повышения эффективности озеленения и разработки системы экологического каркаса города.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю.* Принципы создания почвенной карты мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 790–801.
2. *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. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2017-1-23-242-255>
3. *Евстифеева Т.А., Глуховская М.Ю.* Экологическое обоснование целевой реорганизации защитных насаждений г. Оренбурга // Вестник ВСГУТУ. 2016. № 1. С. 42–48.
4. *Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В.* Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья // Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2016. 252 с.
5. *Замотаев И.В., Белобров В.П.* Классификация почв и почвоподобных образований футбольных полей // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2015. № 79. С. 91–110.
6. *Калманова В.Б.* Геоэкологическое картографирование урбанизированных территорий (на примере г. Биробиджана) // ИнтерКарто/ИнтерГИС. 2015. Т. 21. С. 566–574. <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2015-1-21-566-574>
7. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
8. *Кошелева О.Ю.* Оценка степени запечатанности городской территории методами автоматизированного дешифрирования космических снимков // Материалы междунар. научн.-пр. конф. 4–6 октября 2017 г. Воронеж, 2017. С. 156–159.

9. Кулик К.Н., Рулев А.С., Кошелева О.Ю. Почвенный покров урбанизированных территорий: идентификация и картографирование по космическим снимкам // Проблемы региональной экологии. 2015. № 3. С. 121–125.
10. Кулик К.Н., Крестинин В.М., Кошелева О.Ю. Опыт картографирования почвенного покрова города Волгограда // Вестник Воронежского гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. 2014. № 1. С. 40–45.
11. Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С. Эколого-геохимическая оценка состояния запечатанных почв восточной Москвы // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. С. 480–509.  
<https://doi.org/10.22363/2313-2310-2017-25-4-480-509>
12. Околелова А.А., Желтобрюхов В.Ф., Егорова Г.С., Кастерина Н.Г., Мерзлякова А.С. Особенности почвенного покрова Волгоградской агломерации. Волгоград, 2014. 224 с.
13. Почва, город, экология / Под ред. Добровольского Г.В. М., 1997. 320 с.
14. Прокофьева Т.В. Городские почвы, запечатанные дорожными покрытиями (на примере Москвы). Автореф. дис. ... канд биол. наук. М., 1998. 24 с.
15. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Обследование городских почв в целях картографирования и определения их экологического качества // Руководство по изучению городской среды. Экологические и социально-психологические аспекты. М., 2015.
16. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Городские почвы: классификация, картографирование, обследование, определение экологического качества и его регламентация // Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель. М.: НИА-Природа, 2013. С. 202–218.
17. Прокофьева Т.В., Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Губанков А.А. Почвы (с почвенной картой г. Москвы) // Экологический атлас г. Москвы. М.: АБФ/АВФ, 2000. С. 17–18.
18. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матиян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сицева Н.И. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164.
19. Савин И.Ю. Картографирование экраноземов Московской агломерации по спутниковым данным Landsat // Исследование земли из космоса. 2013. № 5. С. 55–61.  
<https://doi.org/10.7868/S0205961413050084>
20. Строганова М.Н. Городские почвы: Генезис, систематика и экологическое значение на примере г. Москвы: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 1998. 71 с.
21. Хайбрахманов Т.С., Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е. Картографическое обеспечение эколого-геохимической оценки запечатанных почв на урбанизированных территориях // ИнтерКарто/ИнтерГИС. 2017. Т. 23. № 1. С. 256–266.  
<https://doi.org/10.24057/2414-9179-2017-1-23-256-266>
22. Шестаков И.Е., Еремченко О.З., Филькин Т.Г. Картографирование почвенного покрова городских территорий на примере г. Пермь // Почвоведение. 2014. № 1. С. 12.  
<https://doi.org/10.7868/S0032180X14010109>
23. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
24. Charzynski P., Galbraith J.M., Kühn D., Kabata C., Prokofeva T.V., Vasenev V.I. Classification of urban soils // Soils within cities. Global approaches to their sustainable management. Stuttgart: Catena-Schweizerbart, 2017. P. 93–106.
25. Cortijo Andrés Aristegui, González María Eugenia Pérez. Soil sealing in Madrid (Spain), study case of Colmenar Viejo // Earth Sci. Res. J. 2017. V. 21. № 3. P. 111–116.  
<https://doi.org/10.15446/esrj.v21n3.51450>
26. García P., Pérez E. Mapping of soil sealing by vegetation indexes and built-up index: A case study in Madrid (Spain) // Geoderma. V. 268. 2016. P. 100–107.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.012>
27. García P., Pérez E. Monitoring Soil Sealing in Guadarrama River Basin, Spain, and Its Potential Impact in Agricultural Areas // Agriculture, 2016. V. 6. P. 1–11.  
<https://doi.org/10.3390/agriculture6010007>
28. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports № 106. FAO, Rome.
29. Kalmanova V.B., Matiushkina L.A. Mapping of Soil-Ecological Conditions of a Medium-Size Industrial City (Birobidzhan City, Jewish Autonomous Oblast, FarEast of Russia as an Example) // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 107 (2018) P. 1–7.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012115>
30. Knotters M., Vroon H.R.J. The economic value of detailed soil survey in a drinking water collection area in the Netherlands // Geoderma Regional. V. 5. 2015. P. 44–53.  
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.03.002>
31. Makowsky L., Schneider J., Charzynski P., Hulisz P., Prokofeva T.V., Martynenko I.A. Urban soils surveys // Soils within cities. Global approaches to their sustainable management. Stuttgart: Catena-Schweizerbart, 2017. P. 93–138.
32. Nguyen Ngoc Dan., Lei Guo Ping., Le Phuc Chi Lang. Land Unit Mapping and Evaluation of Land Suitability for Agro – forestry in Thua Thien Hue province – Vietnam as an Example // Earth and Environmental Science. 2018. V. 159. P. 1–10.  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/159/1/012012>
33. Pindral S., Hulisz P., Charzyński P. Changes in land use and soil cover (1934–2010) in Inowrocław city, central Poland as a result of the urban sprawl / 9th international congress Soils of Urban Industrial Traffic Mining and Military Areas. 22–26 May 2017. P. 39–42.
34. Si-Yuan Liang., Andreas Lehmann, Ke-Ning Wu., Karl Stahr. Perspectives of function-based soil evaluation in land-use planning in China // J. Soils Sediments. 2014. P. 10–22.  
<https://doi.org/10.1007/s11368-013-0787-y>

35. *Xuelel Zhang, Jie Chen, Manzhi Tan, Yanci Sun*. Assessing the impact of urban sprawl on soil resources of Nanjing city using satellite images and digital soil databases // *Catena*. 2007. V. 69. P. 16–30.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.04.020>
36. *Zaouchea M., Bela L., Vaudour E*. Geostatistical mapping of topsoil organic carbon and uncertainty assessment in Western Paris croplands (France) // *Geoderma Regional*. 2017. V. 10. P. 126–137.  
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.07.002>

## Mapping of Soils and Assessment of Sealed Areas in the City of Volgograd

O. A. Gordienko<sup>1,2</sup>, I. V. Manaenkov<sup>1,\*</sup>, A. V. Kholodenko<sup>1</sup>, and E. A. Ivantsova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Volgograd State University, Volgograd, 400062 Russia*

<sup>2</sup>*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, 400062 Russia*

\**e-mail: manaenkov@volsu.ru*

The results of mapping and assessing the degree of soil sealing in the city of Volgograd are presented. Soil cover mapping is based on the results of satellite photographs deciphering with further control by field surveys at 35 sites within different functional zones of the city. According to the results of the satellite images interpretation for the functional zones, the share of sealed areas ranged within 0 to 99% including soils under buildings and roads. MapInfoProfessional 10.0 software was used to process the obtained data. According to the results of this assessment, which was performed for the first time within the updated boundaries of the city, the areas of individual types of soils and soil associations of both natural and anthropogenic provenance, were calculated, as well as the degree of sealing. The prevailing (25.86%) types of natural soils for the Volgograd territory are chestnut soils of various texture and alkalinity degree [23] (Kastanozems and Kastanozems (Sodic)) and natural surface-transformed textural-carbonate agrozems (Cambisols (Aric), Cambisols (Aric, Sodic)) – 18.67%. Humanly transformed soils are represented by a wide range of soils, including the sealed ones (Ekranic Technosols), Urbostratozems (Urbic Technosols), chemically contaminated (Technosols (Toxic)), and quasizems (Urbic Technosols). Anthropogenically transformed soils mostly occur in the eastern part of the city, natural soils predominate in its western part. The total calculated share of sealed surfaces makes up 18% of the Volgograd city area. It was based on the estimated indicator for certain functional zones of the city. The results can be used to solve spatial planning problems and the implementation of works on gardening and landscaping of urban area.

*Keywords:* urban soils, sealed soils, urbostratozems (Urbic Technosols), typical chestnut soils (Kastanozems), chestnut solonetzic soils (Kastanozems (Sodic)), agrozems textural-carbonate (Cambisols (Aric), Cambisols (Aric, Sodic))