УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-116-138

Ссылки для цитирования:
Гордиенко О.А. Определение запечатанности почв и грунтов функциональных зон г. Волгограда на основе данных дистанционного зондирования // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 107. С. 116-138. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-116-138
Cite this article as:
Gordienko O.A., Determination of soil and ground sealing in functional zones of Volgograd based on remote sensing data, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 107, pp. 116-138, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-116-138

Определение запечатанности почв и грунтов функциональных зон г. Волгограда на основе данных дистанционного зондирования

© 2021 г. О. А. Гордиенко

ФГБНУ "Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук", Россия,
400062, Волгоград, пр-т Университетский, 97,
https://orcid.org/0000-0001-5381-9114, e-mail: oleg.gordienko.95@bk.ru.

Поступила в редакцию 17.05.2021, *после доработки* 10.06.2021, *принята к публикации* 16.06.2021

Резюме: В работе приводятся результаты дешифрирования запечатанных почв и грунтов для территории г. Волгограда и его различных функциональных зон. Определение доли запечатанности осуществлялось посредством автоматизированного метода путем классификации космоснимка QuickBird методом "максимального правдоподобия". В качестве объектов исследования выбраны территории всех районов города Волгограда, а также селитебные и рекреационные функциональные зоны. Установлено, что запечатанные поверхности занимают около 169.4 км^2 (20.5% от всей площади города). Однако для каждого из районов города и каждой функциональной зоны характерна своя доля запечатанных территорий. Наиболее запечатанными оказались поверхности Тракторозаводского (24.2%), Ворошиловского (33.0%), Дзержинского (37.4%), Центрального (45.2%), Краснооктябрьского

(39.4%) и Красноармейского (26.6%) районов Волгограда. Почвенный покров Советского (13.5%) и Кировского (12.9%) районов запечатан в наименьшей степени. Запечатанность функциональных зон также варьирует в широких пределах. Так, наибольшие значения запечатанности (до 63%) характеризуют много-, мало- и среднеэтажную зону. Широкий интервал значений (от 26 до 51%) соответствует территориям зон индивидуальной жилой застройки, а также коллективных садов и дач (от 9.6 до 39.5%). В рекреационной зоне средняя запечатанность на уровне 27.6%. Таким образом, выявленная доля запечатанных поверхностей на территории Волгограда и его функциональных зон позволит в дальнейшем эффективно решать задачи территориального планирования при реализации работ по озеленению и благоустройству городской территории.

Ключевые слова: запечатанность, Ekranic Technosols, дешифрирование космоснимков, метод максимального правдоподобия.

Determination of soil and ground sealing in functional zones of Volgograd based on remote sensing data

© 2021 O. A. Gordienko

Volgograd State University
100 Prospect Universitetsky, Volgograd 400062, Russian Federation,
https://orcid.org/0000-0001-5381-9114, e-mail: oleg.gordienko.95@bk.ru.

Received 17.05.2021, *Revised* 10.06.2021, *Accepted* 16.06.2021

Abstract: The paper presents the results of interpretation of sealed soils and ground for the territory of Volgograd and its various functional zones. Determination of the sealed portion was performed by means of automated method using ENVI 4.7 software by means of QuickBird space image classification using the “maximum likelihood” method. The study objects were the territories of all districts of Volgograd, as well as residential and recreational functional zones. It was found that the sealed surfaces occupy about 169.4 km^2 (20.5% of the total area of the city). However, the city districts and functional zones differ significantly in proportion of sealed areas. The most sealed surfaces were those of Tractorozavodsky (24.2%), Voroshilovsky (33.0%), Dzerzhinsky (37.4%), Centralny (45.2%), Krasnooktyabrsky (39.4%) and Krasnoarmeisky (26.6%) districts of Volgograd. Soil cover of the Sovetsky (13.5%) and Kirovsky (12.9%) districts is least sealed. Sealing of functional zones also varies widely. Thus, the

highest values of sealing (up to 63%) characterize the multi-, low- and medium-rise constructions zones. A wide range of values (from 26 to 51%) corresponds to the areas of individual residential development, as well as collective gardens and dachas (from 9.6 to 39.5%). In the recreational zone average sealing is at 27.6% level. Thus, the identified share of sealed surfaces on the territory of Volgograd and its functional zones will allow solving effectively the problems of territorial planning in the further implementation of works on gardening and landscaping of urban areas.

Keywords: sealing, Ekranic Technosols, imagery interpretation, maximum likelihood method, Volgograd, functional zones.

ВВЕДЕНИЕ

Запечатывание почв и грунтов представляет собой наиболее интенсивную форму деградации земель и затрагивает все экосистемные функции (Город…, 1997). К запечатанным почвам – экраноземам (Прокофьева, 1998) и Ekranic Technosols, по WRB-2014 (update-2015) (IUSS, 2015), – относятся почвы, перекрытые различными непроницаемыми материалами (рис. 1).

Рис. 1. Профили почв и грунтов, запечатанных под плотным непроницаемым материалом.
Fig. 1. Profiles of soils and grounds sealed beneath technogenic hard material.

Они представляют собой особую форму проявления урботехнопедогенеза и объединяют антропогенно-трансформированные и искусственно созданные почвы, сформированные как на культурном слое, так и на насыпных, переотложенных и перемещенных грунтах. В нашем понимании к запечатанным поверхностям относятся любые как естественные, так и антропогенно-преобразованные и специальным образом конструированные поч-

вы и грунты.

В настоящий момент задача по определению запечатанности территории является приоритетной, так как все незастроенные (открытые) участки города могут быть в дальнейшем озеленены и благоустроены.

Запечатывание почв в процессе роста городов можно считать активным фактором опустынивания (Barbero-Sierra et al., 2013; Кошелева и др., 2021; Шинкаренко и др., 2020) за счет усиления действия эффекта “городского острова тепла”, который представляет собой совокупность ареалов повышенных температур над городами и крупными промышленными зонами, образующихся в результате повышенного выброса в атмосферу тепловой энергии. Увеличение зон перегрева поверхности урбанизированной среды, в свою очередь, негативно скажется на комфортности проживания людей и работе городского хозяйства (Xiao et al., 2013). Процесс запечатывания почв и грунтов в городах напрямую влияет на регулирующие функции почв (Tobias, 2013; Charzyński, 2016; Tikhonova et al., 2020). Еще одним негативным последствием герметизации поверхности является препятствие инфильтрации воды и усиление поверхностного стока (Nakayama et al., 2007). Часто запечатанными оказываются и бывшие сельскохозяйственные угодья. Это особенно характерно для городов с быстро растущим населением и экономикой (Toth, 2012; Salvati, 2014). Как правило верхний слой почв при запечатывании поверхностей срезается, что влечет за собой значительную потерю биоразнообразия почв (Scalenghe, Ajmone, 2009). Таким образом, герметизация снижает содержание общего числа микроорганизмов, углерода и азота, а также нарушает процессы дыхания почв (Piotrowska-Dlugosz, Charzyński, 2015). Несмотря на явное негативное действие запечатанности почвенного покрова, экранированные почвы и грунты выполняют функцию сохранения информации о динамике природной среды и ее исторической трансформации в результате человеческой деятельности.

Целью данного исследования является установление доли запечатанных поверхностей в районах г. Волгограда и в различных селитебных и рекреационных зонах по данным дистанционного зондирования Земли.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Проблемы, связанные с запечатыванием почв описаны в трудах многих отечественных и зарубежных авторов. Но установление степени и площади запечатанных поверхностей выполнено лишь для нескольких городов России и мира. Литературных источников по данному вопросу мало. На территории Российской Федерации подобные исследования проведены для г. Москвы (Власов и др., 2017; Никифорова и др., 2017; Хайбрахманов и др., 2017) и агломерации в целом (Савин, 2013), Ростова-на-Дону (Горбов и др., 2016), а также частично для Волгограда (Гордиенко и др., 2019; Кошелева, 2019). Стоит отметить, что работы в г. Волгограде носят технический характер без детального анализа запечатанности почвенного покрова функциональных зон города в разных его районах.

Исследования зарубежных ученых по данному вопросу ограничиваются анализом запечатанности территории таких крупных городов, как Мадрид (Cortijo, González, 2017; García, Pérez, 2016; García, Pérez, 2016), Барселона (Salvati, Carlucci, 2016), Трнава (Kopecká, Rosina, 2012), Рим (Tombolini, 2015) и Бака-эль-Гарбия (Мохамед, 2015).

В качестве объектов исследования выбраны территории всех районов города Волгограда и следующие селитебные и рекреационные функциональные зоны: много-, средне- и малоэтажной жилой застройки, индивидуального жилищного строительства, коллективных садов и дач, а также озелененных рекреационных территорий (парков и скверов). По данным картографирования, общая площадь г. Волгограда составляет 825.6 км^2.

Для определения запечатанности поверхности используют различные геоинформационные методы. Выделяют ручной (визуальный) и автоматизированный методы дешифрирования. Ранее при определении запечатанности почвенного покрова г. Волгограда и его функциональных зон применялся метод ручного дешифрирования (Гордиенко и др., 2019). При использовании ручного метода возможно получение только фактической информации о доли запечатанных поверхностей без детального пространственного их распределения. Визуальный метод позволяет оперировать

точностью 75–85% и зависит от качества космоснимка, опыта дешифровщика, программного обеспечения и пр. Для картографирования экранированных территорий наиболее подходящим выглядит автоматизированный метод с ручным обучением. Данный подход позволяет с точностью до 97% определить запечатанность территории (Савин, 2013). Поэтому в данной работе применялся именно автоматизированный метод с применением программного обеспечения ENVI 4.7.

Для определения доли запечатанности в каждых заявленных функциональных зонах в каждом районе выбрано по 3–5 тестовых полигонов. Общее количество полигонов составило 140. Картографирование осуществлялось по пятиэтапной схеме (Кулик, 2004). Несомненным преимуществом космических снимков является охват большой территории, однако определение запечатанности методом тестовых полигонов обусловлено последующим их сравнением между собой в пределах одной функциональной зоны. Площадь тестовых полигонов для зоны застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями составила в среднем 0.32 км^2, для зоны индивидуального жилищного строительства – 0.21 км^2, для зоны коллективных садов и дач – 0.22 км^2. Площадь тестовых полигонов в рекреационных зонах была различной: от 0.002 до 0.027 км^2 в скверах и от 0.011 до 0.51 км^2 в парках. Использование полигонов разной площади в рекреационных зонах обусловлено тем, что при анализе данных о доли запечатанных почв не производилось сравнение этих зон между районами города.

Картографирование осуществлялось путем классификации мозаики космоснимков естественных цветов со спутника QuickBird (15.05.2018), находящихся в свободном доступе в глобальной сети Интернет по методу “максимального правдоподобия” (рис. 2) (google.ru/maps).

Классификация по методу максимального правдоподобия осуществлялась на основе цветового (RGB) анализа космоснимков. Каждый из 140 снимков проходил процедуру автоматизированного дешифрирования на предмет выделения на нем всего 3-х классов: открытые поверхности почв, запечатанные поверхности и травянистая и древесно-кустарниковая растительность.

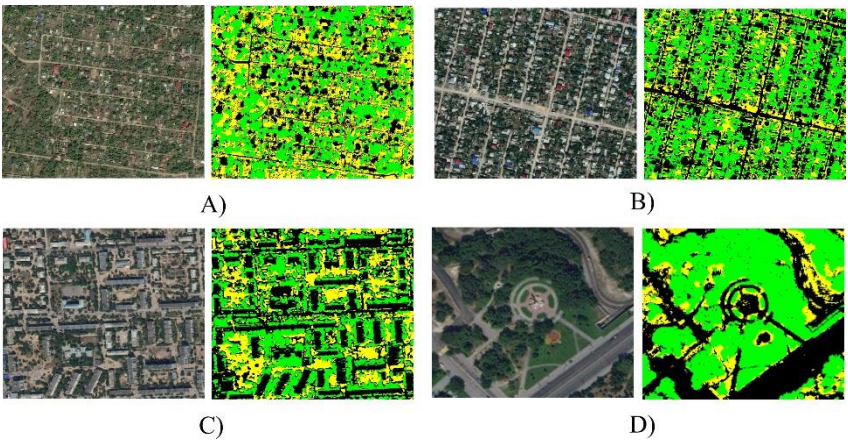

Рис. 2. Пример классификации космического снимка методом максимального правдоподобия.
Fig. 2. Example of space image classification by maximum likelihood method.

На исследуемых космоснимках вручную выделялись эталонные участки для каждого из классов, после чего в программном обеспечении производился процесс классификации. Количество точек для каждого класса было не менее 20. Определение точности проведенной классификации осуществлялось с применением программного обеспечения ENVI 4.7. Для определения точности проведенной классификации составляются матрицы ошибок, по которым можно судить о достоверности каждого класса и дешифрирования в целом. Ошибкой пропуска (omission) является доля элементов какого-либо класса, которые были пропущены, т. е. не были к нему отнесены. Ошибкой присоединения (commission) является доля выделов, ошибочно отнесенных к необходимому классу. Для определения общей достоверности классификации используется коэффициент “каппа” – к (Foody, 1992). Каппа коэффициент при классификации территории города и различных функциональных зон составил от 0.94 до 0.97. Расчет коэффициента каппа, а также соствление матрицы ошибок производились для каждого из 140 снимков (полигонов). Пример составленной матрицы ошибок и значение коэффициента “каппа” представлен в таблице 1.

Таблица 1. Матрица ошибок классификации (% и пиксели)
Table 1. Matrix of classification errors (% and pixels)

Эталонные участки	**Результат классификации (в числителе в %, в знаменателе в пикселях)**					
	классы			**Всего пикселей**	**ошибки**	
	1	**2**	**3**		**omission**	**commission**
Зона застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями						
Способ максимального правдоподобия (к = 0.96)						
1	**97.33** **1240**	1.57 10	0.81 4	1254	2.67 34/1274	1.12 14/1254
2	1.02 13	**96.71** **617**	0.00 0	630	3.29 21/638	2.06 13/630
3	1.65 21	1.72 11	**99.19** **491**	523	0.81 4/495	6.12 32/523
Всего	100 1274	100 638	100 495	2407	-	-
Зона застройки индивидуальными жилыми домами						
Способ максимального правдоподобия (к = 0.94)						
1	**95.73** **2353**	0.39 4	4.63 26	2383	4.27 105/2458	1.26 30/2383
2	0.98 24	**99.41** **1015**	0.00 0	1039	0.59 6/1021	2.31 24/1039
3	3.3 81	0.20 2	**95.37** **536**	619	4.63 26/562	13.41 83/619
Всего	100 2458	100 1021	100 562	4041	-	-
Зона коллективных садов и дач						
Способ максимального правдоподобия (к = 0.97)						
1	**97.6** **1218**	0.00 0	0.46 5	1223	2.4 30/1248	0.41 5/1223
2	0.00 0	**100.0** **1476**	3.79 41	1517	0.00 0/1476	2.7 41/1517
3	2.4 30	0.00 0	**95.74** **1035**	1065	4.26 46/1081	2.82 30/1065
Всего	100 1248	100 1476	100 1081	3805	-	-

Продолжение **таблицы 1**
Table 1 continued

Зона озелененных территорий рекреационного назначения						
Способ максимального правдоподобия (к = 0.96)						
1	**96.71** **1293**	0.18 2	2.24 76	1371	3.29 44/1337	5.69 78/1371
2	0.97 13	**99.82** **1100**	0.06 2	1115	0.18 2/1102	1.35 15/1115
3	2.32 31	0.00 0	**97.7** **3309**	3340	2.3 78/3387	0.93 31/3340
Всего	100 1337	100 1102	100 3387	5826	-	-

Примечание. 1 – открытые поверхности почв; 2 – запечатанные поверхности; 3 – травянистая и древесно-кустарниковая растительность.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результат классификации исследуемого космоснимка представлен на рисунке 3.

Анализ территории г. Волгограда с использованием автоматизированного метода показал, что запечатанные поверхности занимают около 169.4 км^2 или 20.5% от всей площади города, на открытые участки приходится 491.2 км^2 (59.49%) и на травянистую и древесно-кустарниковую растительность – 165 км^2 (20.01%). Наиболее запечатанными оказались поверхности Тракторозаводского (24.2%), Ворошиловского (33.0%), Дзержинского (37.4%), Центрального (45.2%), Краснооктябрьского (39.4%) и Красноармейского (26.6%) районов Волгограда.

Это обусловлено тем, что в этих районах наиболее развита дорожно-транспортная сеть, сконцентрированы основные промышленные и жилые объекты, проживает большая часть населения города. Почвенный покров Советского (13.5%) и Кировского (12.9%) районов города, вследствие малой плотности застройки и отсутствия промышленных объектов, в наименьшей степени запечатан.

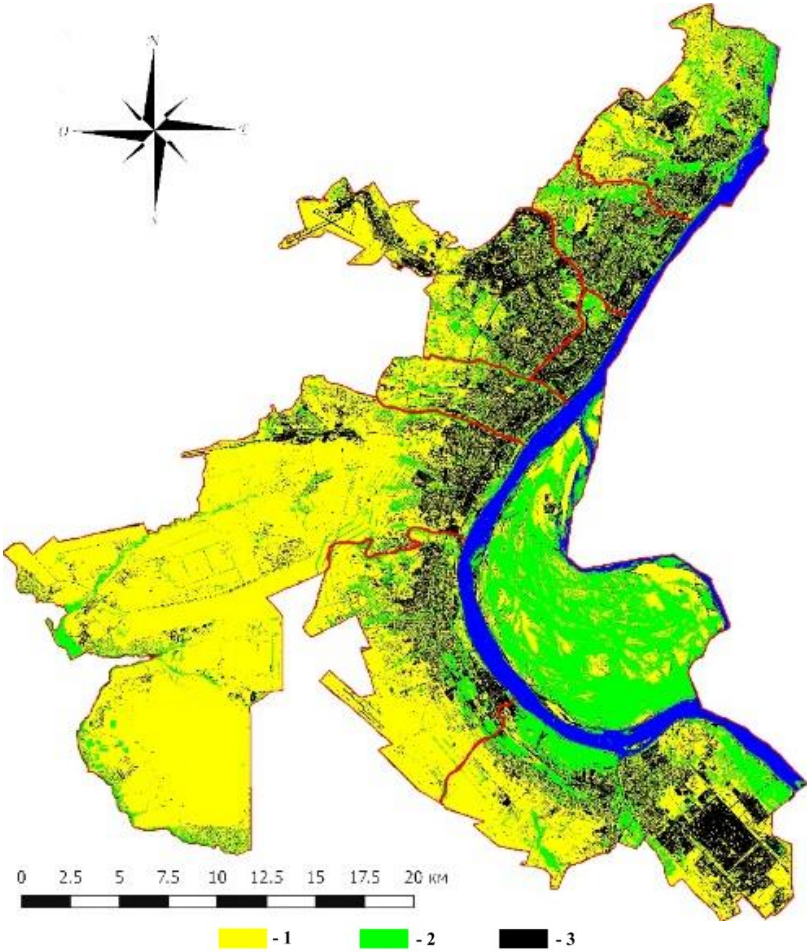

Рис. 3. Карта-схема распределения открытых и запечатанных поверхностей методами автоматизированного дешифрирования космоснимков в пределах г. Волгограда: 1 – открытые поверхности почв; 2 – травянистая и древесно-кустарниковая растительность; 3 – запечатанные поверхности.

Fig. 3. Schematic map of the distribution of open and sealed surfaces by methods of automated space imagery interpretation within Volgograd city limits: 1 – exposed soil surfaces; 2 – herbaceous and woody-bush vegetation; 3 – sealed surfaces.

Небольшая доля запечатанных почв на территории г. Волгограда обусловлена присоединением в 2014 г. сопредельных территорий. Присоединенные участки в основном представляют собой сельскохозяйственные угодья и крупный речной остров (о. Сарпинский). Это привело к искусственному уменьшению запечатанности городской территории.

Для каждой функциональной зоны в каждом районе города характерна своя доля экранированных поверхностей.

Зона застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями. Площадь зоны составляет 41.8 км² (5.1% от всей площади города). Согласно Генеральному плану развития г. Волгограда, максимальный процент запечатанности в границах зоны должен составлять не более 60%. Средняя запечатанность зоны составляет 49.2%, наибольшие экранированные территории зафиксированы в Ворошиловском (55.8%) и Краснооктябрьском (52.6%) районах города, связано это с небольшой общей площадью районов и высокой численностью населения. Наименьший процент запечатанности отмечен в Дзержинском (43.9%), Кировском (46.3%) и Красноармейском (45.6%) районах (рис. 4., табл. 2).

Минимальный процент запечатанности тестового полигона – на уровне 35.6% (Дзержинский район), максимальный – 63.2% (Ворошиловский район). В целом для селитебной зоны характерен широкий диапазон запечатанности как по районам города, так и для всей зоны в общем. Это обусловлено тем, что современные жилищные комплексы, как правило, слабо озеленены и почти полностью заасфальтированы.

Таблица 2. Варьирование запечатанности почвенного покрова зоны застройки много-, мало- и среднеэтажными жилыми зданиями (%)
Table 2. Variation of soil sealing in the zone of multi-, low- and medium-rise residential buildings (%)

Запечатанность, %	**n**	**min**	**Q1**	**med**	**Q3**	**max**	**M**	**s**	**V, %**
Тракторозаводской	5	41.4	43.6	51.5	55.2	59.1	50.2	6.736	0.134
Краснооктябрьский	5	48.2	51.8	53	53.3	56.8	52.6	2.767	0.053
Дзержинский	5	35.6	43.4	45.2	47.4	47.7	43.9	4.416	0.101
Центральный	3	48.3	48.5	48.8	50.1	51.4	49.5	1.359	0.027
Ворошиловский	5	46.1	54.2	56.5	58.9	63.2	55.8	5.683	0.102
Советский	5	45.6	48.6	50.5	50.5	51.8	49.4	2.157	0.044
Кировский	4	37.4	44.9	48.5	49.8	50.6	46.2	5.239	0.113
Красноармейский	5	36.6	39.8	46.9	52.3	52.5	45.6	6.463	0.142
Вся зона	37	35.6	46.1	49.6	52.5	63.2	49.2	6.136	0.125

Примечание. Статистические показатели: n – объем выборки; min – минимум; Q1 – нижний квартиль; med – медиана; Q3 – верхний квартиль; max – максимум; M – среднее арифметическое; s – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

Зона застройки индивидуальными жилыми домами. Общая площадь зоны в пределах города составляет 61.4 км² (7.4% от всей площади). Процент запечатанных поверхностей, так же как и в селитебной зоне, варьирует в широких пределах – от 26.1% до 50.9%. Наиболее низкий процент запечатанности полигонов зафиксирован в Красноармейском (26.1%) и Краснооктябрьском (26.6%) районах (рис. 4., табл. 3). В Тракторозаводском, а также Кировском районах максимальный процент запечатанности территории тестовых полигонов отмечен на уровне 50.9 и 46.8% соответственно. Такой широкий диапазон минимальных и максимальных процентов запечатанности обусловлен тем, что в разные временные периоды развития данной зоны минимальные и максимальные площади индивидуальных наделов были разные. Так площадь современных участков, отданных под индивидуальное

жилищное строительство, меньше, чем более старых. Современная зона индивидуального строительства характеризуется высокой плотностью застройки. Максимальный процент запечатанности в границах земельного участка, определяемый как отношение площади, которая может быть застроена, к суммарной площади участка, согласно Генеральному плану развития, не должен превышать 50%. На основании проведенного геоинформационного анализа установлено, что запечатанность в зоне застройки индивидуальными жилыми домами не превышает установленных в регламенте значений.

Таблица 3. Варьирование запечатанности почвенного покрова зоны застройки индивидуальными жилыми домами (%)
Table 3. Variation of soil sealing in the zone of individual residential houses (%)

Запечатанность, %	n	min	Q1	med	Q3	max	M	s	V, %
Тракторозаводской	3	46.7	47.1	47.5	49.2	50.9	48.4	1.821	0.038
Краснооктябрьский	4	26.6	31.4	34.3	36.4	38.4	33.5	4.379	0.131
Дзержинский	4	38.8	40.6	41.9	42.6	42.7	41.3	1.574	0.038
Ворошиловский	5	33.6	36.3	36.3	38.8	41.1	37.2	2.544	0.068
Советский	5	34.1	39.6	42.3	45	45	41.2	4.076	0.099
Кировский	5	32	39	40.8	41.5	46.8	40	4.778	0.119
Красноармейский	5	26.1	29.8	30.8	31.5	33.6	30.3	2.468	0.081
Вся зона	30	26.1	33.6	38.8	42.1	50.9	38	6.009	0.158

Примечание. Статистические показатели: n – объем выборки; min – минимум; Q1 – нижний квартиль; med – медиана; Q3 – верхний квартиль; max – максимум; M – среднее арифметическое; s – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

Зона коллективных садов и дач общей площадью 69.4 км² (8.4%) представлена коллективными садами, огородами и дачами. Для зоны в целом характерен небольшой процент запечатанности почвенного покрова (23%) (рис. 4., табл. 4). Однако, как и в зоне

индивидуального строительства, в зависимости от возраста образования зоны и плотности застройки процент запечатанности сильно варьирует – от 9.6 до 39.5%. Так, наименьший процент (9.6%) запечатанности зафиксирован в тестовом полигоне в Краснооктябрьском районе города, а наивысший – в Советском (39.5%). Запечатанность на территории Тракторозаводского, Ворошиловского и Советского районов не превышает 28%. Максимальный процент запечатанности в границах функциональной зоны, согласно градостроительным документам, не должен превышать 40%. Согласно данным геоинформационного анализа, установлено, что запечатанность в зоне коллективных садов и дач не превышает предписанных в регламенте значений.

Таблица 4. Варьирование запечатанности почвенного покрова зоны коллективных садов и дач (%).
Table 4. Variation of soil cover sealing in collective gardens and dachas (%)

Запечатанность, %	**n**	**min**	**Q1**	**med**	**Q3**	**max**	**M**	**s**	**V, %**
Тракторозаводской	5	18.9	28.7	29	29.1	30	27.1	4.143	0.153
Краснооктябрьский	5	9.6	12.8	14.3	15.5	38.3	18.1	10.292	0.569
Дзержинский	3	17	21.5	26	26	26	23	4.243	0.184
Ворошиловский	5	18	23	24.4	28.6	37	26.2	6.374	0.243
Советский	5	14.4	25.4	25.5	32.8	39.5	27.5	8.392	0.305
Кировский	4	13.8	16	18.9	22.5	26.7	19.6	4.851	0.248
Красноармейский	4	13.7	14.9	17.1	22.1	31.4	19.8	6.940	0.350
Вся зона	31	9.6	16.1	24.4	28.8	39.5	23.2	7.939	0.341

Примечание. Статистические показатели: n – объем выборки; min – минимум; Q1 – нижний квартиль; med – медиана; Q3 – верхний квартиль; max – максимум; M – среднее арифметическое; s – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

Зона озелененных территорий рекреационного назначения. Согласно Генеральному плану развития г. Волгограда, к зоне территорий рекреационного назначения относят: с/х территории,

парки, скверы, бульвары, дендросады, городские леса и пустыри. Общая площадь зоны составляет 309.6 км^2 или 37.5% от всей площади города, из них на с/х территории приходится 173.6 км^2. Из всего спектра рекреационных территорий в работе подлежат вниманию только парки и скверы, которые по сути являются озелененными территориями рекреационного назначения. Их общая площадь в пределах г. Волгограда составляет 3 км^2. Анализ запечатанности почвенного покрова рекреационной зоны выявил большое различие в соотношении экранированных поверхностей в скверах и парках (рис. 5., табл. 5).

Таблица 5. Варьирование запечатанности почвенного покрова зоны озелененных территорий рекреационного назначения (%)
Table 5. Variation of soil cover sealing in the zone of green areas of recreational use (%)

	n	**min**	**Q1**	**med**	**Q3**	**max**	**M**	**s**	**V, %**
Запечатанность, %	Скверы								
	7	22.1	25.9	29	34.4	39.6	30.2	5.958	0.197
	Парки								
	14	3.8	18.6	24.9	36.8	44.1	26.4	11.493	0.439
Вся зона	21	3.8	21.1	28	36.8	44.1	27.6	10.157	0.367

Примечание. Статистические показатели: n – объем выборки; min – минимум; Q1 – нижний квартиль; med – медиана; Q3 – верхний квартиль; max – максимум; M – среднее арифметическое; s – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

Несмотря на среднюю запечатанность зоны в 27.6%, в скверах диапазон между минимальной и максимальной запечатанностью полигона в целом изменяется в небольших пределах (от 22.1% до 39.6%), тогда как в парках разница между минимальной и максимальной запечатанностью равна 40.7% (от 3.8% до 44.1%). Обусловлено это прежде всего тем, что в скверах более развита инфраструктура отдыха (асфальтированные дорожки, скамейки, памятники архитектуры, здания), тогда как в парках тропиночная сеть чаще всего менее развита, а основное пространство занято древесно-кустарниковой растительностью. Со-

гласно градостроительным документам, максимальный процент запечатанности для территории парка составляет 7%, для территории сквера – 5%. В результате геоинформационного анализа из всего перечня исследуемых парков (14 объектов) в 13 выявлено превышение норм по застройке более чем в 1.5–6 раз. В скверах также фиксируются превышения регламентированных показателей запечатанности в 4–6 раз.

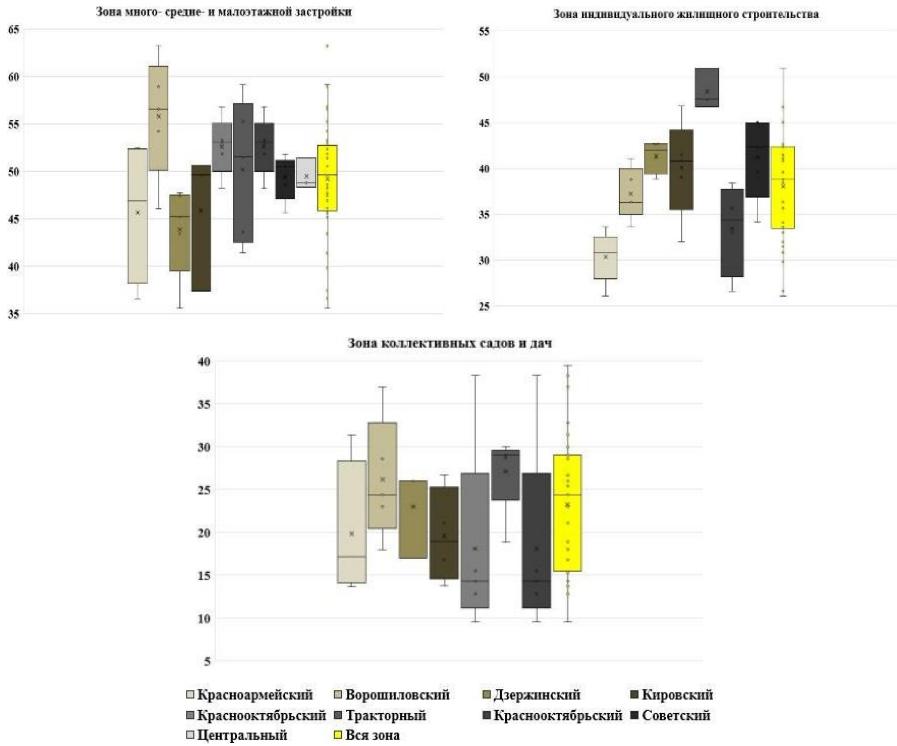

Рис. 4. Варьирование запечатанности почвенного покрова в селитебных зонах города г. Волгограда.
Fig. 4. Variation of soil sealing in residential areas of Volgograd city.

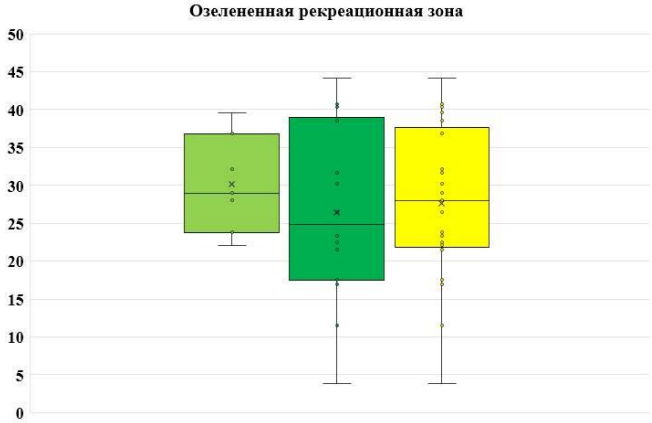

Рис. 5. Варьирование запечатанности почвенного покрова в рекреационных зонах г. Волгограда.
Fig. 5. Variation of soil sealing in the recreational areas of Volgograd.

ВЫВОДЫ

1. Использование спутниковых данных QuickBird позволяет дешифрировать запечатанные почвы и грунты в условиях г. Волгограда с ошибкой, не превышающей 10%.

2. В результате геоинформационного анализа территории г. Волгограда установлено, что запечатанные поверхности занимают около 169.4 км^2 или 20.5% от всей площади города.

3. Результаты дешифрирования выявили, что в отдельных районах (Центральный район) г. Волгограда доля запечатанных почв и грунтов достигает 45%. Территории Кировского и Советского районов города в меньшей степени запечатаны (от 12.9% до 13.5% соответственно).

4. Запечатанность функциональных зон варьирует в широких пределах. Так в зоне много-, мало- и среднеэтажной жилой застройки максимальные значения запечатанности отмечены на уровне 63%. Широкий интервал значений (от 26% до 51%) приходится на зону индивидуальной застройки. Для зоны коллективных садов и дач также характерен широкий диапазон запечатанности поверхностей (от 9.6% до 39.5%). В рекреационной зоне средняя запечатанность сохраняется на уровне 27.6%.

5. Полученные сведения о запечатанности территории г. Волгограда могут быть востребованы для решения задач территориального планирования при реализации работ по озеленению и благоустройству городской территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *Горбов С.Н., Горовцов А.В., Безуглова О.С., Вардуни Т.В., Тагивердиев С.С.* Биологическая активность запечатанных почв Ростова-на-Дону // Изв. Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18. № 2 (2). С. 331–336.
3. *Гордиенко О.А., Манаенков И.В., Холоденко А.В., Иванцова Е.А.* Картографирование и оценка степени запечатанности почв города Волгограда // Почвоведение. № 11. 2019. С. 1383–1392.
4. *Кошелева О.Ю.* Оценка запечатанности почвенного покрова города Волгограда // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2019. № 1. С. 12–18.
5. *Кошелева О.Ю., Шинкаренко С.С., Гордиенко О.А., Дубачева А.А., Омаров Р.С.* Суточная и сезонная динамика температуры поверхности города Волгограда // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2021. № 1. С. 14–24.
6. *Кулик К.Н.* Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 247 с.
7. *Мохамед Е.С., Билял А., Шалабай А.* Оценка потерь плодородных почв в результате запечатывания по данным дистанционного зондирования и геоинформационных систем // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1277.
8. *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.
9. Почва, город, экология / Под ред. *Добровольского Г.В.* М., 1997. 320 с.
10. *Прокофьева Т.В.* Городские почвы, запечатанные дорожными покрытиями (на примере Москвы). Автореф. Дис. … канд. биол. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1998. 24 с.

11. *Савин И.Ю.* Картографирование экраноземов Московской агломерации по спутниковым данным Landsat // Исследование земли из космоса. 2013. № 5. С. 55–61.
12. *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.
13. *Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю., Гордиенко О.А., Дубачева А.А., Омаров Р.С.* Анализ влияния запечатанности почвенного покрова и озеленения на поле температур Волгоградской агломерации по данным MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 125–141.
14. *Barbero- Sierra C., Marques M.J., Ruiz- Pérez M.* The case of urban sprawl in Spain as an active and irreversible driving force for desertification // Journal of Arid Environments. 2013. No. 90. P. 95–102.
15. *Charzyński P., Plak A., Hanaka A.* Influence of the soil sealing on the geoaccumulation index of heavy metals and various pollution factors // Environmental Science and Pollution Research. 2016. No. 24. P. 4801–4811.
16. *Cortijo A.A., González M.E.P.* Soil sealing in Madrid (Spain), study case of Colmenar Viejo // Earth Sci. Res. 2017. Vol. 21. No. 3. P. 111–116.
17. *Foody G.M.* Classification accuracy assessment: some alternatives to the kappa coefficient for nominal and ordinal level classifications // Remote sensing from research to operation: Proc. the 18th Annual Conference of the Remote Sensing Society. 1992. Nottingham.
18. *García P., Pérez E.* Mapping of soil sealing by vegetation indexes and built-up index: A case study in Madrid (Spain) // Geoderma. 2016. Vol. 268. P. 100–107.
19. *García P., Pérez E.* Monitoring Soil Sealing in Guadarrama River Basin, Spain, and Its Potential Impact in Agricultural Areas // Agriculture. 2016. No. 6. P. 1–11.
20. Google maps. URL: https://www.google.ru/maps.
21. IUSS Working Group 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. No. 106. FAO, Rome. 192 p.
22. *Kopecká M., Rosina K.* Soil Sealing Assessment in the Town Trnava // Geographical Information. 2012. No. 16. P. 192–203.
23. *Nakayama T., Watanabe M., Kazunori T., Morioka T.* Effect of underground urban structures on eutrophic coastal environments // Science of Total Environment. 2007. No. 373. P. 270–288.

24. *Piotrowska-Długosz A., Charzyński P.* The impact of soil sealing degree on microbial biomass, enzymatic activity, and physiochemical properties in the Ekranic Technosols of Toru. (Poland) // Soils and Sediments. 2014. No. 15. P. 47–59.
25. *Salvati L.* The Spatial Pattern of Soil Sealing along the Urban-Rural Gradient in a Mediterranean Region // Journal of Environmental Planning and Management. 2014. No. 57. P. 848–861.
26. *Salvati L., Carlucci M.* The way towards land consumption: soil sealing and polycentric development in Barcelona // Urban Studies. 2016. No. 53 (2). P. 418–440.
27. *Scalenghe R., Ajmone Marsan F.* The anthropogenic sealing of soils in urban areas // Landscape and Urban Planning. 2009. No. 90. P. 1–10.
28. *Tikhonova A., Polovinkina Yu., Gordienko O., Manaenkov I.* Features of Monitoring Heavy Metals in Soil Cover of Urban Environment // Proc. of the IV International Scientific and Practical Conference “Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society”. 2020. P. 286–291
29. *Tobias S.* Preserving ecosystem services in urban regions: Challenges for planning and best practice examples from Switzerland // Integrated Environmental Assessment and Management. 2013. No. 9 (2). P. 243–251
30. *Tombolini I., Munafò M., Salvati L.* Soil sealing footprint as an indicator of dispersed urban growth: a multivariate statistics approach // Urban Research & Practice. 2015. Iss. 1. P. 1–15.
31. *Toth G.* Impact of land- take on the land resource base for crop production in the European Union // Science of the Total Environment. 2012. No. 435. 202–214.
32. *Xiao R., Su S., Zhang Z., Qi J., Jiang D., Wu J.* Dynamics of Soil Sealing and Soil Landscape Patterns under Rapid Urbanization // Catena. 2013. No. 109. P. 1–12.

REFERENCES

1. Vlasov D.V., Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Kartografirovanie landshaftno-geohimicheskoj struktury urbanizirovannoj territorii (na primere Moskvy) (Mapping of landscape and geochemical structure of urban territory (Moscow case study)), *InterCarto/InterGIS*, 2017, No. 23, pp. 242–255.
2. Gorbov S.N., Gorovcov A.V., Bezuglova O.S., Varduni T.V., Tagiverdiev S.S., Biologicheskaya aktivnost' zapechatannyh pochv Rostova-na-Donu (The biological activity of sealed soils in Rostov-on-Don city), *Izvestia Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2016, No. 2, pp. 331–336.
3. Gordienko O.A., Manaenkov I.V., Kholodenko A.V., Ivancova E.A., Kartografirovanie i ocenka stepeni zapechatannosti pochv goroda Volgograda

(Mapping and Assessment of Sealing Rate of Soils in the City of Volgograd), *Pochvovedenie*, 2019, No. 11, pp. 1383–1392.
4. Kosheleva O.Yu., Ocenka zapechatannosti pochvennogo pokrova goroda Volgograda (Evaluation of the sealed soil cover in the Volgograd city), *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2019, No. 1, pp. 12–18.
5. Kosheleva O.Y., Shinkarenko S.S., Gordienko O.A., Dubacheva A.A., Omarov R.S., Sutochnaya i sezonnaya dinamika temperatury poverhnosti goroda Volgograda (Daily and Seasonal Dynamics of Surface Temperature in the Volgograd City), *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2021, No. 1, pp. 14–24.
6. Kulik K.N., *Agrolesomeliorativnoe kartografirovanie i fitoekologicheskaya otsenka aridnykh landshaftov* (Agroforestry mapping and phytoecological assessment of arid landscapes), Volgograd: VNIALMI, 2004, 247 p.
7. Mohamed E.S., Belal A., Shalaby A., Ocenka poter' plodorodnyh pochv v rezul'tate zapechatyvaniya po dan-nym distancionnogo zondirovaniya i geoinformacionnyh sistem (Impacts of soil sealing on potential agriculture in Egypt using remote sensing and GIS techniques), *Pochvovedenie*, 2015, No. 10, pp. 1159–1169.
8. Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Hajbrahmanov T.S., Ekologo-geohimicheskaya ocenka sostoyaniya zapechatannyh pochv vostochnoj Moskvy (Environmental and geochemical assessment of sealed soils in the eastern Moscow), *Vestnik RUDN. Ser. Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2017, pp. 480–509.
9. Dobrovol’skii G.V., *Soil, City, and Ecology*, Moscow, 1997, 320 p.
10. Prokof'eva T.V., *Gorodskie pochvy, zapechatannye dorozhnymi pokrytiyami (na primere Moskvy): Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* (Urban soils sealed by road surfaces (the example of Moscow), Extended abstract of cand. biol. sci. thesis), Moscow, 1988, 24 p.
11. Savin I.Yu., Kartografirovanie ekranozemov Moskovskoj aglomeracii po sputnikovym dannym Landsat (Mapping of sealed soils of Moscow agglomeration according to Landsat satellite data), *Issledovanie zemli iz kosmosa*, 2013, No. 5, pp. 55–61.
12. Khaibrakhmanov T.S., Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Kartograficheskoe obespechenie ekologo-geohimicheskoj ocenki zapechatannyh pochv na urbanizirovannyh territoriyah (Cartographic support of environmental and geochemical evaluation of sealed soils on urbanized territories), *InterCarto/InterGIS*, 2017, No. 23, pp. 256–266.
13. Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu., Gordienko O.A., Dubacheva A.A., Omarov R.S., Analiz vliyaniya zapechatannosti pochvennogo pokrova i oze-

leneniya na pole temperatur Volgogradskoj aglomeracii po dannym MODIS (Analysis of the effect of soil sealing and landscaping on the thermal field of the Volgograd agglomeration from MODIS data), *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, No. 5, pp. 125–141.
14. Barbero- Sierra C., Marques M.J., Ruiz- Pérez M., The case of urban sprawl in Spain as an active and irreversible driving force for desertification, *Journal of Arid Environments*, 2013, No. 90, pp. 95–102.
15. Charzyński P., Plak A., Hanaka A., Influence of the soil sealing on the geoaccumulation index of heavy metals and various pollution factors, *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, No. 24, pp. 4801–4811.
16. Cortijo A.A, González M.E.P., Soil sealing in Madrid (Spain), study case of Colmenar Viejo, *Earth Sci. Res*, 2017, No. 3, pp. 111–116.
17. Foody G.M., Classification accuracy assessment: some alternatives to the kappa coefficient for nominal and ordinal level classifications, *Remote sensing from research to operation: Proc. of the 18th Annual Conference of the Remote Sensing Society*, 1992, Nottingham.
18. García P., Pérez E., Mapping of soil sealing by vegetation indexes and built-up index: A case study in Madrid (Spain), *Geoderma*, 2016, Vol. 268, pp. 100–107.
19. García P., Pérez E., Monitoring Soil Sealing in Guadarrama River Basin, Spain, and Its Potential Impact in Agricultural Areas, *Agriculture*, 2016, No. 6, pp. 1–11.
20. Google maps. URL: https://www.google.ru/maps.
21. IUSS Working Group 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, No. 106, FAO, Rome, 192 p.
22. Kopecká M., Rosina K., Soil Sealing Assessment in the Town Trnava, *Geographical Information*, 2012, No. 16, pp. 192–203.
23. Nakayama T., Watanabe M., Kazunori T., Morioka T., Effect of underground urban structures on eutrophic coastal environments, *Science of Total Environment*, 2007, No. 373, pp. 270–288.
24. Piotrowska-Długosz A., Charzyński P., The impact of soil sealing degree on microbial biomass, enzymatic activity, and physiochemical properties in the Ekranic Technosols of Toru. (Poland), *Soils and Sediments*, 2014, No. 15, pp. 47–59.
25. Salvati L., The Spatial Pattern of Soil Sealing along the Urban-Rural Gradient in a Mediterranean Region, *Journal of Environmental Planning and Management*, 2014, No. 57, pp. 848–861.

26. Salvati L., Carlucci M., The way towards land consumption: soil sealing and polycentric development in Barcelona, *Urban Studies*, 2016, No. 53 (2), pp. 418–440.
27. Scalenghe R., Ajmone Marsan F., The anthropogenic sealing of soils in urban areas, *Landscape and Urban Planning*, 2009, No. 90, pp. 1–10.
28. Tikhonova A., Polovinkina Yu., Gordienko O., Manaenkov I., Features of Monitoring Heavy Metals in Soil Cover of Urban Environment, *Proc. of the IV International Scientific and Practical Conference "Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society"*, 2020, pp. 286–291.
29. Tobias S., Preserving ecosystem services in urban regions: Challenges for planning and best practice examples from Switzerland, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2013, No. 9 (2), pp. 243–251.
30. Tombolini I., Munafò M., Salvati L., Soil sealing footprint as an indicator of dispersed urban growth: a multivariate statistics approach, *Urban Research & Practice*, 2015, Iss. 1, pp. 1–15.
31. Toth G., Impact of land- take on the land resource base for crop production in the European Union, *Science of the Total Environment*, 2012, No. 435, 202–214.
32. Xiao R., Su S., Zhang Z., Qi J., Jiang D., Wu J., Dynamics of Soil Sealing and Soil Landscape Patterns under Rapid Urbanization, *Catena*, 2013, No. 109, pp. 1–12.