

УДК: 912.4

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-2-31-371-382

Ю. А. Шакирова<sup>1</sup>, А. В. Руденко<sup>2</sup>, И. С. Шигапов<sup>3</sup>, Я. Д. Холов<sup>4</sup>

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЗАПЕЧАТАННОСТИ ПОЧВ ГОРОДА КАЗАНИ

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается проблема запечатывания почв города Казани. На сегодняшний день столица Татарстана, представляющая собой крупную динамично развивающуюся агломерацию с высокими темпами строительства, испытывает заметную антропогенную нагрузку. Авторами на основе анализа показателей плотности застройки, площади территорий индивидуального жилого строительства и зеленых зон рассчитан комплексный индекс запечатанности почвенного покрова административных районов города. Выявлены территории, характеризующиеся максимальными значениями показателя, требующие принятия эффективных планировочных решений и особого внимания со стороны градостроительных структур. Наиболее тревожная ситуация зафиксирована в Ново-Савиновском районе города, где выявлена очень плотная застройка и минимальная доля зеленых зон. С применением метода дешифрирования космоснимков и расчета вегетационного индекса Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) проведена оценка степени запечатывания почв в историческом центре города с плотной застройкой (Вахитовский район) и в районе нового интенсивного строительства (Советский район) с последующей картографической визуализацией результатов. Анализ значений индекса SAVI, варьирующихся в диапазоне от  $-1$  до  $1$ , позволил обнаружить территории с минимальной растительностью (предположительно запечатанные). На основе построенных карт авторами оценена пространственная дифференциация показателя запечатанности почв в разрезе территорий исследуемых районов и сделан вывод о характере современной ситуации. С помощью инструментов геоинформационного анализа рассчитаны доли запечатанных поверхностей в общей площади районов. Для Вахитовского района значение показателя составило более 70 %, что говорит о достаточно напряженной ситуации, требующей принятия комплекса эффективных градостроительных мер. В Советском районе зафиксирована относительно благополучная ситуация, характеризующаяся умеренной долей запечатанных поверхностей (менее 50 %).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** запечатанные почвы, вегетационные индексы, геоинформационные технологии, городская экосистема, экраноземы

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, д. 18, Казань, Россия, 420008, e-mail: [jashakirova@kpfu.ru](mailto:jashakirova@kpfu.ru)

<sup>2</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, д. 18, Казань, Россия, 420008, e-mail: [avrudenko@kpfu.ru](mailto:avrudenko@kpfu.ru)

<sup>3</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская, д. 18, Казань, Россия, 420008, e-mail: [irshat.shigapov@kpfu.ru](mailto:irshat.shigapov@kpfu.ru)

<sup>4</sup> Бухарский государственный университет, ул. Мухаммада Икбала, д. 11, Бухара, Республика Узбекистан, e-mail: [y.d.xolov@buxdu.uz](mailto:y.d.xolov@buxdu.uz)

Yuliya A. Shakirova<sup>1</sup>, Arina V. Rudenko<sup>2</sup>, Irshat S. Shigapov<sup>3</sup>, Yoqub D. Kholov<sup>4</sup>

## GEOINFORMATION ANALYSIS OF SOIL SEALING IN KAZAN

### ABSTRACT

The article considers the problem of soil sealing in the city of Kazan. Today, the capital of Tatarstan, which is a large dynamically developing agglomeration with high construction rates, experiences significant anthropogenic load. The authors calculated a comprehensive index of soil cover sealing in the city's administrative districts based on an analysis of indicators of building density, the area of individual residential construction territories and green zones. The territories characterized by maximum values of the indicator, requiring effective planning decisions and special attention from urban development structures, were identified. The most alarming situation was recorded in the Novo-Savinovsky district of the city, where very dense development and a minimum share of green zones were identified. Using the method of decoding space images and calculating the vegetation index Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), the degree of soil sealing in the historic city center with dense development (Vakhitovsky District) and in the area of new intensive construction (Sovetsky District) was assessed, followed by visualization of the results on geoinformation maps. Analysis of the SAVI index values, varying in the range from -1 to 1, made it possible to identify areas with minimal vegetation (presumably sealed). Based on the constructed maps, the authors estimated the spatial differentiation of the soil sealing indicator in the context of the territories of the studied areas and drew a conclusion about the nature of the current situation. Using geoinformation analysis tools, the shares of sealed surfaces in the total area of districts were calculated. For the Vakhitovsky district, the value of the indicator was more than 70 %, which indicates a rather tense situation requiring the adoption of a set of effective urban development measures. In the Sovetsky district, a relatively favorable situation was recorded, characterized by a moderate share of sealed surfaces (less than 50 %).

**KEYWORDS:** sealed soils, vegetation indices, geoinformation technologies, urban ecosystem, screen soils

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема запечатывания почв на сегодняшний день является одной из центральных в экологии города, привлекая внимание урбанистов, градостроителей и представителей природоохранных организаций. Многочисленными исследованиями доказано негативное влияние неконтролируемого асфальтирования поверхностей на городскую экосистему, в т. ч. за счет перегрева окружающей среды и возникновения явления теплового острова, а также загрязнения городских водоемов поверхностным стоком. Почвы, находящиеся под слоем асфальта и бетона (экраноземы), лишаются своих основных функций, утрачивают буферную способность и продуктивность. Для обеспечения устойчивого развития городов и эффективного пространственного планирования важен комплексный подход к решению проблемы запечатанности городских почв, предусматривающий количественную оценку и нормирование.

---

<sup>1</sup> Kazan (Volga Region) Federal University, 18, Kremlyovskaya str., 420008, Kazan, Russia,  
*e-mail: jashakirova@kpfu.ru*

<sup>2</sup> Kazan (Volga Region) Federal University, 18, Kremlyovskaya str., 420008, Kazan, Russia,  
*e-mail: avrudenko@kpfu.ru*

<sup>3</sup> Kazan (Volga Region) Federal University, 18, Kremlyovskaya str., 420008, Kazan, Russia,  
*e-mail: irshat.shigapov@kpfu.ru*

<sup>4</sup> Bukhara State University, 11, Mukhammada Iqbala str., Bukhara, Republic of Uzbekistan,  
*e-mail: y.d.xolov@buxdu.uz*

Исследованию экраноземов посвящено большое количество научных работ зарубежных ученых [Craul, 1999; Scalenghe, Ajmone Marsan, 2009; Kopecká, Rosina, 2012; Xiao et al., 2013; Tombolini et al., 2015; García, Pérez, 2016]. В трудах отечественных исследователей поднимаются вопросы специфики почв урбанизированных территорий и их влияния на городские экосистемы.

Так, в работе Е. М. Никифоровой и соавторов [2017] на примере одного из административных округов Москвы проводится сравнительный анализ экраноземов и естественных городских почв по содержанию тяжелых металлов.

В исследованиях А. В. Погорелова, Д. А. Липилина [2016], С. С. Шинкаренко и соавторов [2020] затрагивается проблема влияния запечатанных поверхностей на тепловой режим городов.

С развитием геоинформационных технологий в изучении почвенного покрова все большую популярность приобретают методы дистанционного зондирования Земли, включая расчет вегетационных индексов (NDVI, SAVI и др.), позволяющих оценить свойства почв по их спектральной отражательной способности.

Т. С. Хабибрахмановым с соавторами [2017] разработан алгоритм геоинформационного картографирования запечатанных почв г. Ростова-на Дону.

В исследованиях О. А. Гордиенко [2021] и О. Ю. Кошелевой [2019] с помощью данных дистанционного зондирования Земли осуществляется оценка запечатанных почв Волгограда.

Несмотря на накопленную доказательную базу негативного воздействия запечатанных поверхностей на городскую экосистему, вопрос о нормировании показателя все еще остается вне действующего правового поля.

В настоящее время в российском законодательстве отсутствуют закрепленные нормативы по соотношению открытых и закрытых поверхностей городских территорий. Исключением является Закон г. Москвы от 4 июня 2007 г. № 31 «О городских почвах»<sup>1</sup>.

Как правило, оценка запечатанности почв в городах осуществляется на основе анализа показателя озеленения. Согласно «Методическим указаниям по оценке городских почв», при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации рекомендуемый норматив озелененной площади на 1 человека составляет 20–24 м<sup>2</sup>/чел.<sup>2</sup> В своде правил «СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» приводятся рекомендации относительно соотношения открытых и закрытых поверхностей в пределах города, согласно которым свободными от искусственных покрытий должно оставаться порядка 40 % территории, следовательно, на долю закрытых поверхностей может приходиться не более 60 %<sup>3</sup>.

Город Казань относится к числу наиболее динамично развивающихся городов России. На сегодняшний день для столицы Татарстана характерна устойчивая тенденция роста населения и увеличения городской территории.

В ближайшей перспективе планируется активная застройка территорий муниципальных районов, входящих в Казанскую агломерацию, а также вдоль направлений Казань–Зеленодольск, Казань–Иннополис, Казань–Нижние Вязовые. Высокую привлекательность для девелоперов сохраняет исторический центр города.

<sup>1</sup> Закон города Москвы от 4 июня 2007 года № 31 «О городских почвах». Электронный ресурс: <http://www.garant.ru/hotlaw/moscow/158912/> (дата обращения 22.01.2024)

<sup>2</sup> Методика формирования качества городской среды: распоряжение Правительства РФ от 23 марта 2019 г. № 510-р. Электронный ресурс: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_320891/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_320891/) (дата обращения 20.01.2024)

<sup>3</sup> СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Электронный ресурс: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14465/> (дата обращения 22.04.2024)

Интенсивное строительство, оказывая значительный положительный эффект на социально-экономическое развитие города, в то же время становится источником экологических проблем, в числе которых — деградация и чрезмерная запечатанность почвенного покрова.

Территория г. Казани в физико-географическом отношении входит в подзону южной тайги и лесостепную зону, для которых характерно распространение дерново-подзолистых, серо-лесных почв и оподзоленных черноземов. Однако данные типы естественно сформировавшихся почв практически не встречаются в пределах городской черты, где наблюдается доминирование урбаноземов и экраноземов. Доля открытых участков в ряде городских районов составляет не более 1–5 % [Александрова, 2004].

Вопросам исследования урбаноземов Казани посвящено исследование А. Б. Александровой, в котором автор приводит классификацию городских почв в соответствии с функциональным зонированием. Согласно выводам автора, в промышленных зонах города, на которые приходится около 20 % площади почвенного покрова, преобладают экраноземы, от 3 до 5 % площади занимают урбаноземы, крайне редко встречаются реплантоземы (менее 1 %). Для почвенного покрова селитебных зон, занимающих 50 % территории города, характерно распространение урбаноземов и экраноземов, формирующихся на насыпных грунтах, а также агроземов в зоне индивидуальной жилой застройки на северо-западе, юго-востоке и северо-востоке города. Для природно-рекреационной зоны характерно распространение сохранившихся дерново-подзолистых почв (на западе города, на правобережье р. Казанки вверх по течению и в южной части города), а также серых лесных (на окраинах юго-восточной и восточной частей города) [там же].

Целью настоящего исследования явилась оценка современного состояния запечатанности почв г. Казани.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенное исследование осуществлялось на основе традиционных географических методов (сравнительный анализ, описательный, картографический, количественный методы), а также с применением геоинформационных технологий и метода дистанционного зондирования Земли.

Нормативно-правовую базу исследования составили положения основных градостроительных документов, в т. ч. Генерального плана г. Казани<sup>1</sup> и Стратегии социально-экономического развития муниципального образования г. Казань до 2030 г.<sup>2</sup>

В качестве объекта исследования был определен почвенный покров семи административных районов города.

В рамках настоящего исследования под запечатанными почвами понимались поверхности под всеми антропогенными объектами, включая здания и дорожные асфальтобетонные и каменные покрытия.

Определение индекса запечатанности почв (Изп) осуществлялось на основе набора диагностических показателей:

- плотность застройки (отношение площади зданий к общей площади района), %;

<sup>1</sup> Решение Казанской городской Думы от 28.02.2020 № 5-38 «Об утверждении Генплана г. Казани». Электронный ресурс: <https://kzn.ru/meriya/ispolnitelnyy-komitets/upravlenie-arkhitektury-i-gradostroitelstva-ispolnitelnogo-komiteta-g-kazani/gradostroitelstvo/?ysclid=lujqc40sah591284597> (дата обращения 20.04.2024)

<sup>2</sup> Решение Казанской городской Думы от 14 декабря 2016 г. № 2-12 «О Стратегии социально-экономического развития муниципального образования г. Казани до 2030 года» (с изменениями и дополнениями). Электронный ресурс: <https://kzn.ru/o-kazani/strategiya-kazani-2030/?ysclid=lvf6n9bjck600640868> (дата обращения 02.05.2024)

- плотность зеленых зон (отношений площади парков, скверов и лесных массивов к общей площади района), %;
- плотность частной застройки (отношение площади территории частной застройки к общей площади района), %.

Расчеты производились в геоинформационной системе QGIS методом оцифровки растровых данных с применением инструментов обработки векторных данных, инструмента анализа векторных данных «Базовая статистика для полей», а также калькулятора полей для расчета площадей объектов.

Основным источником векторных данных для пространственного анализа явились данные свободного веб-картографического сервиса OpenStreetMap.

Плотность застройки рассчитывалась на основе полигональных данных зданий г. Казани.

Вычисление плотности частной застройки осуществлялось на основе данных Генерального плана г. Казани, включающих территории зон Ж1 (зона индивидуальной и блокированной жилой застройки), Ж2 (зона малоэтажной жилой застройки), СТ (зона садоводств и огородничеств).

Плотность зеленых зон определялась при помощи полигональных слоев «Парки и скверы» и «Леса и лесные массивы».

Расчет индекса запечатанности почв осуществлялся как среднее арифметическое отобранных для анализа диагностических показателей (плотность застройки, плотность зеленых зон, плотность частной застройки) по формуле (1):

$$\text{Изп} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1),$$

где Изп — индекс запечатанности почв,  
 $X_i$  — значение показателя,  
 $n$  — число показателей.

Нормирование показателей, оказывающих прямое воздействие на процесс запечатывания почв (плотность застройки), производилось по формуле (2):

$$X_n = \frac{X_i}{X_{\max}} \quad (2),$$

где  $X_n$  — нормированное значение показателя,  
 $X_{\max}$  — максимальное значение показателя,  
 $X$  — значение показателя.

Показатели, оказывающие обратное влияние на процесс запечатывания почв (плотность зеленых зон, плотность частной застройки), нормировались по формуле (3):

$$X_n = 1 - \frac{X_i}{X_{\max}} \quad (3),$$

где  $X_n$  — нормированное значение показателя,  
 $X_{\max}$  — максимальное значение показателя,  
 $X_i$  — значение показателя.

Оценка уровня запечатанности почв Вахитовского и Советского районов г. Казани осуществлялась на основе расчета вегетационного индекса Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), демонстрирующего степень развития растительности с коррекцией по почве.

Выбор данного индекса связан с его способностью отображать состояние растительного покрова на участках с незначительным озеленением, что актуально для урбанизированных территорий, являющихся объектом исследования.

Погрешность расчета индекса SAVI связана с влиянием погодных условий (сильная облачность и дымка), высоких температур (способствуют торможению роста и развития растений), почвенных свойств (цвет и яркость) и составляет около 5–10 %.

Интерпретация полученных результатов основывалась на предположении, что минимальные значения индекса (менее 0,15) соответствуют территориям, лишенным растительности и предположительно запечатанным антропогенными покрытиями.

Расчет индекса SAVI осуществлялся по формуле (4):

$$SAVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} * (1 + L) \quad (4),$$

где NIR — отражение в ближней инфракрасной области спектра,  
RED — отражение в красной области спектра,  
L — постоянный коэффициент.

В исследовании использовались космоснимки спутника Landsat-8 разрешения 30 м, полученные с сайта USGS (каналы B4 (Red) и B5 (NIR), L = 0,5 по состоянию на 28 августа 2023 г.

На анализируемых территориях были идентифицированы 3 вида почв: запечатанные, незапечатанные (те, что были точно определены по космоснимкам) и прочие (почвы под дорогами, газонами между жилыми домами и проезжей частью, санитарно-защитными полосами, не определяемыми на снимках Landsat-8).

Выбор в качестве источника данных спутника Landsat-8 обусловлен его доступностью и возможностью свободного скачивания снимков в формате TIFF для дальнейшей обработки в геоинформационных системах в отличие от более усовершенствованных версий, таких как Sentinel.

Определение процентного соотношения закрытых поверхностей осуществлялось в геоинформационной системе ArcGIS с помощью переклассификации растров и расчета площадей.

Картографические произведения были построены в геоинформационной системе QGIS (визуализация результатов расчета индекса запечатанности почв) и ArcGIS (визуализация результатов оценки уровня запечатанности почв на основе индекса SAVI).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках первого этапа исследования была проведена оценка степени запечатанности почвенного покрова Казани на основе расчета специализированного индекса (Изн) в разрезе 7 административных районов города.

Полученные результаты отражены в табл. 1.

Согласно полученным результатам (рис. 1), наибольший индекс запечатанности почв отмечен у Ново-Савиновского (0,895) и Вахитовского (0,778) районов, территории которых характеризуются максимальной плотностью застройки и низким уровнем озеленения. Относительно благополучная ситуация сложилась в Советском и Авиастроительном районах, значения индексов запечатанности которых составили соответственно 0,319 и 0,337, что связано со значительной площадью частного сектора и зеленых зон.



Табл. 1. Результаты расчета индекса запечатанности почв  
административных районов г. Казани  
Table 1. Results of calculation of the index of soil sealability  
of administrative districts of Kazan

Наименование района	Плотность застройки, %	Плотность зеленых зон, %	Плотность частной застройки, %	Индекс запечатанности почв (ИЗп)
Советский	0,055	0,192	0,296	0,319
Приволжский	0,037	0,151	0,154	0,454
Ново-Савиновский	0,125	0,072	0,030	0,895
Московский	0,081	0,222	0,018	0,634
Кировский	0,032	0,320	0,137	0,282
Вахитовский	0,095	0,089	0,050	0,778
Авиастроительный	0,057	0,142	0,334	0,337

Источник: составлено авторами

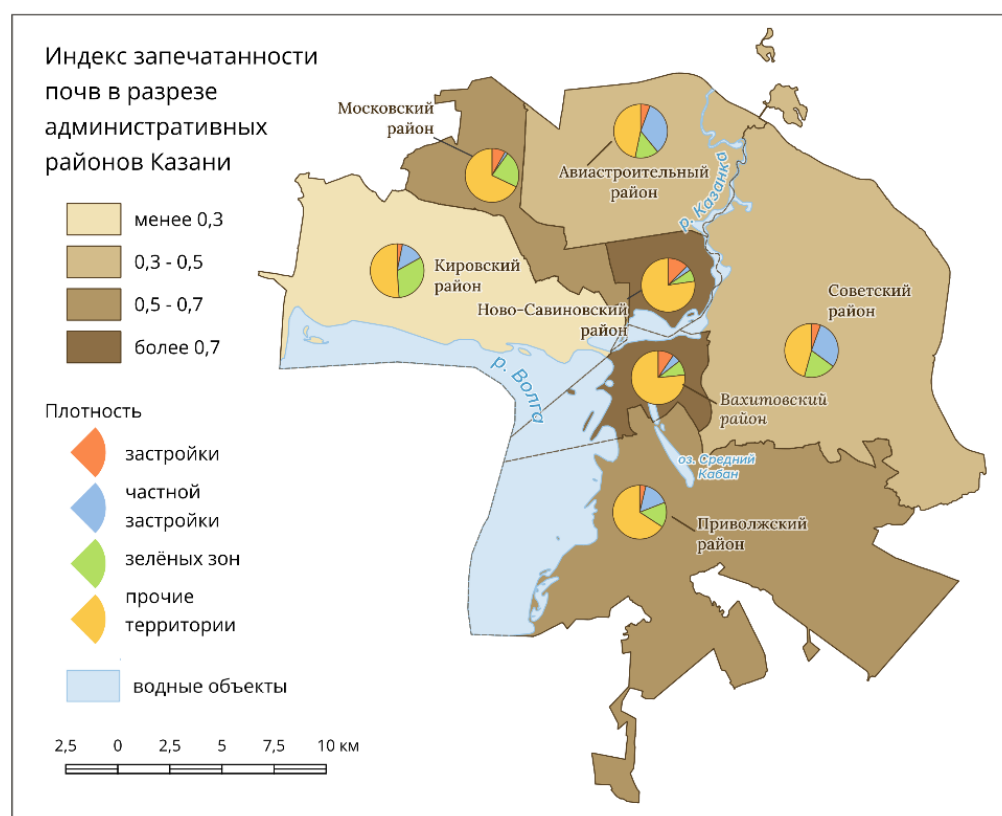


Рис. 1. Территориальные особенности степени запечатанности почв г. Казани  
Fig. 1. Territorial features of the degree of soil sealing in Kazan

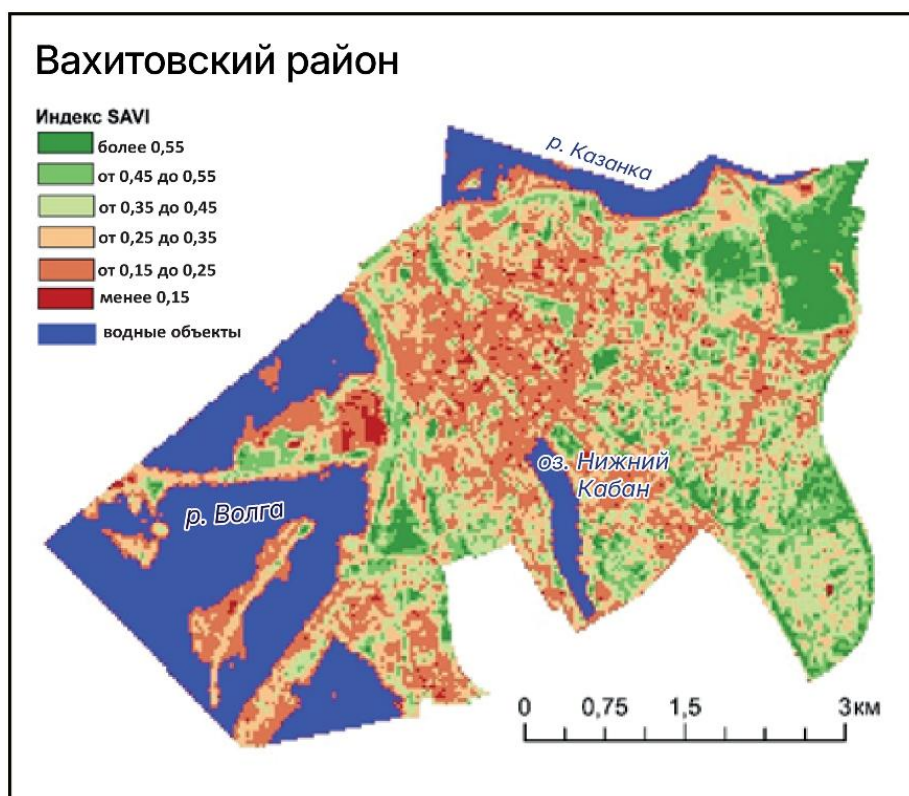
Для более детального анализа исследуемой проблемы на втором этапе исследования была проведена оценка степени запечатанности почв методом дешифрирования космоснимков на примере исторического района города с плотной застройкой (Вахитовский) и района нового интенсивного строительства (Советский).

Вахитовский район, занимая небольшую площадь (25,82 км<sup>2</sup>), характеризуется наименьшей численностью населения (85,1 тыс. чел.), выраженным дефицитом свободных

площадей, преобладанием административных и исторических объектов, высоким уровнем благоустройства и озеленения.

Советский район является самым большим по площади районом города, занимая территорию 170,49 км<sup>2</sup>, которая включает крупные спальные микрорайоны, несколько поселков и 14 промышленных предприятий. Район характеризуется активной застройкой и контрастностью по уровню благоустройства.

На рис. 2 визуализированы результаты расчета индекса SAVI для Вахитовского района г. Казани.



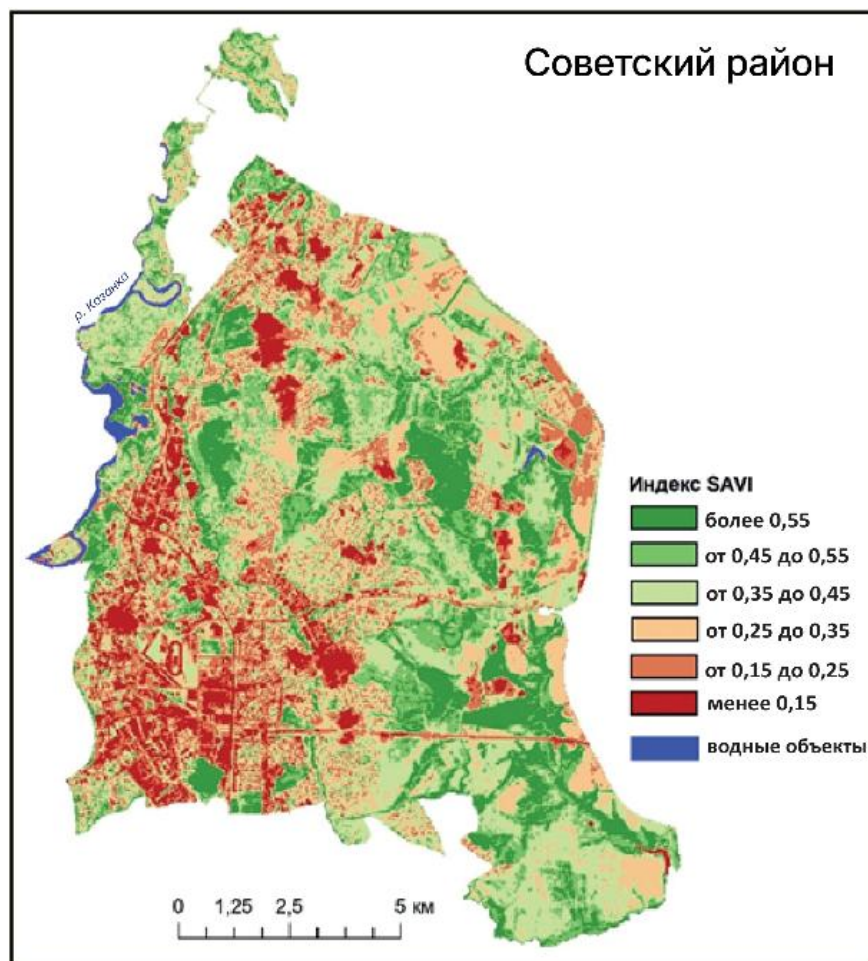
*Рис. 2. Распределение открытых и закрытых поверхностей на территории Вахитовского района г. Казани по индексу SAVI*

*Fig. 2. Distribution of open and closed surfaces on the territory of Vakhitovsky district of Kazan according to the SAVI index*

Геоизображение спектрального индекса SAVI Вахитовского района (рис. 2) демонстрирует преобладание участков с низким значением индекса SAVI и, как следствие, высокой степенью запечатывания почв в центральной части, для которой характерна концентрация административных учреждений, вузов, объектов историко-культурного значения и памятников архитектуры.

Наибольшие значения индекса SAVI фиксируются на северо-востоке, юго-востоке, а также юго-западе района, где располагаются зеленые зоны (Центральный парк культуры и отдыха имени Горького, парк Молодоженов и частный сектор (жилой массив Ометьево, поселок нефтяников).





*Рис. 3. Распределение открытых и закрытых поверхностей на территории Советского района г. Казани по индексу SAVI*

*Fig. 3. Distribution of open and closed surfaces in the territory of the Sovetsky district of Kazan according to the SAVI index*

Геоизображение спектрального индекса SAVI Советского района (рис. 3) позволяет установить, что максимальные показатели индекса SAVI соответствуют зонам расположения поселков с индивидуальной жилой застройкой, буферным зонам промышленных предприятий и лесным массивам. Минимальные значения показателя фиксируются на юго-западе района, где сосредоточены спальные микрорайоны с высокой плотностью застройки.

Для оценки среднего уровня запечатанности почв в исследуемых районах была рассчитана доля территорий, попавших в диапазон значений индекса SAVI менее 0,15 (предположительно запечатанные поверхности) в общей площади районов. Для Вахитовского района показатель составил 72,7 %, для Советского района — 49,4 %.

В табл. 2 представлены результаты первого и второго этапов исследования, сравнение которых позволяет установить определенное соответствие.

Для Вахитовского района, согласно обеим методикам, фиксируется высокая доля (более 70 %) запечатанных поверхностей. Для Советского района наблюдается некоторое расхождение в значениях показателей доли запечатанных поверхностей. Согласно результатам расчета Изп, к закрытым поверхностям отнесено чуть более трети территории района, в то время как данные, полученные на основе индекса SAVI, свидетельствуют о том, что

почти половина территории района запечатана. Выявленное несоответствие может быть связано с определенными погрешностями в методике и расчетах. В частности, при расчете индекса запечатанности почв не учитывались участки дорог с асфальтовым покрытием, а также не использовались весовые коэффициенты, демонстрирующие значимость отдельных диагностических показателей.

*Табл. 2. Результаты оценки уровня запечатанности почв г. Казани*  
*Table 2. Results of the assessment of the level of soil sealing in Kazan*

Наименование района	Индекс запечатанности почв (Изп)	Доля запечатанных поверхностей по индексу SAVI, %
Советский	0,319	49,4
Приволжский	0,454	–
Ново-Савиновский	0,895	–
Московский	0,634	–
Кировский	0,282	–
Вахитовский	0,778	72,7
Авиастроительный	0,337	–

## ВЫВОДЫ

В последние годы наблюдается активная застройка территории Казани, что обостряет существующую проблему запечатывания городских почв. На сегодняшний день площадь зеленых насаждений Казани составляет 11,7 % при рекомендуемом показателе 40 %, что обуславливает актуальность разработки мероприятий по благоустройству и совершенствованию планировочной структуры, включающих рекультивацию городских почв, реконструкцию и перепланировку различных участков города.

Оценка индекса запечатывания почв в разрезе административных районов Казани показала значительную дифференциацию показателя. Так, наиболее тревожная ситуация была зафиксирована в Ново-Савиновском и Вахитовском районах города, характеризующихся максимальной плотностью застройки и минимальной долей зеленых зон. Относительно благополучная ситуация была отмечена в Советском и Авиастроительном районах города, для которых характерна значительная площадь территорий частной застройки и зеленых зон.

Результаты исследования территорий Вахитовского и Советского районов города на основе космоснимков с последующим расчетом вегетационного индекса Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) показали, что для Вахитовского района отмечается высокая степень запечатанности почвенного покрова (более 70 %). В Советском районе к закрытым поверхностям отнесено чуть менее половины территории. Сравнение полученных результатов с показателями Изп продемонстрировало наличие определенного соответствия. Наибольшее совпадение отмечается для Вахитовского района. Некоторое расхождение в показателях, наблюдаемое для Советского района, может быть связано с несовершенством методики и погрешностью в расчетах.

Устойчивое развитие городской экосистемы г. Казани возможно при соблюдении баланса между запечатанными и открытыми поверхностями в соответствии с действующими нормативами по озеленению территории. При разработке градостроительных мероприятий и планировочных решений важно использовать положительный опыт и лучшие мировые практики борьбы с запечатыванием поверхностей, включая обустройство экологических парковок на основе технологии газонной решетки, предотвращающей повреждение корневой системы растений автомобильными шинами; изменение функционального зонирования города с последующим снятием твердого покрытия и рекультивацией почв и др.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова А. Б.* Почвенно-экологические условия формирования ландшафтов г. Казани. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Казань, 2004. 24 с.
- 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.
- Кошелева О. Ю.* Оценка запечатанности почвенного покрова города Волгограда. Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 2019. № 1. С. 12–18. DOI: 10.17308/geo.2019.1/2280.
- Никифорова Е. М., Кошелева Е. М., Хайбрахманов Т. С.* Эколого-геохимическая оценка состояния запечатанных почв Восточной Москвы. Вестник РУДН. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности», 2017. Т. 25. № 4. С. 480–509. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-480-509.
- Погорелов А. В., Липилин Д. А.* Тепловой «портрет» города Краснодара по данным спутниковых снимков. Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика, 2016. № 41. С. 32–45. DOI: 10.15593/240975125/2016.04.03.
- 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. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-256-266.
- 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. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-125-141.
- Craul Ph. J.* Urban Soils: Applications and Practices. New York: John Wiley & Sons, 1999. 377 p.
- García P., Pérez E.* Mapping of Soil Sealing by Vegetation Indexes and Built-up Index: A Case Study in Madrid (Spain). Geoderma, 2016. V. 268. P. 100–107.
- Kopecká M., Rosina K.* Soil Sealing Assessment in the Town Trnava. Geographical Information, 2012. No. 16. P. 192–203.
- Scalenghe R., Ajmone Marsan F.* The Anthropogenic Sealing of Soils in Urban Areas. Landscape and Urban Planning, 2009. No. 90. P. 1–10.
- 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.
- 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

- Aleksandrova A. B.* Soil and Ecological Conditions of Landscape Formation in Kazan. Author's abstract of dissertation for PhD in biological sciences. Kazan, 2004. 24 p (in Russian).
- Craul Ph. J.* Urban Soils: Applications and Practices. New York: John Wiley & Sons, 1999. 377 p.
- García P., Pérez E.* Mapping of Soil Sealing by Vegetation Indexes and Built-up Index: A Case Study in Madrid (Spain). Geoderma, 2016. V. 268. P. 100–107.

*Gordienko O. A.* Determination of the Sealability of Soils and Grounds of Functional Zones of Volgograd Based on Remote Sensing Data. *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2021. Iss. 107. P. 116–138 (in Russian). DOI: 10.19047/0136-1694-2021-107-116-138.

*Khaibrakhmanov T. S., Nikiforova E. M., Kosheleva N. E.* Cartographic Support for the Ecological and Geochemical Assessment of Sealed Soils in Urbanized Areas. *InterCarto. InterGIS*, 2017. V. 23. No. 1. P. 256–266 (in Russian). DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-256-266.

*Kopecká M., Rosina K.* Soil Sealing Assessment in the Town Trnava. *Geographical Information*, 2012. No. 16. P. 192–203.

*Kosheleva O. Yu.* Assessment of the Sealability of the Soil Cover of the City of Volgograd. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 2019. No. 1. P. 12–18 (in Russian). DOI: 10.17308/geo.2019.1/2280.

*Nikiforova E. M., Kosheleva N. E., Khaibrakhmanov T. S.* Ecological and Geochemical Assessment of the State of Sealed Soils of Eastern Moscow. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 2017. V. 25. No. 4. P. 480–509 (in Russian). DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-480-509.

*Pogorelov A. V., Lipilin D. A.* Thermal “Portrait” of the City of Krasnodar Based on Satellite Images. *PNRPU Bulletin. Applied Ecology. Urban Development*, 2016. No. 41. P. 32–45 (in Russian). DOI: 10.15593/240975125/2016.04.03.

*Scalenghe R., Ajmone Marsan F.* The Anthropogenic Sealing of Soils in Urban Areas. *Landscape and Urban Planning*, 2009. No. 90. P. 1–10.

*Shinkarenko S. S., Kosheleva O. Yu., Gordienko O. A., Dubacheva A. A., Omarov R. S.* Analysis of the Influence of Soil Cover Sealing and Greening on the Temperature Field of the Volgograd Agglomeration According to MODIS Data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 2020. V. 17. No. 5. P. 125–141 (in Russian). DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-125-141.

*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.

*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.