



Научная статья  
УДК 504.06+528.9  
doi: 10.55186/25876740\_2026\_69\_3\_313

## ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ МЕГАПОЛИСА (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МОСКВЫ)

А.С. Акаев, В.В. Вершинин

Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

**Аннотация.** В научной статье рассматриваются методологические и прикладные аспекты интеграции цифровых пространственных данных различной сферы в систему геоэкологического мониторинга городской среды. Целью исследования является формирование целостной модели анализа устойчивости и изменений урбанизированных территорий с использованием современных цифровых инструментов — 3D-лазерного сканирования, дистанционного зондирования и геоинформационных систем. На примере Москвы показана практическая реализация разработанной схемы, выявлены зоны экологического напряжения и обозначены перспективы использования комплексных пространственных данных для управления городской средой. В частности: полученные результаты нашего исследования подтверждают, что вертикальное уплотнение застройки в сочетании с сокращением площади зелёных насаждений усиливает экологическую нагрузку, особенно в центральных районах мегаполиса. Зоны с резким снижением NDVI и ростом температуры совпадают с участками уплотнённой застройки, а наиболее устойчивые территории — это районы с высоким процентом зелёного каркаса и низкой плотностью застройки. Переходные зоны демонстрируют потенциальные риски деградации среды — особенно в районах активного строительства с неразвитой инфраструктурой. Практическая ценность разработанной и представленной в данной публикации модели заключается в том, что она определяет зоны экологического стресса для определения приоритетов градостроительных решений, создает основу (базовые параметры) для автоматизированного мониторинга в режиме реального времени на основе обновленных спутниковых данных и обосновывает необходимость и целесообразность использования интегрированной модели для оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) при планировании новых объектов. Кроме того, разработанная интегрированная модель может быть использована в качестве основы для создания цифрового двойника городской территории, ориентированного на задачи экологического мониторинга. В статье обоснована необходимость многоуровневого подхода к обработке информации, предложена схема интеграции данных, обеспечивающая пространственно-временной анализ ключевых геоэкологических показателей. Представленные результаты демонстрируют высокую информативность и практическую значимость цифровых методов в системе экологического мониторинга городской территории.

**Ключевые слова:** цифровые данные, 3D-сканирование, ГИС, дистанционное зондирование, городская среда, устойчивость, пространственный анализ

## INTEGRATION OF DIGITAL SPATIAL DATA INTO GEOECOLOGICAL MONITORING OF THE URBAN ENVIRONMENT OF A MEGAPOLIS (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF MOSCOW)

A.S. Akaev, V.V. Vershinin

State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

**Abstract.** The scientific article considers the methodological and applied aspects of integrating digital spatial data from various fields into the system of geoecological monitoring of the urban environment. The aim of the study is to form a holistic model for analyzing the sustainability and changes in urban areas using modern digital tools — 3D laser scanning, remote sensing and geographic information systems. Using Moscow as an example, the practical implementation of the developed scheme is shown, environmental stress zones are identified and prospects for using complex spatial data for managing the urban environment are outlined. In particular, the results of our study confirm that vertical urbanization combined with a decrease in green space increases the environmental burden, especially in the central areas of the metropolis. Areas with a sharp decrease in NDVI and an increase in temperature coincide with areas of dense urbanization, while the most sustainable areas are those with a high percentage of green space and low building density. Transitional areas demonstrate potential risks of environmental degradation, especially in areas of active construction with underdeveloped infrastructure. The practical value of the model developed and presented in this publication is that it identifies areas of environmental stress for prioritizing urban planning decisions, creates a foundation (basic parameters) for automated real-time monitoring based on updated satellite data, and justifies the need and feasibility of using an integrated model for environmental impact assessment (EIA) when planning new facilities. Additionally, the developed integrated model can be used as a basis for creating a digital twin of an urban area focused on environmental monitoring tasks. The practical value of the model developed and presented in this publication is that it identifies areas of environmental stress for prioritizing urban planning decisions, creates a foundation (basic parameters) for automated real-time monitoring based on updated satellite data, and justifies the need and feasibility of using an integrated model for environmental impact assessment (EIA) when planning new facilities. Additionally, the developed integrated model can be used as a basis for creating a digital twin of an urban area focused on environmental monitoring tasks. The article substantiates the need for a multi-level approach to information processing, proposes a data integration scheme that provides spatio-temporal analysis of key geoecological indicators. The presented results demonstrate the high information content and practical significance of digital methods in the system of environmental monitoring of the urban area.

**Keywords:** digital data, 3D scanning, GIS, remote sensing, urban environment, sustainability, spatial analysis

**Введение.** Современные мегаполисы сталкиваются с рядом экологических вызовов, связанных с ростом плотности застройки, нарушением природных связей, деградацией зелёных зон и изменением микроклимата. В этих условиях возрастает потребность в эффективном геоэкологическом мониторинге, способном обеспечивать системный и пространственно-временной анализ состояния городской среды [1].

Цифровизация пространственных данных, внедрение 3D-сканирования и развитие

ГИС-технологий открывают принципиально новые возможности для оценки экологических параметров урбанизированных территорий.

Однако без качественной интеграции этих разнотипных данных невозможно получить объективную и масштабную картину геоэкологических процессов [4].

Цель исследования — разработать и апробировать подход к интеграции цифровых пространственных данных в систему геоэко-

логического мониторинга городской среды на примере Москвы.

*Задачи исследования:*

1. Оценить потенциал различных цифровых источников данных для целей мониторинга.
2. Предложить схему интеграции данных с учётом пространственной и временной синхронизации.
3. Провести анализ устойчивости и изменений городской среды на основе интегрированной модели.

**Методология исследования.** Для построения интегрированной системы мониторинга использовались разнородные цифровые источники, сгруппированные в три категории:

1. Высокоточные пространственные данные включающие: облака точек, полученные с мобильных и стационарных 3D-сканеров и позволяющие оценить высотно-пространственную морфологию застройки, плотность объектов и состояние поверхности [5].

Результат обработки указанных данных представлен на рисунке 1 и рисунке 2.

2. Спутниковые изображения: мультиспектральные снимки Sentinel-2 (разрешение до 10 м) и Landsat-8 (разрешение 30 м) — для анализа растительности (NDVI), температурных аномалий, урбанизированных изменений во времени [4].

3. ГИС-данные и административные слои: пространственные слои из портала «Открытые данные Москвы» — включают информацию об объектах инфраструктуры, зонировании, шумовом загрязнении, озеленении и транспортной загруженности [3].

Разработанный подход базируется на трех этапах:

1. Предобработка

- Конвертация всех данных в единую систему координат;
- Очистка данных от шумов, особенно в лазерных облаках точек;
- Геокодирование снимков и ГИС-слоев, проверка топологической совместимости.

2. Интеграция и визуализация:

- Совмещение данных в многослойной среде QGIS и ArcGIS;
- Создание индексных и тематических карт (NDVI, индекс плотности застройки, индекс микроклиматической нагрузки) [4];
- Построение цифровой модели рельефа и урбанизированной среды с наложением экологических параметров.

3. Пространственно-временной анализ:

- Сравнительный анализ данных за период 2018–2024 гг.;
- Векторизация и трассировка границ зон экологической нестабильности;
- Построение временных рядов по параметрам деградации зелёных зон, изменения отражательной способности поверхности, роста тепловых аномалий.

Для анализа данных требуется воспользоваться следующими инструментами:

- *CloudCompare* — для работы с 3D-облаками точек [7];
- *QGIS, ArcGIS Pro* — для картографического анализа и наложения слоёв;
- *Google Earth Engine* — анализ временных спутниковых данных [8];
- *Python* (библиотеки *geopandas, rasterio, matplotlib*) — для построения моделей и графиков.

Важным элементом методологии является обеспечение сопоставимости пространственных данных различного происхождения. Для этого применялись методы пространственной нормализации и агрегирования, позволяющие согласовать разномасштабные данные (облака точек, растровые снимки и векторные слои) в рамках единой аналитической среды.

Особое внимание уделялось временной синхронизации данных, что позволило корректно анализировать динамику изменений геоэкологических показателей и минимизи-

ровать искажения, связанные с сезонностью и различиями в датах съёмки. Такой подход обеспечивает воспроизводимость результатов и расширяет возможности применения модели для долгосрочного мониторинга городской среды.

**Результаты исследования.** Интеграция трёхмерных данных и спутниковой информации, как показали наши исследования, позволяет перейти от традиционного двумерного анализа к более детальному пространственному моделированию городской среды. Использование облаков точек дало возможность оценить не только плотность застройки, но и её вертикальную структуру, что имеет принципиальное значение для анализа микроклиматических

эффектов, вентиляции городской застройки и формирования тепловых островов.

Полученные результаты подтверждают, что вертикальное уплотнение застройки в сочетании с сокращением площади зелёных насаждений усиливает экологическую нагрузку, особенно в центральных районах мегаполиса.

*Ключевые наблюдения:*

Зоны с резким снижением NDVI и ростом температуры совпадают с участками уплотнённой застройки (районы: Даниловский, Пресненский, части Мещанского района) [4].

Наиболее устойчивые территории — районы с высоким процентом зелёного каркаса и низкой плотностью застройки (Измайлово, Лосинный Остров, Тимирязевский парк) [6].

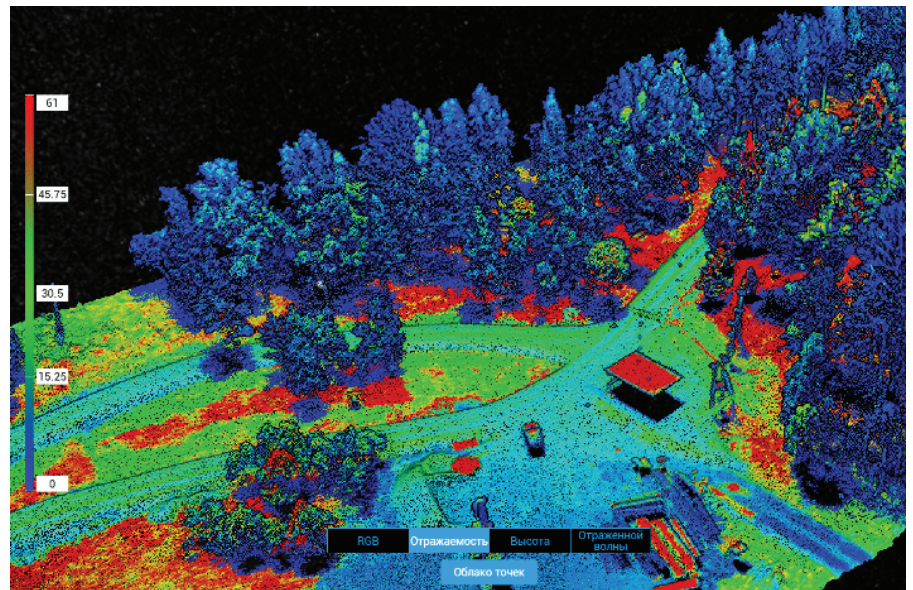


Рисунок 1. Облако точек, полученное путем лазерного сканирования  
Figure 1. Point cloud obtained by laser scanning

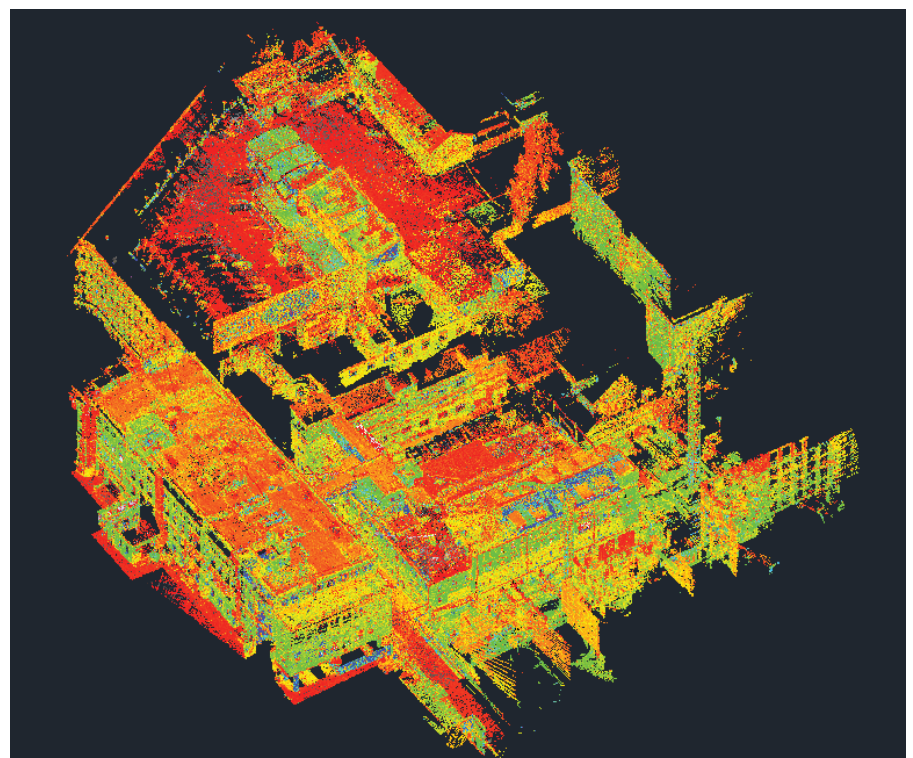


Рисунок 2. Облако точек, характеризующее плотность застройки [авторская разработка]  
Figure 2. Point cloud characterizing the density of buildings [author's development]



Переходные зоны демонстрируют потенциальные риски деградации среды — особенно в районах активного строительства с неразвитой инфраструктурой.

Практическая ценность модели:

1. Выявлены зоны с экологическим напряжением для приоритизации градостроительных решений.
2. Интеграционная модель может быть использована в оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при планировании новых объектов.
3. Созданы заделы для автоматизированного мониторинга в реальном времени на основе обновляемых спутниковых данных.

Дополнительно разработанная интеграционная модель может быть использована в качестве основы для создания цифрового двойника городской территории, ориентированного на задачи экологического мониторинга. Такой цифровой двойник позволяет моделировать сце-

нарии градостроительного развития, оценивать потенциальные экологические риски до начала реализации проектов и повышать обоснованность управленческих решений.

Использование модели в системе муниципального управления способствует переходу от реактивного подхода к проактивному управлению городской средой, основанному на прогнозировании и предупреждении негативных экологических изменений.

Рассмотрим график (рис.3) и таблицу (табл.1), иллюстрирующие изменения NDVI по районам Москвы с 2018 по 2024 годы [6]:

По таблице и графику сравнения NDVI по районам (2018 — 2024) можно сделать вывод:

1. Видно устойчивое снижение NDVI практически во всех районах, особенно в центральной части города.
2. Районы с плотной застройкой демонстрируют наибольшую потерю «зелёности» [6].

Также, рассмотрим тепловую карту экологических рисков по районам Москвы (рис. 4).

исунка видно, что: Хамовники и Пресненский район имеют самые высокие показатели экологического риска — это связано с высокой плотностью застройки, транспортной нагрузкой и снижением зелёного покрова. Измайлово и Тимирязевский демонстрируют более благоприятные условия — благодаря наличию крупных зелёных массивов [6].

Ключевым элементом работы является Концептуальная модель интеграции данных (Geo-Eco-Integrator).

Таблица 1. Изменение NDVI по районам Москвы [6]  
Table 1. Change in NDVI by district in Moscow [6]

Район	NDVI 2018	NDVI 2024	Изменение
Хамовники	0.38	0.32	-0.06
Пресненский	0.42	0.37	-0.05
Южнопортовый	0.31	0.27	-0.04
Измайлово	0.56	0.52	-0.04
Тимирязевский	0.53	0.50	-0.03

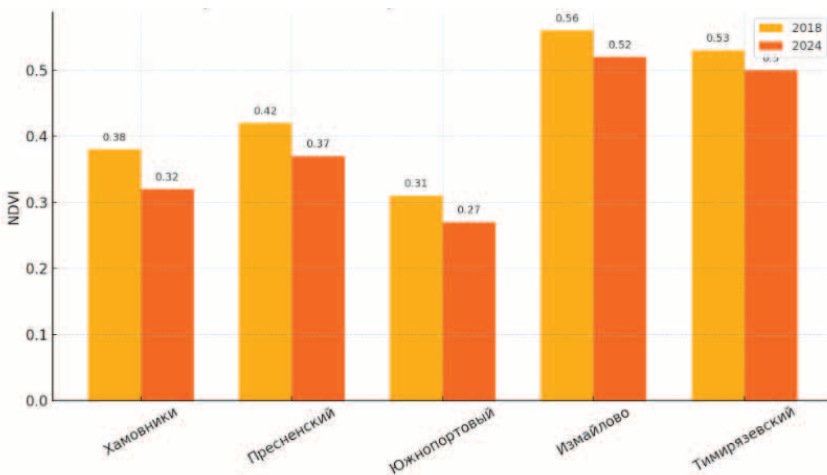


Рисунок 3. Сравнение NDVI по районам Москвы 2018 по 2024 годы [6]  
Figure 3. Comparison of NDVI by Moscow districts 2018 vs 2024 [6]

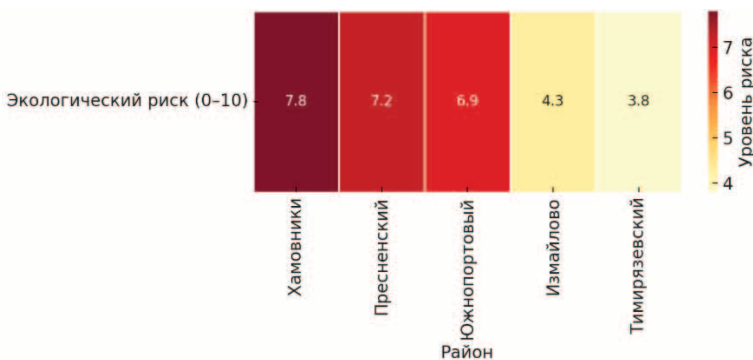


Рисунок 4. Тепловая карта экологических рисков по районам Москвы [6]  
Figure 4. Heat map of environmental risks by district in Moscow [6]

Этапы реализации модели:

1. Синхронизация (Harmonization): приведение данных к единому временному срезу (например, вегетационный период 2024 г.) и проекции.
2. Синтез показателей: расчет интегрального индекса экологической устойчивости ( $I_{es}$ ), который можно выразить формулой:

$$I_{es} = \frac{(NDVI \times w_1) + (1 - I_{build} \times w_2)}{(LST_{norm} \times w_3)},$$

где NDVI — индекс вегетации;

$I_{build}$  — индекс плотности застройки (на основе 3D-данных);

$LST_{norm}$  — нормализованная температура поверхности;

$w_n$  — весовые коэффициенты значимости факторов.

Комплексные пространственные данные открывают новые горизонты в управлении городской средой, позволяя перейти от фрагментарного подхода к системному и научно обоснованному. Их использование значительно усиливает возможности прогнозирования экологических рисков, поскольку современные технологии — такие как 3D-сканирование, спутниковый мониторинг и геоинформационный анализ — обеспечивают высокий уровень детализации и регуляторы наблюдений. Это позволяет не только фиксировать изменения в городской среде, но и выявлять ранние признаки экологической деградации, моделировать сценарии её развития и заблаговременно принимать решения по корректирующим мерам [5].

Интеграция пространственных данных в процессы градостроительного планирования делает возможным точечный выбор территорий под застройку с учётом реальной устойчивости городской среды. Это особенно важно для мегаполисов, где плотность застройки и сложные инженерные системы требуют повышенного внимания к экологическим ограничениям. В результате органы управления получают более точные инструменты для разработки нормативов функционального зонирования, проектирования транспортной и социальной инфраструктуры, а также для формирования приоритетов экологической реконструкции [3].

Отдельное значение имеет применение геоэкологических данных для анализа и управления зелёным каркасом города. Современные методы позволяют отслеживать состояние и динамику озеленённых территорий в реальном времени, выявлять дефицитные зоны и разрабатывать программы восстановления природных связей. Таким образом, поддерживается экологическое равновесие в условиях постоянного роста плотности городской застройки [1].

Территория плотной застройки и озелененная территория города Москвы представлена на рисунке 5.

На рисунке 6 иллюстрация соотношения площадей плотной городской застройки, площади парков и площади скопления деревьев Москвы.

Цифровые пространственные данные также становятся основой для создания цифровых двойников города — комплексных моделей, которые отражают как геометрию городской ткани, так и текущие параметры её состояния. Такие цифровые платформы позволяют тестировать



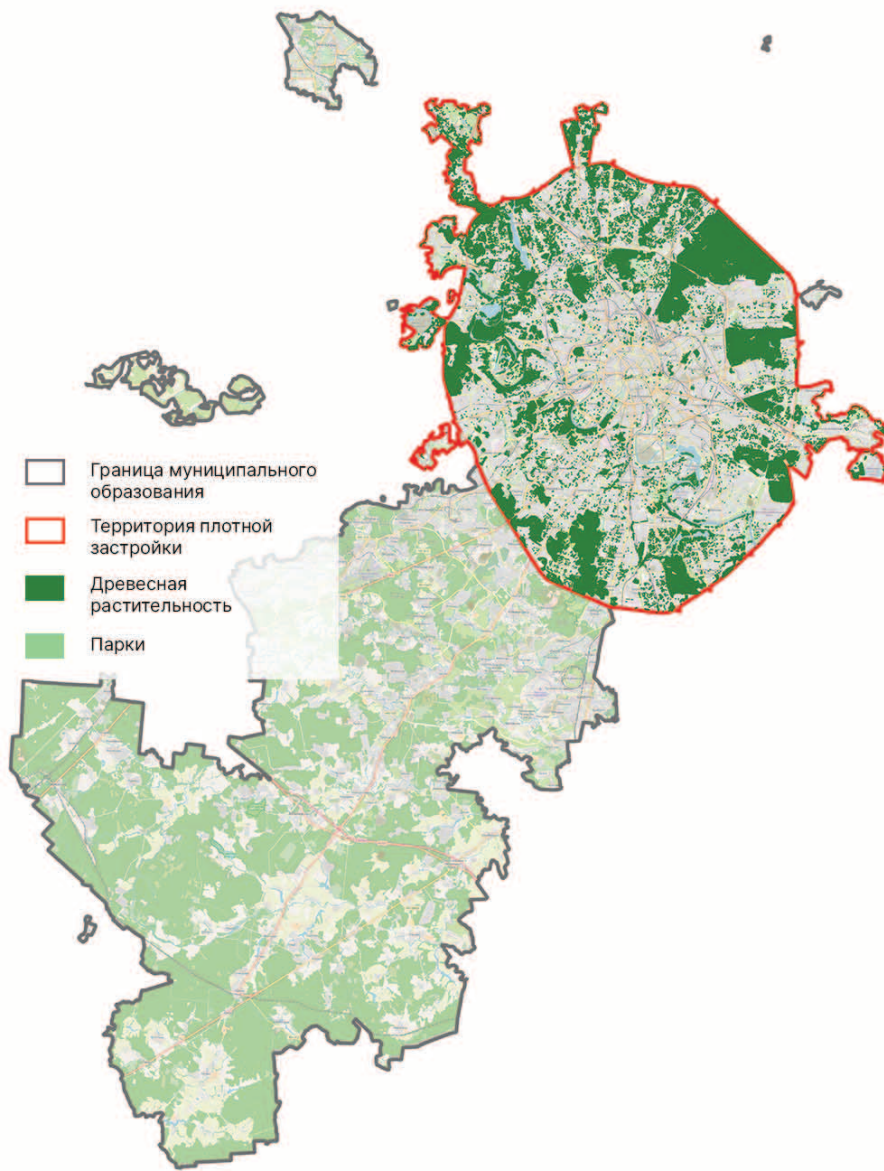


Рисунок 5. Карта озеленения и плотности застройки по районам Москвы [6]  
Figure 5. Map of landscaping and building density by district in Moscow [6]



Рисунок 6. Доля зеленых насаждений Москвы [6]  
Figure 6. Share of Moscow's green spaces [6]

градостроительные сценарии ещё до их практической реализации, интегрировать экологический мониторинг в систему «умного города» и сделать управление более прозрачным и технологически оснащённым [2].

Не менее важным является и социальное измерение. Публикация экологических карт, визуализация пространственного анализа и открытие данных для широкой общественности способствуют повышению уровня экологической осведомлённости граждан. Это стимулирует участие населения в процессе наблюдения за городской средой и вовлекает его в совместное принятие решений, направленных на устойчивое развитие мегаполиса.

**Выводы.** Проведённое исследование подтвердило высокую эффективность интеграции цифровых пространственных данных для целей геоэкологического мониторинга городской среды. Разработанный метод позволяет объединить данные различной природы (3D-лазерное сканирование, спутниковые изображения и геоинформационные системы) в единую аналитическую систему, способную выявлять закономерности устойчивости и деградации урбанизированных территорий. На примере города Москвы показано, что комплексный подход обеспечивает более полное и достоверное представление о состоянии городской среды по сравнению с использованием разрозненных источников информации.

В ходе исследования установлено, что применение интегрированной модели позволяет эффективно проводить пространственно-временной анализ и выявлять ключевые геоэкологические закономерности. В частности, доказано, что вертикальное уплотнение застройки в сочетании с сокращением площади зелёных насаждений приводит к усилению экологической нагрузки, особенно в центральных районах мегаполиса. Выявлена устойчивая корреляция между снижением индекса NDVI, ростом температуры поверхности и высокой плотностью застройки. При этом наиболее благоприятное экологическое состояние характерно для территорий с развитым зелёным каркасом и низкой степенью урбанизационного давления.

Особое внимание уделено переходным зонам, где зафиксированы признаки потенциальной деградации окружающей среды. Такие территории, как правило, связаны с активным строительством и недостаточным уровнем развития инфраструктуры, что формирует дополнительные экологические риски и требует приоритетного внимания со стороны органов управления.

Разработанная интеграционная схема обработки данных обеспечивает возможность автоматизированного мониторинга в режиме, близком к реальному времени, на основе регулярно обновляемых спутниковых данных. Это создаёт предпосылки для повышения оперативности принятия управленческих решений и внедрения научно обоснованных подходов в практику градостроительного планирования.

Практическая значимость исследования заключается в том, что предложенная модель может использоваться для определения зон экологического стресса, обоснования приоритетов территориального развития, а также в процедурах оценки воздействия на окружающую среду при реализации новых проектов. Кроме того, она может служить основой для создания цифрового двойника городской территории,



ориентированного на задачи геоэкологического мониторинга и устойчивого управления развитием мегаполисов.

Таким образом, внедрение многоуровневого подхода к интеграции и анализу цифровых пространственных данных существенно повышает информативность и точность оценки состояния городской среды, а также открывает новые возможности для прогнозирования экологических рисков, формирования стратегий устойчивого развития и цифровизации систем управления городскими территориями.

#### Список источников

1. Чирков С.В., Васильев И.А. Применение геоинформационных систем для экологического мониторинга // Вестник Томского государственного университета. Экология и природопользование. 2020. № 46. С. 52-61.
2. Буряк Е.В., Стрельникова И.В. Использование дистанционного зондирования Земли в задачах оценки урбанизированных территорий // Геоинформатика. 2021. № 3. С. 25-34.
3. Тепляков Д.В., Зайцева А.А. Пространственно-временной анализ изменений городской среды на основе данных спутниковой съёмки Sentinel-2 // Вестник геоэкологии и мониторинга окружающей среды. 2022. № 2. С. 40-49.

#### Информация об авторах:

**Акаев Алан Садуртинович**, аспирант,

ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-7278-0364>, [akaev.alan99@mail.ru](mailto:akaev.alan99@mail.ru)

**Вершинин Валентин Валентинович**, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и природопользования,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9046-827X>, [v.vershinin.v@mail.ru](mailto:v.vershinin.v@mail.ru)

#### Information about authors:

**Alan S. Akaev**, postgraduate student, ORCID: <http://orcid.org/0009-0008-7278-0364>, [akaev.alan99@mail.ru](mailto:akaev.alan99@mail.ru)

**Valentin V. Vershinin**, doctor of economics, professor, head of the department of geoecology and environmental management,

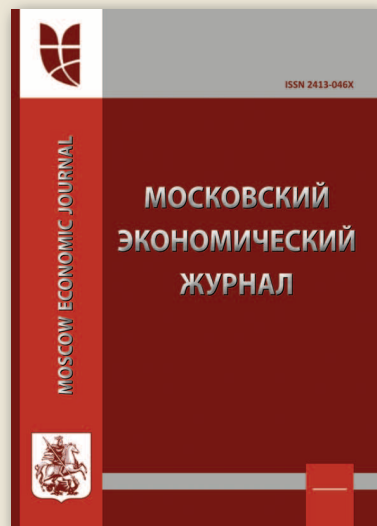
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9046-827X>, Scopus ID: 57190580623, Researcher ID: O-1151-2017, [v.vershinin.v@mail.ru](mailto:v.vershinin.v@mail.ru)

✉ [v.vershinin.v@mail.ru](mailto:v.vershinin.v@mail.ru)

**Издательство «Электронная наука»** выпускает научные журналы на русском и английском языках.

Нам доверяют авторы по всему миру. Количество наших читателей, в том числе и в Интернете, более **55 тысяч** человек ежемесячно.

ЖУРНАЛЫ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ЭЛЕКТРОННАЯ НАУКА»



«Московский экономический журнал» (МЭЖ)  
зарегистрирован как сетевое ежемесячное издание.

- **МЭЖ** — научно-практический журнал, который включен в перечень ВАК и размещается в научных базах AGRIS, РИНЦ.
- **Миссия журнала** — создание условий для интеграции современных достижений экономической науки и эффективного бизнеса.

Контакты: <https://qje.su>, [e-science@list.ru](mailto:e-science@list.ru)

