

Научная статья

Original article

УДК 504.05+528.9

DOI 10.55186/25880209_2025_9_1_12

**ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ 3D ЛАЗЕРНОГО
СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МОСКВЫ)**
PRACTICAL EXPERIENCE OF APPLYING 3D LASER SCANNING FOR
GEOECOLOGICAL ANALYSIS OF THE URBAN ENVIRONMENT (BY THE
EXAMPLE OF MOSCOW)



Акаев Алан Садуртинович, аспирант 2 года обучения научной специальности 1.6.21 «Геоэкология» кафедры геоэкологии и природопользования, Государственный университет по землеустройству, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7278-0364>, akaev.alan99@mail.ru

Вершинин Валентин Валентинович, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и природопользования Государственного университета по землеустройству, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, Москва, Россия, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9046-827X>, Идентификатор ID: 57190580623, Исследователь ID: O-1151-2017, v.vershinin.v@mail.ru

Akaev Alan Sadurtinovich, 2nd year postgraduate student of scientific specialty 1.6.21 “Geoecology”, Department of Geoecology and Environmental

Management, State University of Land Management, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7278-0364>, akaev.alan99@mail.ru

Vershinin Valentin Valentinovich, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Geoecology and Environmental Management of the State University of Land Use Planning, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Moscow, Russia, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9046-827X>, Scopus ID: 57190580623, Researcher ID: O-1151-2017, v.vershinin.v@mail.ru

Аннотация

В научной статье рассматривается практический опыт применения технологии 3D лазерного сканирования для геоэкологического анализа городской среды на примере города Москвы. Описаны основные этапы проведения исследования, включающие сбор пространственных данных, создание трехмерных моделей и их использование для выявления экологических особенностей городской территории.

Полученные результаты продемонстрировали высокую точность и универсальность метода для анализа рельефа, растительного покрова и антропогенного воздействия. В ходе исследования выявлены ключевые экологические проблемы городской среды, такие как недостаток зеленых насаждений в центральных районах, эрозия берегов водоемов, проблемы водоотведения и значительное антропогенное воздействие в промышленных зонах.

Представленные 3D-модели и тематические карты доказали свою эффективность в визуализации и интерпретации данных, а также в разработке решений по оптимизации городской инфраструктуры и экологической реабилитации территорий. Результаты исследования подчеркивают перспективность применения 3D лазерного сканирования для долгосрочного мониторинга состояния городской среды, разработки устойчивых градостроительных решений и повышения экологической устойчивости крупных городов.

Abstract

The scientific article considers the practical experience of using 3D laser scanning technology for geocological analysis of the urban environment using the city of Moscow as an example. The main stages of the study are described, including the collection of spatial data, the creation of three-dimensional models and their use to identify environmental features of the urban area.

The results obtained demonstrated the high accuracy and versatility of the method for analyzing the relief, vegetation and anthropogenic impact. The study identified key environmental problems of the urban environment, such as the lack of green spaces in central areas, erosion of the banks of reservoirs, drainage problems and significant anthropogenic impact in industrial zones.

The presented 3D models and thematic maps have proven their effectiveness in visualizing and interpreting data, as well as in developing solutions for optimizing urban infrastructure and environmental rehabilitation of territories. The results of the study emphasize the prospects of using 3D laser scanning for long-term monitoring of the state of the urban environment, developing sustainable urban planning solutions and increasing the environmental sustainability of large cities.

Ключевые слова: 3D-лазерное сканирование, геоэкологический анализ, геоинформационные системы (ГИС), городская среда, зеленые зоны, экологический мониторинг, устойчивое развитие.

Key-words: 3D laser scanning, geo-ecological analysis, geographic information systems (GIS), urban environment, green areas, environmental monitoring, sustainable development.

Введение

Современные технологии значительно расширяют возможности анализа и мониторинга состояния городской среды, что особенно важно в условиях стремительного урбанистического роста и связанных с ним экологических вызовов [1]. Одним из наиболее перспективных методов, получивших широкое применение в последние годы, является 3D лазерное сканирование [2]. Эта

технология обеспечивает высокую точность и детальность пространственных данных, позволяя комплексно оценивать параметры городской среды, выявлять экологические риски и разрабатывать эффективные решения для их устранения [3].

Москва, как крупнейший мегаполис России, сталкивается с рядом геоэкологических проблем, таких как загрязнение воздуха, уплотненная застройка, сокращение зеленых зон и сложные гидрогеологические условия [4]. В этой связи практическое применение 3D лазерного сканирования для анализа городской среды открывает новые горизонты в изучении таких вопросов, как планирование озеленения, контроль эрозии, оптимизация водоотведения и анализ качества застройки [5].

В данной научной статье рассматривается практический опыт использования 3D лазерного сканирования в геоэкологическом анализе на примере Москвы. Исследование фокусируется на оценке точности и эффективности технологии, а также на выявлении ключевых преимуществ её применения для решения экологических и градостроительных задач.

Методология исследования

3D-лазерное сканирование позволяет создавать детализированные трехмерные модели городской среды, включая топографию, здания, дороги, парковые зоны и водоемы [6]. Эти модели служат основой для анализа экологических и инфраструктурных факторов, влияющих на стоимость жилой недвижимости [9]

Для проведения исследования по применению 3D лазерного сканирования для геоэкологического анализа городской среды (на примере города Москвы) используются следующие этапы работ: подготовительный этап, сбор данных, обработка данных, проверка полученных результатов, применение результатов исследования.

Подготовительный этап включает в себя определение цели и задачи исследования. Целью исследования являлась оценка возможностей и

эффективности применения 3D лазерного сканирования для анализа ключевых геоэкологических параметров городской среды.

Задачи исследования включают в себя: сбор пространственных данных с использованием лазерного сканирования; анализ экологических характеристик, таких как растительность, рельеф, плотность застройки, качество воздуха, шумовое загрязнение, состояние зелёных зон; разработка рекомендаций на основе полученных данных.

Для выполнения задач на этапе сбора данных проводятся полевые работы с использованием наземного и мобильного 3D лазерного сканирования с технологией LIDAR [8]:

- наземные лазерные сканеры для высокоточной фиксации элементов инфраструктуры, рельефа и растительности (рис. 1);

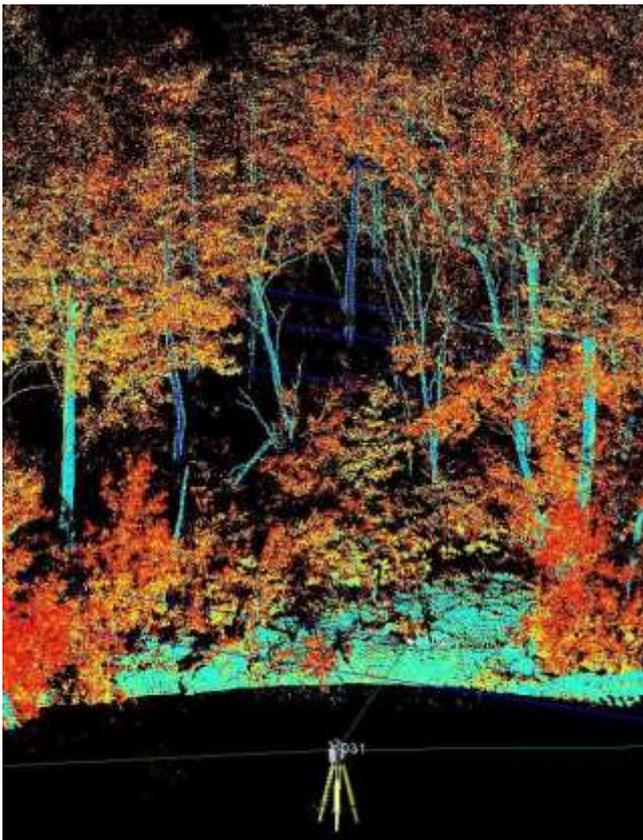


Рисунок 1. Наземное лазерное сканирование

- мобильные лазерные сканеры для быстрого и детализированного получения данных о крупных участках территории (зеленые зоны, водоемы,

плотность застройки). Такое оборудование возможно крепить на автомобиль, на рюкзак или переносить в руках (рис. 2). Возможности этого оборудования позволяют быстро и качественно выполнять поставленные задачи [5, 7].



Рисунок 2. Мобильный лазерный сканер

3D-сканеры в совокупности с другими инструментами предоставляют возможность фиксировать экологические параметры, такие как уровень загрязнения воздуха, шумовое загрязнение и состояние растительности:

Для измерения уровня загрязнения воздуха существует возможность объединения данных полученных 3D сканером с данными полученными портативными датчиками измерения качества воздуха, которые измеряют сразу несколько параметров, включая пыль, влажность, температуру и наличие вредных газов.

3D-лазерные сканеры могут также использоваться вместе с акустическими датчиками для того, чтобы перенести данные о пространстве, полученные с

помощью сканера, с данными о шуме, чтобы проанализировать распространение излучения в городской застройке.

Модели, созданные с помощью лазерного сканирования, позволяют также точно оценить состояние растительности и биоразнообразия, что влияет на рыночную стоимость жилой недвижимости (рис. 3).

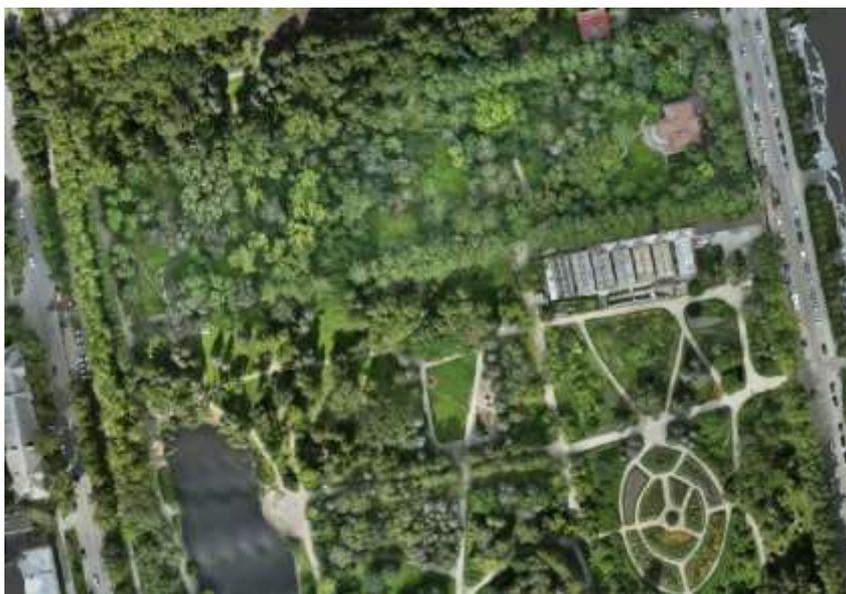


Рисунок 3. Результат съемки территории

Также, на территориях, где позволяют нынешние реалии, проводится геопривязка данных при помощи GPS/ГЛОНАСС для обеспечения высокой точности измерений.

Дополнительный сбор данных включает в себя: использование картографических материалов и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а также анализ архивных экологических и градостроительных данных [1, 4].

Далее, на этапе обработки данных, проводится создание 3D-моделей и анализ пространственных данных.

Полученные данные обрабатываются в специализированных программных комплексах (например, Autodesk Recap, Trimble RealWorks, CloudCompare), что

позволяет построить детализированные 3D-модели исследуемых территорий (рис. 4).

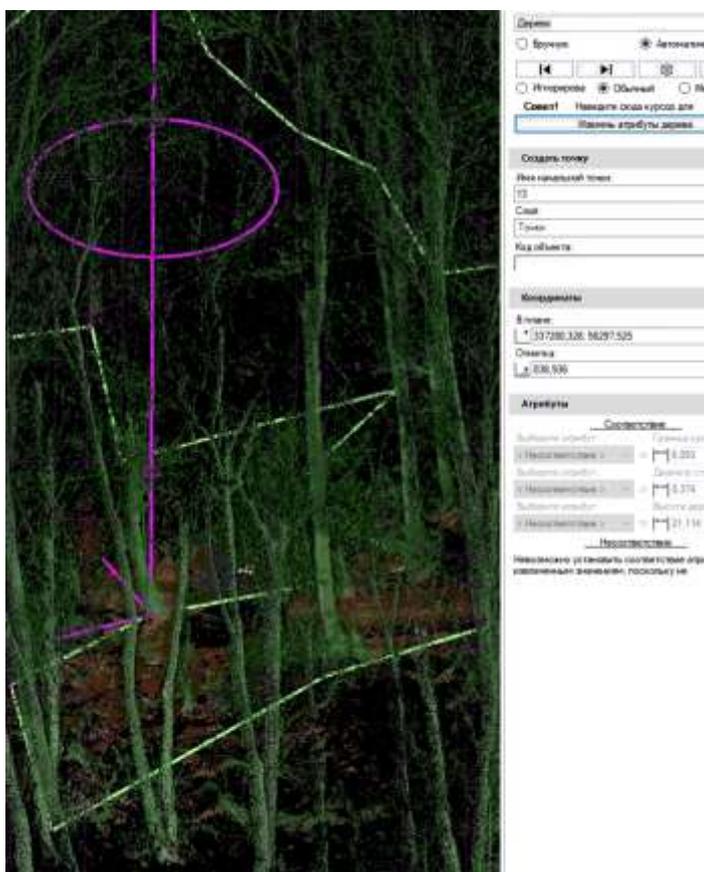


Рисунок 4. Результат съемки в программном обеспечении

Анализ пространственных данных позволяет:

- Выявить и оценить экологические характеристики территории: площади зеленых зон, плотности застройки, степени эрозии почв, наличия водоотводов, качество воздуха, шумовое загрязнение, наличие и состояние зелёных зон.
- Провести сравнительный анализ изменений состояния территории за разные периоды, с помощью сопоставления полученных данных с архивными данными.

Для подтверждения точности и надежности результатов проводится проверка точности и валидности данных, а именно сравнение данных 3D

сканирования с данными наземных измерений и экспертная оценка точности построенных моделей.

Системное использование 3D-сканеров позволяет фиксировать:

- Рост плотности застройки, включая строительство новых зданий и транспортной инфраструктуры, что может привести к снижению доступности зеленых зон.
- Сокращение или расширение площади зеленых зон: изменения в размерах парков и скверов влияют на экологическую ситуацию и стоимость недвижимости.
- Динамику экологического состояния: мониторинг потенциального уровня загрязнения воздуха и шума, а также состояние растительности.

Так, например, в районе ЗИЛ (Завод имени Лихачева) активная застройка и снижение площади зеленых зон привели к снижению стоимости жилья, несмотря на наличие хорошей транспортной доступности [4].

Создание зелёных зон в районах Новой Москвы и установка шумозащитных экранов вдоль автодорог ведет к тому, что экологические меры предусматривают повышение стоимости жилья на 15–25%, в зависимости от характера улучшений [7].

3D-лазерный сканер совместно с ГИС позволяет не только анализировать современное состояние городской среды, но и прогнозировать последствия изменений. Это открывает широкие возможности для разработки стратегий улучшения качества жизни.

В рамках исследования были выбраны различные участки территории Москвы, представляющие широкий спектр геоэкологических и градостроительных условий.

В районах с высокой плотностью застройки (рис. 5), такие как Центральный административный округ (ЦАО), районы Арбат и Замоскворечье проводилась: оценка плотности и высотности зданий и изучение наличия и состояния зеленых зон (скверов, придомовых территорий).



Рисунок 5. Пространственные данные из облака точек

Для изучения территорий жилых массивов (рис. 6), таких как спальные районы Юго-Западного и Северного административных округов были проведены:

- Анализ благоустройства дворовых территорий.
- Выявление диспропорции между застройкой и зелеными зонами.
- Оценка уровня озеленения и доступности рекреационных пространств.



Рисунок 6. Сводная BIM модель

Результаты исследования

Применение 3D лазерного сканирования позволяет получить высокоточные данные с разрешением до 1 см для наземного сканирования [6]. Созданные 3D-модели отражают особенности рельефа, растительности, застройки и инфраструктуры исследуемых территорий (рис. 7).



Рисунок 7. 3D визуализации территории

Применение 3D лазерного сканирования демонстрирует:

- Высокую точность и скорость сбора пространственных данных.
- Возможность интеграции данных с традиционными методами геоэкологического анализа (спутниковая съемка, полевые наблюдения).
- Простоту визуализации и интерпретации полученных результатов для различных категорий пользователей (специалисты, органы управления).

Технология 3D лазерного сканирования демонстрирует универсальность, применяясь как в условиях плотной застройки, так и на обширных природных территориях (рис. 8).

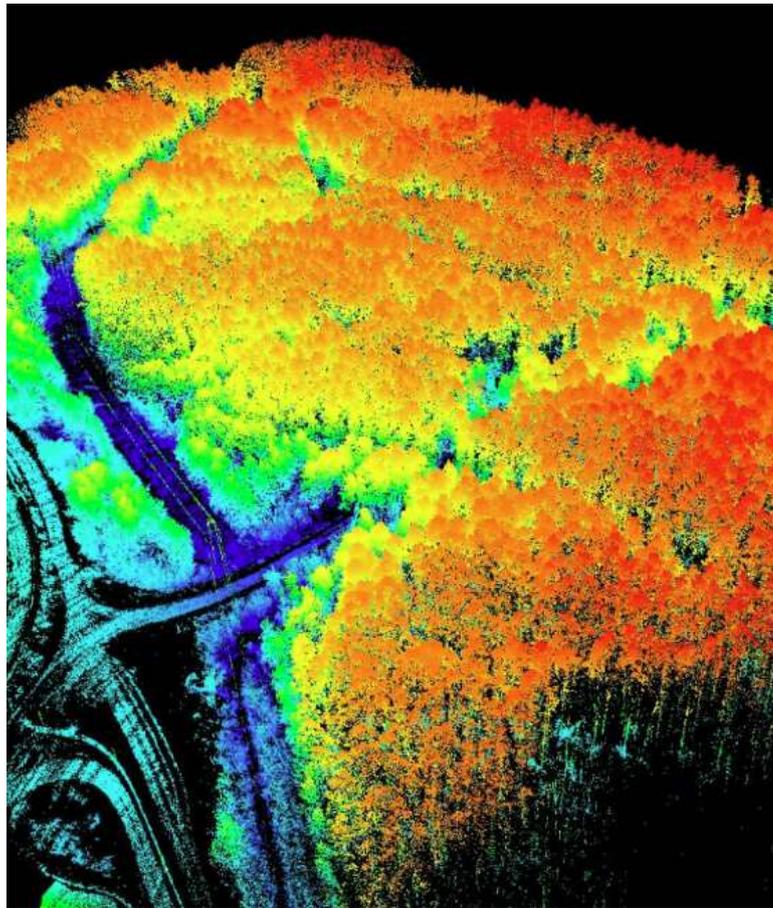


Рисунок 8. Лазерное сканирование обширной природной территории

Высокая точность сканирования обеспечивает возможность выявления даже мелких экологических изменений, таких как локальная эрозия или состояние отдельных деревьев (рис. 9).

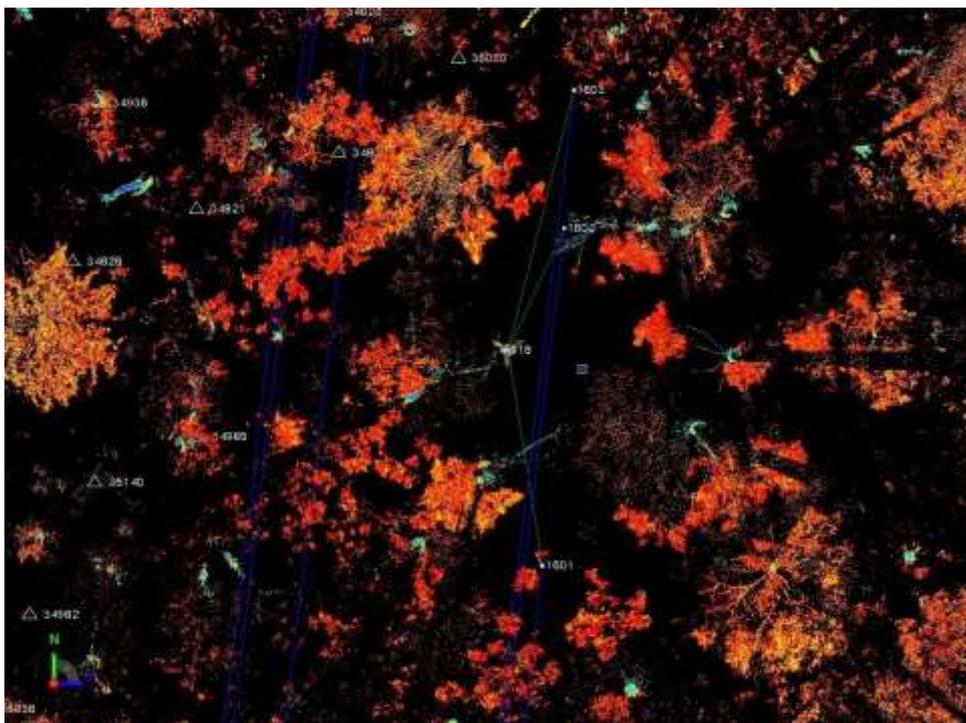


Рисунок 9. Подеревная съемка

Однако в процессе исследования были выявлены определенные ограничения:

- Воздушное лазерное сканирование не подходит для Москвы, так как в пределах внутренней границы МКАД полеты воздушных судов, в том числе беспилотных (коптеры, дроны, авиамодели и другие), запрещены приказом Минтранса России № 172 от 11 мая 2022 года [10].
- Ограничения по сканированию в труднодоступных местах (например, внутри густых лесов или узких городских проулков).
- Высокая стоимость оборудования и программного обеспечения, что может ограничивать масштаб внедрения метода.

Результаты исследования подчеркивают перспективность использования 3D лазерного сканирования для решения следующих задач:

- Мониторинг состояния городской инфраструктуры и зеленых зон.
- Разработка эффективных программ озеленения и реновации промышленных территорий.

- Моделирование последствий климатических изменений, таких как повышение уровня воды или изменение биоразнообразия.

Рекомендации для дальнейших исследований:

- Проведение долгосрочных мониторинговых программ для оценки динамики экологического состояния городской среды.
- Интеграция 3D лазерного сканирования с другими методами анализа, такими как спектральный анализ растительности или тепловое картирование.
- Расширение применения технологии на новые территории, включая пригородные зоны и малые города.

Таким образом, исследование подтвердило, что 3D лазерное сканирование представляет собой мощный инструмент для геоэкологического анализа городской среды, позволяющий выявить проблемы и предложить пути их решения с высокой степенью детализации.

Область применения результатов исследования

Результаты, полученные в ходе применения 3D лазерного сканирования для геоэкологического анализа городской среды Москвы, имеют широкий спектр применений, охватывающий различные области градостроительства, экологии, и управления городской средой.

Градостроительное планирование и управление – использование 3D-моделей для определения зон с недостаточным озеленением, анализа плотности застройки и планирования новых рекреационных территорий; разработка градостроительных проектов с учетом рельефа, водоотводных систем и экологических особенностей территорий [2].

Контроль высотной застройки – применение данных для оценки визуального и солнечного комфорта городской среды, а также для регулирования высотности зданий.

Оценка состояния зеленых зон – мониторинг состояния деревьев, растительности и биоразнообразия на основе высокоточных 3D-моделей и выявление участков с деградированным покровом, требующих реабилитации (рис. 10).

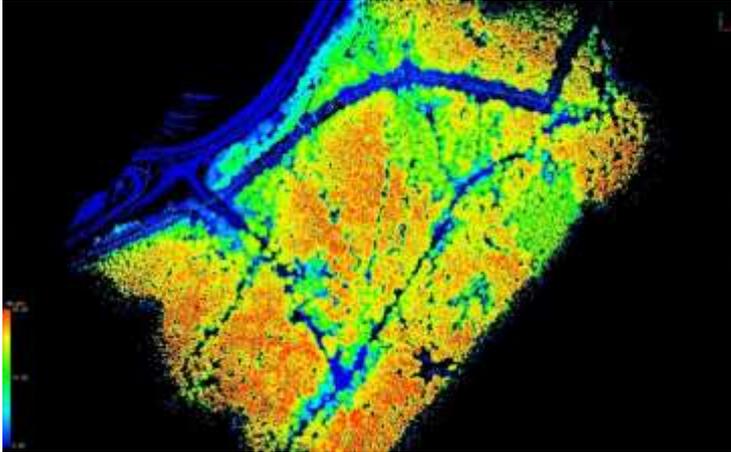


Рисунок 10. Классификация по видам деревьев

Анализ экологических рисков – использование моделей для прогнозирования зон подтоплений, эрозии берегов и других природных рисков и оценка степени антропогенного воздействия на экологическую обстановку в промышленных и жилых зонах.

Оптимизация транспортных узлов – использование 3D-моделей для планирования транспортной инфраструктуры с учетом минимизации экологического воздействия, включая создание шумозащитных барьеров и оптимизацию зеленых зон вдоль дорог (рис. 11).

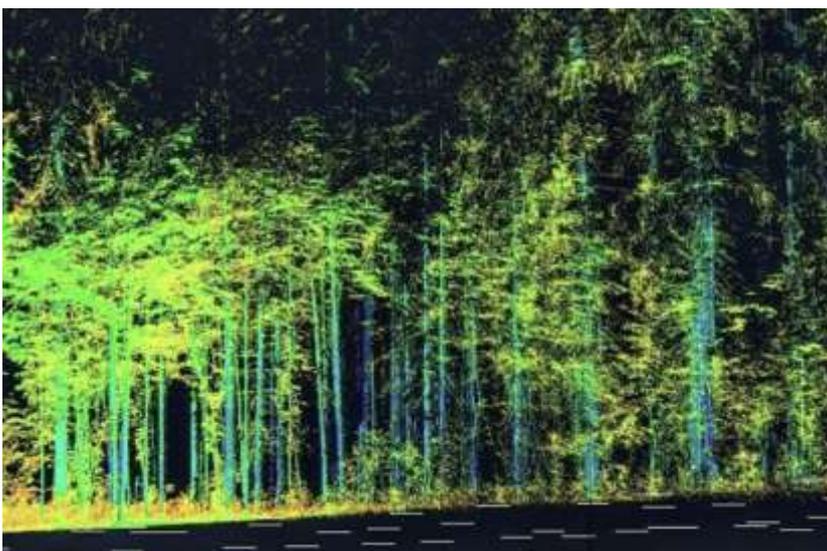


Рисунок 11. Результат лазерного сканирования

Озеленение городских территорий – выявление территорий с критической нехваткой зеленых насаждений и разработка программ их озеленения.

Создание комфортной городской среды – разработка решений для снижения тепловых "островов" в плотной застройке и улучшения микроклимата городских территорий.

Анализ динамики изменений городской среды – применение данных для долгосрочного мониторинга изменений городской среды, включая динамику растительности и застройки.

Образовательные проекты – использование моделей и результатов исследования в образовательных целях для подготовки специалистов в области урбанистики, экологии и геоинформационных технологий.

Повышение осведомленности граждан – визуализация экологических проблем через 3D-модели для информирования населения о состоянии городской среды и способах ее улучшения.

Участие граждан в проектировании – использование интерактивных 3D-моделей для вовлечения жителей в обсуждение и планирование изменений в их районах.

Разработка стратегий устойчивого развития – применение данных для формирования стратегий экологически ориентированного развития города.

Экологический аудит – использование результатов анализа для подготовки отчетов об экологическом состоянии городской среды в рамках нормативного регулирования.

Таким образом, полученные в рамках исследования данные и выводы могут быть интегрированы в широкий круг практических и научных задач, способствуя улучшению качества городской среды, повышению экологической устойчивости Москвы и формированию комфортного пространства для жителей города.

Выводы

Применение 3D лазерного сканирования доказывает свою высокую эффективность как инструмента для получения детализированных данных о

городской среде [6]. Сочетание наземного и мобильного сканирования обеспечивает комплексный подход к анализу территорий с различной степенью антропогенной нагрузки.

Методика лазерного сканирования позволяет с высокой точностью (до 1 см) моделировать рельеф, застройку и зеленые зоны города. Универсальность технологии обеспечивает возможность её применения на объектах с различными характеристиками – от густо застроенных территорий до природных зон.

Созданные 3D-модели и тематические карты являются важным инструментом для анализа и визуализации состояния городской среды. Они позволяют наглядно представить выявленные проблемы и предложить решения для оптимизации городской инфраструктуры.

Полученные результаты демонстрируют перспективность использования 3D лазерного сканирования для долгосрочного мониторинга городской среды. Этот подход способствует более глубокому пониманию экологической ситуации, позволяет оперативно выявлять изменения и разрабатывать эффективные стратегии устойчивого развития города.

Результаты исследования могут быть использованы в градостроительном планировании, экологическом мониторинге, проектировании инфраструктуры и решении задач адаптации городской среды к климатическим изменениям [2].

3D-лазерное сканирование открывает новые перспективы для создания комфортной городской среды, развития и оптимизации рынка жилой недвижимости. Регулярное сканирование позволяет отслеживать изменения, анализировать их влияние на экологию и прогнозировать последствия для рынка недвижимости.

Технология лазерного сканирования открывает новые возможности для анализа и улучшения экологической обстановки в крупных городах, таких как Москва.

Список использованных источников:

1. Бендер Р.В. Геоинформационные системы и лазерное сканирование в экологическом анализе городской среды // ГеоИздат. 2018. № 4. С. 15–20.
2. Горшков А.И. Современные технологии 3D-сканирования в городском планировании и недвижимости // Геоэкология. 2020. № 3. С. 45–59.
3. Кузнецова Т.Ю., Смирнов В.В. Применение 3D-лазерного кабеля для наблюдения за состоянием окружающей среды в мегаполисах // Вестник экологических исследований. 2019. № 1. С. 23–31.
4. Лукина Е.М. Экологические аспекты формирования стоимости недвижимости в крупных городах: методологический подход // Известия Московского университета, серия 6: Экономика, 12(4), 102-115
5. Маслов С.А. Геоэкологическое обоснование традиционных застроек с применением технологии 3D-сканирования // СтройИздат. 2017.
6. Сидоров В.П., Павлов И.С. Использование лазерного излучения для экосистем и недвижимости // Технологии в экологии. 2020. № 2. С.
7. Федорова М.А., Иванова Т.Н. ГИС и 3D-сканирование: интеграция для анализа городской среды // Геоинформационные технологии. 2018. № 5. С. 87–98.
8. Шмидт И.К., Воронова Н.И. Прогнозирование стоимости недвижимости в зависимости от экологических факторов // Экономика и экология. 2019. № 1. С. 42–56.
9. Яковлев П.В. Роль экологических факторов в оценке стоимости недвижимости на основе 3D-данных // Научный мир. 2016. № 3. С. 74–81.
10. Приказ Минтранса России № 172 от 11.05.2022 «Об утверждении правил использования воздушного пространства РФ» [Электронный ресурс]. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/prikazy> (дата обращения: 20.11.2024).

References:

1. Bender R.V. Geoinformatsionnye sistemy i lazernoe skanirovanie v ehkologicheskom analize gorodskoi sredy // GeOIzdat. 2018. № 4. S. 15–20.

2. Gorshkov A.I. Sovremennye tekhnologii 3D-skanirovaniya v gorodskom planirovanii i nedvizhimosti // *Geoekologiya*. 2020. № 3. S. 45–59.
3. Kuznetsova T.YU., Smirnov V.V. Primenenie 3D-lazernogo kabelya dlya nablyudeniya za sostoyaniem okruzhayushchei sredy v megapolisakh // *Vestnik ehkologicheskikh issledovaniy*. 2019. № 1. S. 23–31.
4. Lukina E.M. Ehkologicheskie aspekty formirovaniya stoimosti nedvizhimosti v krupnykh gorodakh: metodologicheskii podkhod // *Izvestiya Moskovskogo universiteta, seriya 6: Ehkonomika*, 12(4), 102-115
5. Maslov S.A. Geoekologicheskoe obosnovanie traditsionnykh zastroek s primeneniem tekhnologii 3D-skanirovaniya // *Stroiizdat*. 2017.
6. Sidorov V.P., Pavlov I.S. Ispol'zovanie lazernogo izlucheniya dlya ehkosistem i nedvizhimosti // *Tekhnologii v ehkologii*. 2020. № 2. S.
7. Fedorova M.A., Ivanova T.N. GIS i 3D-skanirovanie: integratsiya dlya analiza gorodskoi sredy // *Geoinformatsionnye tekhnologii*. 2018. № 5. S. 87–98.
8. Shmidt I.K., Voronova N.I. Prognozirovaniye stoimosti nedvizhimosti v zavisimosti ot ehkologicheskikh faktorov // *Ehkonomika i ehkologiya*. 2019. № 1. S. 42–56.
9. Yakovlev P.V. Rol' ehkologicheskikh faktorov v otsenke stoimosti nedvizhimosti na osnove 3D-dannykh // *Nauchnyi mir*. 2016. № 3. S. 74–81.
10. Prikaz Mintransa Rossii № 172 ot 11.05.2022 «Ob utverzhdenii pravil ispol'zovaniya vozdushnogo prostranstva RF» [Ehlektronnyi resurs]. – URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/prikazy> (data obrashcheniya: 20.11.2024).

© Акаев А.С., Вершинин В.В., 2025. *International agricultural journal*, 2025, № 1, 198-216

Для цитирования: Акаев А.С., Вершинин В.В. Практический опыт применения 3D лазерного сканирования для геоэкологического анализа городской среды (на примере города Москвы) // *International agricultural journal*. 2025. №1, 198-216