

И. Э. Аленин¹✉

Современные методики создания цифровой информационной модели зеленых насаждений города

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: alenin-i@mail.ru

Аннотация. Для обеспечения устойчивого развития и повышения адаптивности городов к изменяющимся климатическим условиям необходимо внедрение инновационных подходов к управлению зелеными зонами. Технология создания цифровой информационной модели (ЦИМ) представляет собой перспективное решение, позволяющее создать виртуальную модель городских зеленых насаждений с высокой степенью детализации. Эта модель интегрирует данные о пространственном распределении растений, их биохимических характеристиках, а также учитывает климатические факторы и антропогенные воздействия. Создание ЦИМ открывает возможности для мониторинга, прогнозирования и оптимизации управления зелеными насаждениями, что способствует повышению их устойчивости и эффективности. Цель статьи заключается в исследовании ключевых принципов построения ЦИМ зеленых насаждений, анализе ее преимуществ и определении перспективных направлений развития ЦИМ в области городского озеленения. В рамках исследования будут рассмотрены методологические подходы к созданию ЦИМ, а также оценен потенциал ее применения для повышения экологической устойчивости и качества жизни в мегаполисах.

Ключевые слова: ЦИМ, БПЛА, искусственный интеллект, машинное обучение

I. E. Alenin¹✉

Modern methods of creating a digital information model of the city's greenery

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: alenin-i@mail.ru

Abstract. To ensure sustainable development and increase the adaptability of cities to changing climatic conditions, it is necessary to introduce innovative approaches to green zone management. The technology of creating a digital information model (CIM) is a promising solution that makes it possible to create a virtual model of urban green spaces with a high degree of detail. This model integrates data on the spatial distribution of plants, their biochemical characteristics, and also takes into account climatic factors and anthropogenic influences. The creation of CIM opens up opportunities for monitoring, forecasting and optimizing the management of greenery, which contributes to increasing their sustainability and efficiency. The purpose of the article is to study the key principles of building CIM green spaces, analyze its advantages and identify promising areas for the development of CIM in the field of urban landscaping. The study will examine methodological approaches to the creation of CIM, as well as assess the potential of its application to improve environmental sustainability and quality of life in megacities.

Keywords: CIM, UAV, artificial intelligence, machine learning

Введение

Урбанизация, являясь одной из доминирующих тенденций современного мирового развития, оказывает значительное влияние на городские экосистемы, приводя к усилению антропогенного воздействия и изменению природных ландшафтов. В условиях стремительного роста населения и увеличения площади застроенных территорий, зеленые насаждения играют критически важную роль в поддержании экологического баланса, формировании благоприятного микроклимата и улучшении качества городской среды. Однако для обеспечения устойчивого развития и повышения адаптивности городов к изменяющимся климатическим условиям необходимо внедрение инновационных подходов к управлению зелеными зонами.

Технология создания цифровой информационной модели (ЦИМ) представляет собой перспективное решение, позволяющее создать виртуальную модель городских зеленых насаждений с высокой степенью детализации. Эта модель интегрирует данные о пространственном распределении растений, их биохимических характеристиках, а также учитывает климатические факторы и антропогенные воздействия. Создание ЦИМ открывает новые возможности для мониторинга, прогнозирования и оптимизации управления зелеными насаждениями, что способствует повышению их устойчивости и эффективности.

Применение цифровых технологий в управлении зелеными зонами позволяет осуществлять непрерывный мониторинг состояния растительного покрова, выявлять потенциальные проблемы на ранних стадиях и оперативно принимать меры по их устранению. Анализ данных ЦИМ позволяет оценивать влияние различных факторов, таких как изменение климата, урбанизация и антропогенная деятельность, на состояние зеленых насаждений. Это, в свою очередь, способствует разработке более эффективных стратегий озеленения и адаптации городов к глобальным экологическим вызовам.

Методы и материалы

Цель статьи заключается в исследовании ключевых принципов построения ЦИМ зеленых насаждений, анализе ее преимуществ и определении перспективных направлений развития ЦИМ в области городского озеленения. В рамках исследования будут рассмотрены методологические подходы к созданию ЦИМ, а также оценен потенциал ее применения для повышения экологической устойчивости и качества жизни в мегаполисах.

Определяющим вектором создания цифровой информационной модели зеленых насаждений является матрица исследуемых показателей, обеспечивающих количественную и качественную инвентаризацию объектов учета зеленых насаждений. В табл. 1 представлены показатели для количественной и качественной инвентаризации зеленых насаждений [1].

Таблица 1

Показатели для количественной и качественной инвентаризации

Показатель учета	Объекты учета	Обоснование необходимости показателя
Реестровый номер	Древесная, кустарниковая, травянистая растительность	Для однозначного определения объекта учета зеленых насаждений
Видовое название	Древесная, кустарниковая, травянистая растительность	Для определения биоразнообразия насаждений, которое влияет на выполнение последними различных функций
Возраст растения, лет	Древесная, кустарниковая растительность	Для обоснования хозяйственных мероприятий на территориях, где расположены зеленые насаждения
Диаметр ствола, см	Древесная растительность	Для вычисления объема сухостойной древесины, а также определения кислородопродуктивности и состояния растений
Высота, м		
Площадь, кв м	Кустарниковая, травянистая растительность	Показатель озелененности площади садово-паркового объекта, позволяет вести мониторинг усыхания кустарников и травянистой растительности
Санитарное состояние	Древесная, кустарниковая, травянистая растительность	Показатели являются критериями определения экологического состояния территории

Отдельно стоит более подробно разобрать самый весомый показатель «Санитарное состояние». В табл. 2, 3 и 4 продемонстрированы оценки санитарного состояния древесной, кустарниковой и травянистой растительности [2].

Таблица 2

Оценка санитарного состояния древесных насаждений

Санитарное состояние	Качественные признаки показателя
Отличное	Не заметно угнетение естественных и искусственных насаждений, сохранение функционального равновесия
Хорошее	Заметно слабое повреждение и угнетение растительного покрова, скручивание и пожелтение листьев. Слабое нарушение функционального равновесия, самовосстановление возможно

Санитарное состояние	Качественные признаки показателя
Удовлетворительное	Сильное повреждение и угнетение насаждений, массовое усыхание листьев, гибель отдельных экземпляров. Частичная потеря функционального равновесия, биота не справляется с антропогенными нагрузками. Необходимо проведение мелиорации
Неблагоприятное	Очень сильное повреждение, усыхание массы побегов, не возможность длительного существования искусственных насаждений. Необратимое нарушение функционального равновесия, исключающее самовосстановление
Кризисное	Полное усыхание растений и потеря санитарно-гигиенических, экологических, оздоровительных и рекреационных функций. Прямой контакт человека с растительным покровом опасен для его здоровья

Таблица 3

Оценка санитарного состояния кустарниковой растительности

Санитарное состояние	Качественные признаки показателя
Отличное	Кустарники здоровы, возраст до 30 лет, сухих ветвей нет или встречаются единично
Хорошее	Омоложенные кустарники в хорошем состоянии, сухих ветвей нет или встречаются единично
Удовлетворительное	Кустарники старше 30 лет II и III генерации в хорошем состоянии, сухих ветвей нет
Неблагоприятное	Распадающиеся кустарники на старых корнях с большим количеством сухих ветвей и сучьев
Кризисное	Кустарники в стадии полного распада (сохранилась слабая поросль на старых корнях).

Оценка санитарного состояния травянистой растительности

Санитарное состояние	Качественные признаки показателя
Отличное	Травяной покров не нарушен, представлен травами, типичными для данного элемента ситуации.
Хорошее	Травяной покров частично вытоптан (до 5%), в нем появляются сорные или нехарактерные для данного элемента ситуации виды (5-10%).
Удовлетворительное	Травяной покров вытоптан на 6-10%, сорные или нехарактерные для данного элемента ситуации виды составляют 11-20%. Почва уплотнена.
Неблагоприятное	Травяной покров развит слабо, вытоптан на 41-60%, сорные и нехарактерные для данного элемента ситуации виды составляют 21-50%. Почва сильно уплотнена, имеется строительный и другой мусор.
Кризисное	Травяной покров вытоптан на 61-100% или представлен сорными и нехарактерными для данного элемента ситуации видами. Почва очень сильно уплотнена, много строительного и другого мусора.

С учетом критериев количественной и качественной инвентаризации оптимальным инструментом для создания цифровой информационной модели зеленых насаждений является геоинформационная система (ГИС). ГИС позволяет интерпретировать древесную, кустарниковую и травянистую растительность в виде точечных, линейных, площадных и трехмерных объектов с атрибутивными характеристиками [3]. Такое представление данных об объектах растительности обеспечивает проведение всестороннего анализа, что способствует принятию обоснованных управленческих решений. На данный момент существуют проблемы, связанные со сбором и обработкой информации об объектах растительности, а также с интеграцией цифровой информационной модели зеленых насаждений в общую систему по принятию градостроительных решений. Решением первой проблемы является переход на автоматизированную систему сбора и обработки информации с помощью БПЛА и ИИ (автоматическое распознавание растительности и ее показателей, автоматическое построение ГИС-данных). Решение второй проблемы заключается в создании экосистемы по управлению городским хозяйством.

Результаты

Примером отечественного решения по управлению городским хозяйством является экспериментальный цифровой двойник Иннополиса, рис. 1. Автономная некоммерческая организация «Город Иннополис» (АНО «Город Иннополис») была создана Министерством цифрового развития государственного управления информационных технологий и связи Республики Татарстан совместно с Администрацией муниципального образования «Город Иннополис».

Основной целью деятельности организации является обеспечение высокого уровня качества жизни и всестороннего развития городской инфраструктуры.



Рис. 1. «Город Иннополис»

Цифровой двойник Иннополиса представляет собой высокодетализированную виртуальную модель города, интегрирующую все значимые объекты и параметры. В рамках данной модели аккумулируются комплексные градостроительные данные, показатели качества атмосферного воздуха, хронология последних ремонтных работ на улицах, информация о типах растительности с датами посадки и данные о зданиях, требующих реконструкции. Функциональность системы не ограничивается визуализацией, а включает в себя возможность моделирования различных процессов, таких как прогнозирование нагрузки на парковочные зоны и общественный транспорт в контексте строительства новых жилых комплексов.

Цифровой двойник Иннополиса функционирует как полноценная платформа для управления городским хозяйством, предоставляя администрации доступ к актуальной информации об инфраструктуре, обращениях граждан и текущем состоянии объектов. Это позволяет принимать обоснованные управленческие решения на основе достоверных данных. Внедрение данной технологии является важным этапом на пути к созданию «умного города», где все процессы функционируют на основе аналитических данных и цифровых моделях [4].

Обсуждение

Закономерным продолжением цифровой информационной модели зеленых насаждений является их полноценный цифровой двойник (дополнительная реализация системы дистанционного ухода за растениями). Примером такой системы может служить действующая система дистанционного ухода за растениями Сингапура. Причиной создания такой системы является защита сотрудников. В условиях климатической специфики Сингапура, где круглогодичное лето характеризуется стабильно высокими дневными температурами в диапазоне 33°C, защита

сотрудников от изнурительной жары приобрела особую актуальность. Также на острове наблюдается значительное количество осадков – в среднем 167 дождливых дней в году, что дополнительно усложняет условия труда. Управление национальных парков Сингапура (NParks) осуществляет мониторинг более 6 миллионов деревьев с использованием специализированного мобильного приложения для лесников, которое активируется по достижении деревьями определенного размера. Эта система дистанционного управления деревьями, интегрированная с другими цифровыми технологиями, позволяет эффективно выполнять задачи по управлению лесным хозяйством непосредственно из удаленного местоположения, будь то дом или офис.

В рамках этой системы NParks создает цифровые двойники деревьев, используя данные, полученные с помощью технологии LiDAR, для точного определения геолокации каждого растения. Далее применяются методы конечных элементов для анализа общей устойчивости деревьев в различных метеорологических условиях, включая экстремальные тропические штормы, с учетом таких факторов, как анатомическая структура дерева, прочность древесины и параметры корневой системы.

Для мониторинга состояния деревьев также используется спутниковое зондирование с применением многоспектрального анализа, что позволяет оценить уровень хлорофилла и подтвердить продолжающийся рост и цветение растений. Система оснащена камерами для панорамной съемки, обеспечивающей удаленный визуальный контроль, а также датчиками физического наклона, установленными на более зрелых деревьях, для своевременного выявления аномальных движений, которые могут представлять потенциальную угрозу.

При выявлении проблем специалисты могут предпринять меры по улучшению структуры дерева или провести дополнительные исследования для определения его жизненного цикла.

Разработка системы высокотехнологичного анализа лесного хозяйства началась 20 лет назад с внедрения геотегов деревьев и продолжалась по мере развития технологий. Примерно 5 лет назад процесс геотегирования был автоматизирован с использованием методов машинного обучения, что позволило значительно повысить эффективность инвентаризации деревьев [5].

Заключение

Современные методики создания цифровой информационной модели зеленых насаждений города представляют собой инновационное решение, которое существенно повышает эффективность управления городским озеленением. Технологии позволяют создавать точные трехмерные модели деревьев и кустов, осуществлять мониторинг их состояния и прогнозировать динамику развития зеленых зон.

Применение методов дистанционного зондирования, геоинформационных систем и инструментов искусственного интеллекта дает возможность значительно сократить затраты ресурсов и повысить качество принимаемых решений относительно охраны природы и благоустройства населенных пунктов. Такие подходы

способствуют сохранению природного наследия, снижению негативного воздействия на окружающую среду и созданию комфортных условий проживания для населения.

Внедрение цифрового информационного моделирования является необходимым этапом модернизации системы управления зелеными ресурсами городов, способствующим устойчивому развитию и достижению целей сохранения экологии в условиях ускоренной урбанизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скачкова М Е Видовое разнообразие и санитарное состояние древесных пород в городских лесах Санкт-Петербурга // Сборник статей «Наука и образование на службе лесного комплекса-Материалы международной научно-практической конференции 26-28 октября 2005 г» Воронеж, 2005 Т 1. С.168-172.
2. Экологическая классификация зеленых насаждений по их устойчивости к техногенным воздействиям. - Сб. науч. трудов. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2005, стр. 23-27..
3. Моделирование городских зеленых зонах на основе данных мобильного лазерного сканирования. Researchgate [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/326229015_MODELING_OF_URBAN_GREEN_SPACES_BASED_ON_MOBILE_LASER_SCANNING_DATA (дата обращения: 08.11.2025).
4. Разработка цифрового двойника. Tadviser [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Компания:Город_Иннополис_АНО#.2A_.D0.A0.D0.B0.D0.B7.D1.80.D0.B0.D0.B1.D0.BE.D1.82.D0.BA.D0.B0_.D1.86.D0.B8.D1.84.D1.80.D0.BE.D0.B2.D0.BE.D0.B3.D0.BE_.D0.B4.D0.B2.D0.BE.D0.B9.D0.BD.D0.B8.D0.BA.D0.B0 (дата обращения: 08.11.2025).
5. Разработка системы дистанционного ухода за растениями. Tadviser [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Система_дистанционного_ухода_за_растениями_в_Сингапуре.
6. Муллаярова Полина Ильинична Создание цифровых схем озеленения для эффективного управления городскими зелеными насаждениями // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozдание-tsifrovyyh-shem-ozeleneniya-dlya-effektivnogo-upravleniya-gorodskimi-zelenymi-nasazhdeniyami> (дата обращения: 08.11.2025).
7. Муллаярова П. И., Николаева О. Н., Трубина Л. К. Геоэкологическая оценка и картографирование состояния озелененных территорий специального назначения // Вестник СГУГиТ. - 2018. - Т. 23, № 4. - С. 262-274 .
8. Трубина Л. К., Муллаярова П. И., Баранова Е. И., Николаева О. Н. Некоторые подходы к геоинформационному картографированию зеленых насаждений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8-18 апреля 2014 г.). - Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. - С. 68-74.

© И. Э. Аленин, 2026