

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНТЕГРАЦИИ ОЦЕНКИ
ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ В УПРАВЛЕНИЕ ГОРОДСКИМИ ЗЕЛЕНЫМИ
ТЕРРИТОРИЯМИ НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПАРКА Г. ВОРОНЕЖ**
PRACTICAL RECOMMENDATIONS ON THE INTEGRATION OF ECOSYSTEM
SERVICES ASSESSMENT INTO THE MANAGEMENT OF URBAN GREEN AREAS:
A CASE STUDY OF VORONEZH CENTRAL PARK

Козлова А.О., преподаватель СПО
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный лесотехнический
университет им. Г.Ф. Морозова»,
Воронеж, Россия

Kozlova A.O., teacher of secondary
vocational education Voronezh State
University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Шешнищан С.С., кандидат биологических
наук, доцент
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный лесотехнический
университет им. Г.Ф. Морозова»,
Воронеж, Россия

Sheshnitsan S.S., Candidate of
Biological Sciences, Associate Professor
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after
G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Аннотация:

В условиях роста антропогенной нагрузки разработка научно обоснованных подходов к управлению зелёными территориями приобретает особую актуальность. На примере центрального парка г. Воронеж проведено комплексное исследование с применением дистанционного мониторинга, биофизического моделирования и социологических опросов. Установлена значительная роль древесных насаждений в обеспечении регуляционных экосистемных услуг. Выявлена высокая социальная значимость территории при наличии инфраструктурных ограничений. Разработана система практических рекомендаций для органов управления, направленная на переход к экостемно-ориентированному подходу в управлении городскими зелеными территориями.

Abstract:

Given the escalation of anthropogenic pressures, the formulation of evidence-based strategies for managing green spaces assumes paramount importance. A comprehensive investigation, employing remote sensing techniques, biophysical modeling, and sociological surveys, was conducted on the central park of Voronezh. The study ascertained the significant role of arboreal vegetation in the provision of regulatory ecosystem services. High social value was observed, juxtaposed with infrastructural limitations. A framework of practical recommendations, designed for governing bodies, has been developed, aimed at facilitating a transition toward an ecosystem-oriented approach in the administration of urban green infrastructure.

Ключевые слова: экосистемные услуги, зелёная инфраструктура, городские парки, устойчивое развитие, i-Tree, дистанционное зондирование, управление территориями

Keywords: ecosystem services, green infrastructure, urban parks, sustainable development, i-Tree modeling, remote sensing techniques, land management

Введение

В условиях обостряющихся экологических и климатических вызовов внимание к городской зелёной инфраструктуре как ключевому элементу устойчивого развития городов значительно возросло [1,9]. Зелёные зоны, особенно парки, выполняют широкий спектр экосистемных услуг: от регуляции микроклимата и поглощения углерода до повышения качества жизни населения [4,7]. Согласно определению Европейского союза (ЕС), зеленая инфраструктура определена как «стратегически спланированная сеть природных и полуприродных территорий с другими экологическими особенностями, разработанная и управляемая для предоставления широкого спектра экосистемных услуг [1].

Однако в настоящее время потенциал парка как источника экосистемных услуг недостаточно изучен, особенно с точки зрения его вклада в снижение климатических рисков, улучшение качества воздуха и углеродный баланс города [6]. В российской практике оценка часто проводится без учета долгосрочной климатической эффективности и социального восприятия, что существенно ограничивает возможности научно обоснованного управления зелёной инфраструктурой и ее интеграции в климатические стратегии развития городов [6,8,10].

Центральный парк г.Воронеж является одной из важнейших зеленых территорий города. Заложенный в 1844 году как древесный питомник, он имеет богатую историю и сложную ландшафтную структуру. Общая площадь парка достигает 101 га.

Целью настоящего исследования является выявление экологических и социальных экосистемных услуг. В работе проводится количественная оценка этих услуг. Источником услуг выступает существующая зеленая инфраструктура Центрального парка города Воронеж. На основе полученных данных предполагается разработка практических рекомендаций. Данные рекомендации будут направлены на оптимизацию исследуемой территории.

Объекты, материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выступает Центральный парк – одна из важнейших зелёных территорий г. Воронежа, расположенная в исторически значимом и социально активном районе города.

Для комплексной оценки экосистемных услуг был применен интегрированный подход, объединивший три взаимодополняющих метода. В основу методике обследования легли спутниковые данные Landsat-8 и Landsat-9. Выбранные спутниковые платформы обеспечивают мультиспектральные данные с пространственным разрешением 30 м и временным разрешением порядка 16 суток [11]. Для анализа использовались снимки за вегетационный период (апрель-сентябрь) различных по метеорологическим условиям лет. Расчет вегетационных индексов проводился в QGIS 3.40 по формулам:

NDVI (Нормализованный Разницу Вегетационный Индекс) – для оценки фотосинтетической активности и биомассы растительности [5]:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

NDWI (Нормализованный Водный Индекс) – для оценки влагосодержания растительного покрова [20]:

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

Для оценки экосистемных услуг парка Динамо был выбран модуль MyTree. Выбор модуля обусловлен его специализированной направленностью на оценку экосистемных услуг в условиях городских и пригородных экосистем малых и средних масштабов. В рамках исследования была проведена сплошная инвентаризация 90 деревьев, произрастающих вдоль центральной аллеи парка.

Параллельно, для выявления особенностей восприятия Центрального парка г. Воронежа жителями и оценки социальной значимости предоставляемых им экосистемных услуг был проведён анкетный опрос, объем выборки которого составил 105 человек. Анкета включала вопросы о частоте и целях посещения, оценке влияния природной среды на самочувствие, а также открытые вопросы о проблемах и предложениях. Выборка была сегментирована по возрасту, району проживания и наличию детей [8].

Результаты и их обсуждение.

Проведенный анализ выявил выраженную зависимость состояния растительности от климатических условий. Как показано на рисунке 1, наименьшие значения NDVI и NDWI зарегистрированы в 2020 году (0,24 и 0,11 соответственно) – году с самым низким уровнем осадков (448 мм) и самой высокой средней температурой вегетационного периода (9,5 °C). Это подтверждает высокую чувствительность зелёной инфраструктуры парка к климатическому стрессу, связанному с жарой и дефицитом влаги. Наибольшие значения индексов отмечены в более благоприятные по режиму осадков 2022-2023 гг. (NDVI до 0,39), что указывает на высокий восстановительный потенциал насаждений при достаточном увлажнении.

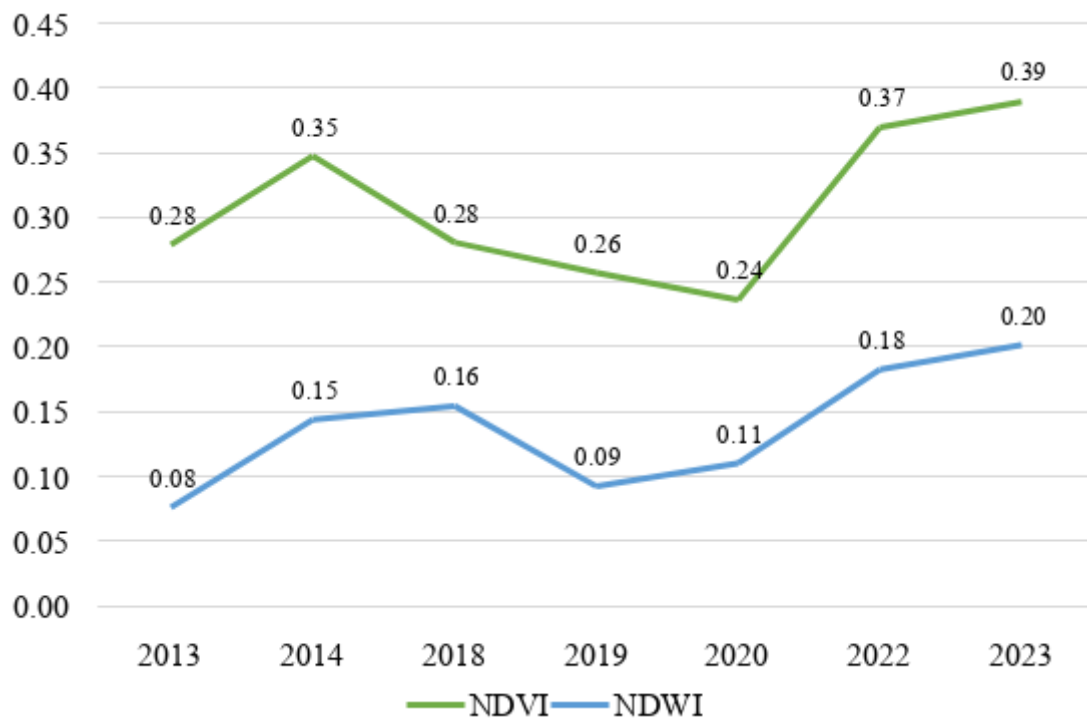


Рисунок 1. Среднегодовая динамика вегетационных индексов Центрального парка г. Воронеж

Результаты подеревной инвентаризации показали, что доминирующей породой центральной аллеи является тополь белый (*Populus alba*), представленный 28 экземплярами, преимущественно в хорошем состоянии (60-65%). Наихудшее состояние отмечено у вяза шершавого (*Ulmus glabra*) и ели обыкновенной (*Picea abies*), что требует проведения первоочередных санитарных мероприятий.

Результаты расчетов MyTree показали, что деревья аллеи накопили 151,3 тонны углерода (554,8 тонн CO₂-эквивалента) за весь период роста, ежегодно поглощая дополнительно 1,8 тонны углерода (6,7 тонн CO₂-эквивалента). Прогноз на последующие 20 лет (при сохранении текущего состояния и условий роста) предсказывает

дополнительное накопление 40,2 т углерода, что сопоставимо с углеродным следом от сжигания более 60 тыс. литров бензина.

Таблица 1 – Оценка и прогноз экосистемных услуг деревьев центральной аллеи парка по накоплению углерода и поглощению выбросов парниковых газов на основе приложения MyTree

Период оценки	Накопленный углерод, кг	Поглощенные парниковые газы, кг CO ₂ -эквивалентов
За год (на момент исследования)	1 837,08	6 736,9
За весь период существования деревьев к моменту исследования	151 267,62	554 756,41
Прогноз на последующие 20 лет	40 156,85	147 216,18

Не менее важным представляется анализ способности насаждений улучшать качество воздуха. Согласно полученным данным результаты анализа показали, что за один год насаждения вдоль центральной аллеи удаляют из атмосферы около 73 кг загрязняющих веществ (таблица 2).

Таблица 2 - Оценка и прогноз экосистемных услуг деревьев центральной аллеи парка по удалению загрязнений из воздуха и смягчение последствий ливневых осадков на основе приложения MyTree

Экосистемные услуги деревьев	За год (на момент исследования)	Прогноз на последующие 20 лет
Удаление загрязнений из воздуха (кг)		
Угарный газ	1,15	24,81
Озон	54,76	1182,87
Диоксид азота	4,54	98,09
Диоксид серы	9,80	211,60
PM _{2,5}	2,86	61,73
Смягчение последствий ливневых осадков (м ³)		
Предотвращение стока	42,04	893,49
Перехваченные осадки	745,68	15838,13

Опираясь на данные таблицы 2 можно сделать вывод о том, что наибольший вклад приходится на озон (54,76 кг/год), что связано с активным фотохимическим режимом в условиях инсоляции и присутствия транспорта вблизи парка. Удаление диоксида серы составляет 9,8 кг/год, диоксида азота – 4,5 кг/год. Особую значимость представляет осаждение твердых частиц $PM_{2,5}$ (2,86 кг/год), представляющих наибольшую угрозу для здоровья населения, особенно уязвимых групп.

Помимо очистки воздуха, деревья играют ключевую роль в регулировании поверхностного стока. Ежегодно они предотвращают образование около 42 м³ ливневого стока и перехватывают более 745 м³ осадков, снижая нагрузку на городскую ливневую систему и риск подтопления.

Социологический опрос выявил высокую субъективную значимость парка для горожан. В частности, наиболее высоко респонденты оценили возможность видеть зелень и природу (средний балл – 4,26) и чистый воздух (4,12), что подчёркивает важность визуального и сенсорного контакта с природной средой. Вместе с тем, следует обратить внимание на то, что подавляющее большинство предложений посетителей касаются улучшения базовой инфраструктуры: скамеек, урн, освещения и санитарного состояния.

На основе полученных результатов сформулирован комплекс мероприятий по оптимизации управления территорией.

1. Совершенствование системы муниципального управления:

- интеграция количественных показателей экосистемных услуг в стратегические документы территориального развития;
- внедрение системы регулярного экомониторинга с применением ГИС-технологий и вегетационных индексов;
- разработка методики экономической оценки экосистемных услуг для обоснования инвестиционных решений.

2. Оптимизация эксплуатационной деятельности:

- внедрение дифференцированной системы ухода за древесными насаждениями на основе их экосистемной ценности;
- разработка программы сохранения старовозрастных деревьев как ключевых продуцентов экосистемных услуг;
- зонирование территории с выделением рекреационных и буферных зон для минимизации антропогенного воздействия;
- модернизация инфраструктуры с учётом выявленных потребностей посетителей.

3. Развитие системы экологического просвещения

- создание информационной системы визуализации экосистемных услуг;
- разработка образовательных программ по экофизиологии городских насаждений;
- вовлечение жителей в процесс обсуждения и оценки проектов благоустройства территорий.

Заключение

Устойчивое развитие городских зеленых зон требует комплексного подхода, учитывающего как экологические, так и социальные аспекты. Центральный парк обладает значительным потенциалом для повышения устойчивости городской среды, и его дальнейшее развитие должно основываться на научно обоснованных решениях. Предложенный комплекс мероприятий позволяет перейти от традиционных форм ухода за зелёными территориями к экосистемно-ориентированному управлению. Реализация рекомендаций будет способствовать повышению экологической эффективности городских парков и оптимизации их рекреационного потенциала.

Список литературы

1. European Commission. Green Infrastructure. — URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en (дата обращения: 25.10.2023).
2. i-Tree Ecosystem Analysis / USDA Forest Service. — URL: <https://www.itreetools.org/> (дата обращения: 25.06.2025).
3. Бобылев С. Н., Завалеев И. С., Завалеева А. И., Ховавко И. Ю. Развитие зеленой инфраструктуры в городах // Экономика природных ресурсов. — 2022. — Т. 14, № 3. — С. 48–61.
4. Климанова О. А., Илларионова О. И. Показатели зеленой инфраструктуры для городского планирования // Urban Forestry & Urban Greening. — 2023.
5. Миков С. И. Вегетационные индексы: основы, формулы, практическое использование. — Минск : БНТУ, 2021. — 128 с.
6. Экосистемные услуги России: прототип национального доклада. Т. 3 : Зелёная инфраструктура и экосистемные услуги крупнейших городов России / ред. О. А. Климанова. — М. : Центр охраны дикой природы, 2021. — 112 с.
7. Gómez-Baggethun E., Langemeyer J., Gren Á. [et al.] Urban Ecosystem Services // Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. — Dordrecht : Springer, 2013. — P. 175–251.
8. Козлова А. О. Оценка экосистемных услуг зеленой инфраструктуры Центрального парка г. Воронеж : магистерская диссертация. — Воронеж : ВГЛТУ, 2025. — 99 с.
9. Kabisch N., Korn H., Stadler J. [et al.] (eds.) Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. — Cham : Springer, 2017. — 337 p.
10. Maximova O. Ecosystem Services in Russian Urban Legislation // Advanced Technologies for Sustainable Development of Urban Green Infrastructure. — Cham : Springer, 2021. — P. 252–260.
11. Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA). — URL: <https://www.nasa.gov>.

References

1. European Commission. Green Infrastructure. — URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/green-infrastructure_en (accessed: 10/25/2023).
2. i-Tree Ecosystem Analysis / USDA Forest Service. — URL: <https://www.itreetools.org/> / (date of access: 06/25/2025).
3. Bobylev S. N., Zavaleev I. S., Zavaleeva A. I., Khovavko I. Y. Development of green infrastructure in cities // The economics of natural resources. — 2022. — Vol. 14, No. 3. — pp. 48-61.
4. Klimanova O. A., Illarionova O. I. Indicators of green infrastructure for urban planning // Urban Forestry & Urban Greening. — 2023.
5. Mikov S. I. Vegetation indexes: fundamentals, formulas, practical use. — Minsk : BNTU, 2021. — 128 p.
6. Ecosystem services in Russia: prototype of the national report. Vol. 3 : Green infrastructure and ecosystem services of Russia's largest cities / ed. by O. A. Klimanov. Moscow : Wildlife Conservation Center, 2021. 112 p.
7. Gómez-Baggethun E., Langemeyer J., Gren Á. [et al.] Urban Ecosystem Services // Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. Dordrecht : Springer, 2013. pp. 175-251.
8. Kozlova A. O. Assessment of ecosystem services of the green infrastructure of the Central Park of Voronezh : Master's thesis. Voronezh : VGLTU, 2025. 99 p.

9. Kabisch N., Korn H., Stadler J. [et al.] (eds.) Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. — Cham : Springer, 2017. — 337 p.
10. Maximova O. Ecosystem Services in Russian Urban Legislation // Advanced Technologies for Sustainable Development of Urban Green Infrastructure. — Cham : Springer, 2021. — P. 252-260.
11. National Aeronautics and Space Administration (NASA). — URL: <https://www.nasa.gov>.