

ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ ЗЕЛЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ КРУПНЫХ ГОРОДОВ ЮГА РОССИИ И ПОТЕНЦИАЛ ЕЕ ОПТИМИЗАЦИИ В КОНТЕКСТЕ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

ECOSYSTEM SERVICES OF GREEN INFRASTRUCTURE IN CITIES OF SOUTHERN RUSSIA AND ITS POTENTIAL FOR IMPROVEMENT IN THE CLIMATE CHANGE ADAPTATION CONTEXT

Шешницан С.С., кандидат биологических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия. **Sheshnitzan S.S.**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Козлова А.О., магистрант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия. **Kozlova A.O.**, Master's Degree student Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia.

Аннотация

Зеленая инфраструктура становится важным инструментом для обеспечения устойчивого развития городов и повышения качества жизни. Исследования показывают, что она оказывает положительное влияние на экологическую и социальную ситуацию, снижая негативные последствия техногенного воздействия. Концепция экосистемных услуг, включающая регулирующие, поддерживающие, обеспечивающие и культурные услуги, помогает понять важность зеленой инфраструктуры в городской среде.

Несмотря на признание значимости зеленой инфраструктуры, ее уровень обеспеченности остается недостаточным, особенно в российских городах, расположенных в степных и лесостепных зонах. Это требует оптимизации планирования и эффективного размещения зеленых компонентов в городских ландшафтах, что становится актуальной задачей для местных властей.

Abstract

Green infrastructure is becoming an important tool for sustainable urban development and improving the quality of life. Studies show that it has a positive impact on the environmental and social situation, reducing the negative effects of anthropogenic impacts. The concept of ecosystem services, which includes regulating, supporting, enabling and cultural services, helps to understand the importance of green infrastructure in urban environments.

Despite the recognition of the importance of green infrastructure, its availability remains insufficient, especially in Russian cities located in steppe and forest-steppe zones. This requires optimization of planning and effective placement of green components in urban landscapes, which becomes an urgent task for local authorities.

Ключевые слова: экосистемные услуги, зеленая инфраструктура, выгоды от изменения климата, городское устойчивое развитие, зеленое городское планирование

Keywords: ecosystem services, green infrastructure, climate change benefits, urban sustainable development, green urban planning

Введение

По данным Росстата, в 2024 году городское население России составило 75,25%, а сельское – 25,31%. Продолжающееся увеличение городского населения подчеркивает важность дальнейшего планирования инфраструктуры для успешной адаптации к растущим демографическим нагрузкам. Прогнозируется, что к 2035 году доля городского населения может достигнуть 80%, а к 2050 году – увеличиться на 15-20%. Это ставит перед местными властями задачу создания устойчивой городской среды, учитывающей экологические и социальные аспекты[7].

В условиях ускоренной урбанизации и интенсификации антропогенного воздействия на окружающую среду зеленая инфраструктура городов становится важным элементом обеспечения устойчивого развития городской среды и повышения качества жизни населения. Как показали многочисленные исследования, городская зеленая инфраструктура оказывает благоприятное влияние на экологические и социальные условия, существенно снижая негативные последствия техногенного воздействия и способствуя повышению условий жизни горожан. Антропоцентрический подход, доминирующий в современной геоэкологии, способствовал становлению концепции экосистемных услуг, под которыми принято понимать совокупность всех благ и преимуществ, предоставляемых природными экосистемами человеку. Применительно к городской среде экосистемные услуги оказываются не только отдельными элементами зеленой инфраструктуры (парками, скверами, городскими лесами и водными объектами), но и формируются совокупным эффектом от взаимодействия этих элементов, повышая их общую ценность и эффективность[1–4].

Наиболее распространенной и признанной на международном уровне является классификация экосистемных услуг, предложенная в докладе «Оценка экосистем на пороге тысячелетий» (Millenium Ecosystem Assessment, 2005), согласно которой выделяют четыре основные группы услуг: регулирующие, поддерживающие, обеспечивающие и культурные. Регулирующие услуги включают поглощение загрязняющих веществ, улучшение качества воздуха, смягчение эффекта городского острова тепла и регулирование гидрологического режима за счет сокращения ливневого стока и ускорения инфильтрации воды. Поддерживающие услуги проявляются в обеспечении местообитаний для различных групп живых организмов и сохранении городского биоразнообразия. Обеспечивающие услуги включают возможность выращивания сельскохозяйственной продукции в городской черте и обеспечение населения локальными продовольственными ресурсами. Культурные услуги заключаются в предоставлении условий для рекреации, психологического комфорта и общего улучшения здоровья горожан. В совокупности эти экосистемные услуги делают зеленую инфраструктуру неотъемлемым компонентом устойчивого развития городов [1, 3].

Фундаментом экосистемных услуг выступают экосистемные функции, представляющие собой естественные биологические, химические и физические процессы, происходящие в экосистемах. Например, фотосинтез растений, круговорот веществ, почвообразование и регулирование микроклимата – это функции, которые формируют основу предоставления разнообразных услуг: от регуляции качества воздуха и воды до рекреации и эстетического восприятия городской среды. Иными словами, экосистемные услуги возникают на основе экосистемных функций и представляют собой восприятие и использование этих функций человеком [1, 5].

Несмотря на признание значимости зеленой инфраструктуры и ее экосистемных услуг, уровень их обеспеченности зачастую остается недостаточным, а пространственное размещение компонентов зеленой инфраструктуры в урболандшафте – неравномерным и недостаточно эффективным. В городах России, расположенных в природно-климатических зонах степи и лесостепи, проблема приобретает особую актуальность. Планирование городских ландшафтов в этих условиях, сталкиваясь с ограниченным природным потенциалом формирования зеленой инфраструктуры, призвано решать дополнительные задачи по оптимизации ее размещения и функциональной эффективности[6].

Целью данного исследования является комплексная оценка соотношения потребности и обеспеченности ключевыми экосистемными услугами зеленой инфраструктуры городов степной (Ростов-на-Дону, Волгоград) и лесостепной (Самара, Воронеж) природных зон юга Европейской части России.

Объекты, материалы и методы исследования

Все города анализировались в административных границах 2000 года (данные Open Street Map). Климатические и природные условия различаются в зависимости от зоны. Волгоград (степь) имеет среднюю высоту 35 м, зимнюю температуру $-6,3^{\circ}\text{C}$, летнюю — $23,6^{\circ}\text{C}$ и осадки 406 мм. Воронеж (лесостепь) расположен на высоте 154 м, с температурами $-6,1^{\circ}\text{C}$ зимой и $20,5^{\circ}\text{C}$ летом, осадками 584 мм. Казань (лесная зона) находится на высоте 60 м, с зимней температурой $-10,4^{\circ}\text{C}$, летней — $20,2^{\circ}\text{C}$ и осадками 562 мм..

Основой для проведения исследования послужили результаты проекта TEEB-Russia (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) [2], направленные на оценку объема экосистемных услуг зеленой инфраструктуры на различных территориальных уровнях, а также на разработку принципов интеграции знаний о биоразнообразии и экосистемных услугах в документах территориального планирования и оценки качества городской среды в Российской Федерации. В рамках проекта решались ключевые задачи: инвентаризация элементов зеленой инфраструктуры в крупнейших городах России, анализ динамики ее площади за 2000–2016 гг., оценка проблем сохранения биоразнообразия, расчет объема регулирующих и рекреационных экосистемных услуг, определение роли зеленой инфраструктуры в документах городского планирования.

Рассмотренные экосистемные услуги включают средорегулирующие (очистка атмосферного воздуха и регулирование городского микроклимата), поддерживающие (сохранение биоразнообразия), культурные (рекреация) и обеспечивающие (локальное продовольственное обеспечение) для четырех крупнейших городов юга России с населением более 1 млн. человек – Ростов-на-Дону, Волгоград, Самара, Воронеж.

Результаты и их обсуждение.

Проведенный анализ экосистемных услуг, предоставляемых зеленой инфраструктурой (ЗИ) крупнейших городов юга Европейской части России, расположенных в степной (Ростов-на-Дону, Волгоград) и лесостепной (Самара, Воронеж) природных зонах, позволил выявить различия в соотношении потребности и обеспеченности основными услугами (табл. 1).

Таблица 1 – Соотношение «потребность / обеспеченность» экосистемными услугами зеленой инфраструктуры крупных городов юга Европейской части России (составлено по данным Прототипа национального доклада Т. 3. [2])

Экосистемная услуга	Города			
	Волгоград	Ростов-на-Дону	Самара	Воронеж
Очистка воздуха	критический дефицит	критический дефицит	критический дефицит	критический дефицит
Регулирование микроклимата	дефицит	номинальный избыток, локальный дефицит в центре	дефицит	избыток
Рекреация	пороговый баланс	значительный дефицит	близко к балансу	избыток, но неравномерно
Производство продовольствия	умеренный вклад	низкий вклад	низкий вклад	нет данных
Сохранение местообитаний	дефицит	умеренный, но фрагментирован	дефицит	умеренный

Очистка воздуха от загрязнений автотранспорта и стационарных источников. Для средорегулирующих услуг, в частности очистки воздуха от загрязнений автомобильного транспорта, расчеты демонстрируют серьезный дисбаланс между выбросами загрязняющих веществ и потенциалом их поглощения городскими насаждениями. Значение ЗИ как средства снижения загрязнения воздуха в крупнейших городах юга Европейской России крайне ограничено. Несмотря на существующий высокий уровень загрязнения воздуха от автотранспорта (Волгоград – 57,4 тыс. т/год, Ростов-на-Дону – 69,6 тыс. т/год, Самара – 94,5 тыс. т/год, Воронеж – 76,5 тыс. т/год), доля поглощения газообразных загрязнителей древесными насаждениями крайне мала и не превышает 0,44% от суммарных выбросов. Наилучшая ситуация наблюдается в Воронеже (0,44%), что обусловлено относительно высокой долей древесного покрова (около 27% территории города) и умеренными объемами загрязнения. В степных городах, таких как Ростов-на-Дону и Волгоград, показатели обеспеченности значительно ниже (0,09% и 0,14% соответственно), отражая малую площадь и низкую плотность зеленых насаждений, а также их слабую устойчивость к техногенным нагрузкам вследствие климатических ограничений (высокая засушливость и низкий естественный потенциал территории). Самара демонстрирует низкие значения (0,08%), что свидетельствует о недостаточной эффективности существующих зеленых насаждений и необходимости их существенного расширения.

Аналогичная ситуация отмечается и для загрязнений воздуха от стационарных источников. Так, в санитарно-защитных зонах промышленных объектов доля поглощения загрязнений деревьями во всех четырех городах критически низкая и варьирует от 0,03% в Волгограде до 0,34% в Воронеже. Причинами низкой эффективности ЗИ санитарно-защитных зон являются недостаточная площадь древесного покрова, фрагментарность и плохое качество насаждений (особенно выражено в Волгограде и Ростове-на-Дону, где доля облесенности санитарно-защитных зон находится ниже 10-20%). В Воронеже, напротив, сравнительно высокий показатель обусловлен наличием крупных фрагментов лесных массивов и сравнительно меньшей концентрацией промышленных объектов.

Регулирование городского микроклимата. Важным аспектом экосистемных услуг зеленой инфраструктуры является ее способность к смягчению эффекта городского «острова тепла». В контексте регулирования городского микроклимата зеленая инфраструктура городов демонстрирует неоднозначные результаты. Анализ продемонстрировал заметные различия между исследуемыми городами. Воронеж характеризуется наибольшим потенциалом охлаждающего влияния зеленых насаждений (зона влияния превышает площадь города почти вдвое – 176%), однако, как показывает детальный анализ пространственного распределения, крупные зеленые массивы преимущественно концентрируются на периферии, в то время как центральные районы, наиболее страдающие от перегрева, остаются недостаточно обеспеченными зелеными насаждениями. Ростов-на-Дону формально также обладает избытком площади влияния зеленой инфраструктуры (около 123%), однако в силу крайне неравномерного размещения зеленых территорий большинство центральных и густонаселенных районов практически не охвачены их охлаждающим эффектом. В Волгограде и Самаре зеленые насаждения покрывают лишь 65% и 91% городской территории соответственно, что означает значительный дефицит зеленых пространств для эффективного регулирования микроклимата. В Волгограде особо остро стоит проблема «острова тепла» в центральных районах города, обусловленная низкой плотностью зеленого покрова и интенсивной застройкой территории.

Культурные услуги: рекреация. Анализ культурных услуг, связанных с рекреацией, также выявил существенные различия между городами. Воронеж и Самара при использовании стандартных нормативов рекреационной нагрузки (50 чел/га для городских парков и 2 чел/га для ООПТ) демонстрируют формальный избыток рекреационных территорий при использовании умеренных нормативов нагрузки, однако в обоих городах наблюдается неравномерность в доступности рекреационных пространств. Детальный анализ показывает,

что избыток рекреационных мощностей локализован преимущественно в крупных загородных лесопарках и неравномерно распределен по территории городов: центральные и густонаселенные районы зачастую характеризуются недостатком доступных и качественно благоустроенных рекреационных пространств. В Ростове-на-Дону ситуация критическая: даже при максимально либеральном подходе обеспеченность рекреационными пространствами не превышает 47%, а при строгих нормативах падает до 13%, что связано с дефицитом публичных зеленых пространств и большим количеством территорий, закрытых для общего пользования. Волгоград находится на границе обеспеченности, где при строгих нормативах возникает дефицит, а при умеренных – избыток.

Поддерживающая услуга: сохранение биоразнообразия. Поддерживающая услуга сохранения биоразнообразия, выраженная через долю ООПТ и площадь непрерывных местообитаний, показывает существенные различия между городами. Анализ роли зеленой инфраструктуры в сохранении местообитаний показал, что наиболее благоприятные условия созданы в Воронеже, где ООПТ занимают около 13% территории города, однако фактическая площадь непрерывных местообитаний (без краевого эффекта) гораздо ниже (6,5%). В Ростове-на-Дону формально доля ООПТ также высока (около 9,5%), однако территории сильно фрагментированы, непрерывные природные ядра составляют лишь около 3%. Самара и Волгоград характеризуются еще меньшими значениями (2-3%), что свидетельствует о критическом дефиците целостных природных территорий, способных поддерживать местное биоразнообразие.

Обеспечивающая услуга: производство продовольствия. Наибольший вклад в продовольственную обеспеченность населения через городские личные подсобные хозяйства и огороды отмечены в Волгограде (около 28% от общей потребности города). В Ростове-на-Дону и Самаре вклад существенно ниже (8% и 6% соответственно), что обусловлено меньшей площадью сельскохозяйственных территорий в городской черте и более интенсивной застройкой городской территории.

Заключение

Результаты проведенного исследования подтверждают высокую значимость зеленой инфраструктуры для устойчивого развития городов, расположенных в степной (Ростов-на-Дону, Волгоград) и лесостепной (Самара, Воронеж) зонах России. Комплексный анализ экосистемных услуг показал существенную неоднородность их обеспеченности и выявил острый дисбаланс между существующим предложением и реальными потребностями городского населения.

Природно-климатические условия существенно определяют потенциал и текущую обеспеченность экосистемными услугами зеленой инфраструктуры. Однако, решающим фактором для достижения оптимального соотношения спроса и предложения экосистемных услуг является грамотное пространственное планирование и управление городской зеленой инфраструктурой, учитывающее пространственные особенности городских территорий и направленное на формирование единой многофункциональной системы зеленых пространств. Очевидно, что зеленые насаждения должны рассматриваться не как фон или декор в городской среде, а как функциональные узлы городской экосистемы, оказывающие комплексное влияние на экологическое, социальное и экономическое благополучие городов. Понимание экосистемных услуг зеленых насаждений необходимо для обоснования проектных решений, интеграции природных элементов в городскую ткань, формирования адаптивных и устойчивых городских пространств. Даже в условиях степи можно сократить разрыв между спросом и предложением ключевых экосистемных услуг, если приоритизировать многофункциональные зеленые пространства и обеспечить их территориальную связанность.

Исследование показало, что эффективное функционирование городской зеленой инфраструктуры определяется не только ее общей площадью, но и качеством пространственного планирования, учетом природно-климатических особенностей территории

и грамотным управлением экосистемными услугами. Первоочередными направлениями повышения эффективности зеленой инфраструктуры городов должны стать расширение и рационализация размещения зеленых насаждений, увеличение плотности и качества зеленого покрова в центральных районах, развитие сети рекреационных и охраняемых территорий. Это позволит существенно повысить уровень обеспеченности экосистемными услугами, что положительно отразится на состоянии городской среды и качестве жизни населения исследуемых городов в условиях роста урбанизации и адаптации городского ландшафта к последствиям изменения климата.

Список литературы

1. Urban ecosystem services / E. Gómez-Baggethun, J. Langemeyer, Å. Gren [et al.] // *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment*, 2013. – P. 175-251. – DOI 10.1007/978-94-007-7088-1_11. – EDN XPLRNZ.
2. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 3. Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги крупнейших городов России / Ред. О. А. Климанова. — М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2021. – 112 с.
3. Развитие "зеленой" инфраструктуры в городах / С. Н. Бобылев, И. С. Завалеев, А. И. Завалеева, И. Ю. Ховавко // *Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал*. – 2022. – Т. 14, № 3(45). – С. 48-61. – DOI 10.38050/2078-3809-2022-14-3-48-61. – EDN YLQHME.
4. Lital Filho U., Wolf F., Castro-Diaz R., Lee C., Ode V.N., Gutierrez N., Nagy G.J., Savich S., Natenzon K.E., Al-Amin A.K., Maruna M., Boehnecke U. Assessment of the Role of Green Infrastructure in Enhancing Urban Resilience to Climate Change // *Sustainability*. - 2021. - Т. 13, № 21. - С. 12368. - DOI: 10.3390/su132112368.
5. Мультифункциональность и биоразнообразие лесных экосистем / Д. Н. Тебенкова, Н. В. Лукина, С. И. Чумаченко [и др.] // *Лесоведение*. – 2019. – № 5. – С. 341-356. – DOI 10.1134/S0024114819050115. – EDN CEWUTW.
6. Подойницына, Д. С. Зеленая инфраструктура как система озелененных пространств / Д. С. Подойницына // *Наука, образование и экспериментальное проектирование : Тезисы докладов международной научно-практической конференции, профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов, Москва, 07–11 апреля 2014 года / Московский архитектурный институт (государственная академия)*. – Москва: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2014. – С. 107-108. – EDN TMXDIT.
7. Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

References

1. Urban ecosystem services / E. Gómez-Baggethun, J. Langemeyer, Å. Gren [et al.] // *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment*, 2013. - P. 175-251. - DOI 10.1007/978-94-007-7088-1_11. - EDN XPLRNZ.
2. Ecosystem services in Russia: Prototype of the national report. Т. 3. Green infrastructure and ecosystem services of Russia's largest cities / Ed. by O. A. Klimanova. O. A. Klimanova. - M.: Izd-vo Center for Wildlife Conservation, 2021. - 112 c.
3. Development of green infrastructure in cities / S. N. Bobylev, I. S. Zavaleev, A. I. Zavaleeva, I. Yu. Khovvko // *Scientific Research of the Faculty of Economics. Electronic journal*. - 2022. - Т. 14, № 3(45). - С. 48-61. - DOI 10.38050/2078-3809-2022-14-3-48-61. - EDN YLQHME.
4. Lital Filho U., Wolf F., Castro-Diaz R., Lee C., Ode V.N., Gutierrez N., Nagy G.J., Savich S., Natenzon K.E., Al-Amin A.K., Maruna M., Boehnecke U. Assessment of the Role of Green Infrastructure in Enhancing Urban Resilience to Climate Change // *Sustainability*. - 2021. - Т. 13, № 21. - С. 12368. - DOI: 10.3390/su132112368.

5. Multifunctionality and biodiversity of forest ecosystems / D. N. Tebenkova, N. V. Lukina, S. I. Chumachenko [et al.] // Forest Science. - 2019. - № 5. - С. 341-356. - DOI 10.1134/S0024114819050115. - EDN CEWUTW.

6. Podoynitsyna, D. S. Green infrastructure as a system of green spaces / D. S. Podoynitsyna // Science, education and experimental design : Abstracts of the international scientific and practical conference, faculty, young scientists and students, Moscow, April 07-11, 2014 / Moscow Architectural Institute (State Academy). - Moscow: Moscow Architectural Institute (State Academy), 2014. - С. 107-108. - EDN TMXDIT.

7. Federal State Statistics Service. - URL: <https://rosstat.gov.ru/> - Access mode: free. - Text: electronic.