

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И УРБАНИСТИКА

Научная статья

УДК/UDC 712.4:502:711.4

DOI: 10.24412/1998-4839-2023-1-228-247

**Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги
в устойчивом развитии городов****Екатерина Сергеевна Гагарина¹**

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,

Нижний Новгород, Россия

gagarinaekaterina@gmail.com

Аннотация: Городская зеленая инфраструктура и экосистемные услуги, появившиеся во второй половине прошлого века для решения экологических проблем, в настоящее время рассматриваются как многообещающие урбоэкологические подходы. Вместе эти две концепции имеют потенциал для целостного планирования, связанного с идеей устойчивого развития, стремящегося к балансу между экологическими, социальными и экономическими факторами. Хотя существуют данные, свидетельствующие о растущем интересе исследователей к данной теме, все еще существуют серьезные пробелы в понимании того, как экосистемные услуги и принципы зеленой инфраструктуры интегрируются в городское планирование. Целью данной статьи является изучение взаимосвязи этих двух концепций для устойчивого развития урбанизированного ландшафта, а также фактическое применение зеленой инфраструктуры в городском планировании с точки зрения типологии экосистемных услуг.

Ключевые слова: зеленая инфраструктура, экосистемные услуги, типология экосистемных услуг, городское планирование, устойчивое развитие, среда обитания человека, жизнестойкость, защита от природных рисков.

Для цитирования: Гагарина Е.С. Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги в устойчивом развитии городов // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. № 1(62). С. 228-247. URL: https://marhi.ru/AMIT/2023/1kvart23/PDF/14_gagarina.pdf
DOI: 10.24412/1998-4839-2023-1-228-247

TOWN PLANNING AND URBAN DESIGN

Original article

**Green infrastructure and ecosystem services
in sustainable urban development****Ekaterina S. Gagarina¹**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia

gagarinaekaterina@gmail.com

Abstract: Emerging in the 1990s to address environmental problems, green infrastructure and ecosystem services are now seen as promising planning concepts for addressing current urban challenges. Together, the two concepts offer the potential for holistic planning linked to the idea of sustainable development, striving for a balance between environmental, social, and economic factors. Although there is evidence of a growing interest of researchers in this topic, there are still serious gaps in understanding how ecosystem services and the principles of green infrastructure are integrated into urban planning. The purpose of this article is to study the relationship between

¹ © Гагарина Е.С., 2023

these two concepts, as well as the actual application of green infrastructure in urban planning in terms of a typology of ecosystem services.

Keywords: green infrastructure, ecosystem services, typology of ecosystem services, urban planning, sustainable development, human habitat, resilience, protection from natural risks

For citation: Gagarina E.S. Green infrastructure, and ecosystem services in sustainable urban development. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2023, no. 1(62), pp. 228-247. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2023/1kvart23/PDF/14_gagarina.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2023-1-228-247

Введение

Природа является определяющим фактором нашего выживания и процветания. Несмотря на очевидность этого факта, негативное воздействие на экосистемы продолжает усиливаться. Человеческая деятельность изменила почти 75% поверхности Земли, вытеснив животный мир и природу в совсем небольшой уголок планеты. По данным Отчета о глобальной оценке биоразнообразия и экосистемных услуг за 2019 год, около одного миллиона видов животных и растений находятся под угрозой исчезновения, и многие из них – под угрозой исчезновения в течение ближайших десятилетий². Сегодня почти половина человечества – 3,5 миллиарда человек – живут в городах (а по прогнозам, 5 миллиардов человек будут жить в городских районах к 2030 году)³. И, хоть общая площадь городов мира составляет всего лишь 3% суши, однако на них приходится 60–80% потребления энергии и 75% выбросов углекислого газа⁴. В этом ключе урбанизированные ландшафты, использующие возможности зеленой инфраструктуры, могут снижать негативное антропогенное влияние, а также участвовать в сохранении и защите экосистем и борьбе с экологическими кризисами.

Под *зеленой инфраструктурой* (ЗИ) обычно понимается сеть природных и полуприродных зон, которые планируются и поддерживаются с целью обеспечения множества выгод для людей⁵. Зарубежный термин достаточно близок по значению отечественной концепции озелененных территорий города [18]. *Экосистемные услуги* (ЭУ) представляют собой блага, которые люди получают бесплатно из окружающей среды и ее экосистем. Вместе эти две концепции имеют потенциал для целостного планирования, связанного с идеей устойчивого развития, стремящегося к балансу между экологическими, социальными и экономическими факторами. Европейская комиссия в 2013 году выступила за зеленую инфраструктуру как подход к продвижению экосистемных услуг и преобразованию часто оборонительной позиции охраны природы в более активный и конструктивный элемент пространственного планирования в Европе [12]. Ряд нормативных документов РФ: распоряжение Правительства РФ от 14 июля 2021 г. «Цели и основные направления устойчивого (в том числе зеленого) развития Российской Федерации», указ Президента РФ от 07.05.2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и др. указывают на государственный курс в сторону устойчивого развития, поддержания биоразнообразия и природных ландшафтов.

Последние работы отечественных исследователей во многом направлены на поиск подходов к формированию природно-антропогенных систем в том или ином виде. М.В. Шубенков, М.Ю. Шубенкова в ряде своих статей изучают вопросы устойчивого развития, симбиоза природных территорий и урбанизированного ландшафта со стороны

² Цели устойчивого развития ООН. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения: 26.09.22).

³ Там же.

⁴ Там же.

⁵ Naumann S., Davis M., Kaphengst T., Pieterse M., Rayment M. Design, implementation and cost elements of Green Infrastructure projects. Final report to the European Commission, DG Environment // Ecologic institute and GHK Consulting. 2011. 138 p.

градостроительства [8, 9, 10]. Многие труды Г.В. Есаулова, Н.Г. Благовидовой посвящены устойчивой архитектуре и экологическому образованию архитекторов, а также ландшафту современных городов [2]. В.А. Фролова, В.В. Дормидонтова, А.А. Ермохин и др. изучают вопросы связи зеленой инфраструктуры и экосистемных услуг городов уже со стороны ландшафтной архитектуры, биологии и растениеводства [1, 7]. Исследования В.А. Ильичева, В.И. Колчунова, Н.В. Бакаевой рассматривают баланс «биотехносферы», где также поднимают вопросы устойчивого развития территорий, роли природных ландшафтов с инженерных и градостроительных позиций [4].

Нам еще предстоит искать ответы на вопросы по формированию модели сбалансированного взаимодействия человека и природы в городе, но уже сейчас, в качестве системного подхода, «зеленая инфраструктура» может выступать как важнейший междисциплинарный полигон для решения проблемы загрязнения, среды обитания, отдыха и городского формообразования.

Экосистемные услуги

Рассмотрим экосистемные функции и услуги, которые могут предоставляться ЗИ. Термин «экосистемные услуги», как было сказано выше, представляет собой положительные эффекты, которые человек получает бесплатно от экосистем. Например, деревья в городских парках уменьшают загрязнения воздуха путем осаждения загрязняющих частиц, улучшая тем самым здоровье человека. Аналогично, насекомые и микроорганизмы разлагают опавшие листья и возвращают питательные вещества в почву. Часть ЭУ, выявленных в данной работе, имеют или экономическую, или нематериальную ценность.

«Оценка экосистем на пороге тысячелетия»⁶ разделила экосистемные услуги, которые приносят пользу людям, на 4 класса:

а. поддерживающие услуги (supporting ecosystem services) – природные процессы, необходимые для поддержания других экосистемных услуг, например, почвообразование, круговорот воды и питательных веществ, фотосинтез;

б. регулирующие услуги (regulating ecosystem services) – выгоды, получаемые от регулирования экосистемных процессов. К ним относятся регулирование климатических процессов, контроль за температурой, уменьшение отрицательных последствий стихийных бедствий, регулирование эрозии, очистка воды, сточных вод и воздуха, опыление и др.;

в. обеспечивающие услуги (provisioning ecosystem services) – продукты, которые люди получают от экосистем. К ним относятся топливо, сельскохозяйственные культуры, промысловые животные, морепродукты, продукты питания из растений, животных и микробов; материалы, включающие древесину, хлопок, шерсть, шелк и т. д., питьевая вода, вода, используемая для орошения и в промышленности и пр.;

г. культурные услуги (cultural ecosystem services) – культурные, образовательные и духовные выгоды, получаемые людьми от экосистем. К ним относятся культурное, духовное и религиозное разнообразие и развитие; возможности для рекреации и экотуризма; научные исследования, образование; эстетические ценности за счет различных свойств экосистем [5].

«Экосистемные услуги» – это сознательно антропоцентрическая фраза, которая формирует аргумент для сохранения природных систем в терминологии экономики. Этот язык и демонстрация экономической ценности приводят к большей фиксации и инвестированию в их сохранение [11]. Цель по изучению роли ЗИ в устойчивом развитии городов, в контексте описанной выше типологии ЭУ, раскрывается путем решения следующих задач:

– изучение жизнеобеспечения городской системы и понятие «среда обитания человека» в рамках концепции ЭУ;

⁶ Программа «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (Millennium Ecosystem Assessment, MEA) была провозглашена в 2000 г. Генеральным секретарем ООН Кофи Аннаном.

- анализ влияния нарушенных экосистемных процессов на жизнестойкость⁷ и устойчивость⁸ городов;
- рассмотрение примеров технологий ЗИ для реализации разных типов ЭУ в рамках городского планирования.

А. Поддерживающие экосистемные услуги

Поддерживающие экосистемные услуги (биоразнообразие, гидрологические циклы, почвообразование и др.) имеют жизненно важное значение: они необходимы для поддержания всех остальных экосистем. Однако именно данный класс дальше всего находится от реальной экономики и, соответственно, сложнее всего оценивается и ценится [5, 6].

Среда обитания для человека

Предоставление среды обитания – это тоже пример поддерживающих экосистемных услуг в масштабе несколько большем, чем город, но связанном с ним. На контрасте со средой обитания животных и растений, среду обитания человека не так уж легко определить и понять. Мы не можем использовать схожие понятия температуры, пищевых ресурсов и других особенностей, характерных для других организмов. Конечно, *Homo sapiens* развился в определенной среде обитания, но люди за счет своих способностей давно научились расширять районы своего существования в зоны с экстремальными условиями и без необходимых ресурсов [11].

Модификация окружающей среды не является уникальной чертой человека. Большинство организмов изменяют окружающую среду, чтобы защитить себя и потомство. Например, с течением времени леса из секвойи изменяют химию почвы, влажность, температуру и другие параметры, чтобы поддерживать свой вид деревьев, а не другие, чтобы не создавалась конкуренция за свет, питание и место. Для человека контроль за окружающей средой является более сознательным процессом, требующим постоянного или периодического использования природных ресурсов. Этот запас ресурсов и нашу способность использовать их для улучшения враждебных сред можно рассматривать как более точную характеристику современной среды обитания человека, чем связь с местными растениями, животными или климатическими условиями [11].

Несмотря на богатое разнообразие биосферы, человек зависит от относительно ограниченного количества видов растений и животных, которые непосредственно служат нашим потребностям. Зависимость от этой небольшой группы ошибочно привела к мысли, что именно эта часть биосферы требуется для благополучия человека и, как следствие, наиболее важна. Кроме того, глобальная экономика позволяет сегодня развиваться городам в отрыве от географического размещения ресурсов, что еще больше увеличивает разрыв от окружающей среды и, по сути, приводит к тому, что городскую систему необходимо перманентно и усиленно поддерживать человеку. Тут отличным примером могут служить такие города как Дубай или Москва. Боемкость столицы РФ всего 324 тысячи глобальных гектаров, а экологический след⁹ равен 84,2 миллионам глобальных гектаров. Иными словами, спрос города на экологические ресурсы и услуги в 260 раз выше,

⁷ Под жизнестойкостью города (resilience of the city) в данной статье понимается способность городской системы, подвергающейся опасностям, противостоять, поглощать, приспосабливаться и восстанавливаться своевременным и эффективным образом, включая путем сохранения и восстановления его основных структур и функций.

⁸ Под устойчивостью (sustainability) в данной статье понимается удовлетворение потребностей нынешнего поколения без ущерба будущих поколений, это связано с уже принятым в научной сфере переводом «sustainable development» как «устойчивое развитие». В контексте города речь идет о гармоничном, энергоэффективном и экологичном планировании и развитии.

⁹ Экологический след – это площадь биологически продуктивной территории и акватории, необходимой для производства потребляемых человеком ресурсов и поглощения отходов.

чем могут воспроизвести его собственные экосистемы¹⁰. *Среда обитания человека*, таким образом, все чаще представляет собой участок земли, не способный поддерживать благополучие населения без зависимости от модифицированных и антропоцентричных растений и животных, импортируемой энергии, а иногда воды и других материалов из источников за пределами своего региона [11].

Еще одним ярким примером экспансии ресурсов с других территорий и безответственного отношения к экосистемам может служить Лос-Анджелес (США). В начале XX века он был самым быстрорастущим городом на Западном побережье, и ему катастрофически не хватало воды. В сентябре 1904 года Уильям Малхолланд (William Mulholland), ответственный за то, чтобы в Лос-Анджелесе было достаточно воды, отправился в судьбоносный поход, в результате которого была открыта река Оуэнс (Owens River). Территория реки представляла собой цветущую долину с фермерскими угодьями. В результате был создан масштабный проект, по переброске вод реки более чем на 200 миль вниз по течению, пересечение засушливой пустыни и прокладывание туннеля через горные породы (рис. 1). «Проект «Титаник» подарит городу реку», гласил заголовок Los Angeles Times после того, как проект был обнародован. В результате Лос-Анджелес получил достаточное количество воды, а долина постепенно превратилась в пустыню¹¹.



Рис. 1. Вид на сифон каньона Мертвеца, смотрящий на север, 1913 год. Калифорнийский университет в Риверсайде, библиотека, коллекции и архивы водных ресурсов

Это обернулось одной из самых страшных экологических катастроф в стране. Озеро Оуэнс площадью 100 квадратных миль было опустошено, образовав соляную равнину размером с Сан-Франциско, которая высвободила огромное количество опасной пыли (рис. 2). Еще в 2013 году оно оставалось крупнейшим источником загрязнения пылью в Соединенных Штатах. В настоящее время идет работа по ревитализации территории, но,

¹⁰ Боев П.А. Экологический след субъектов Российской Федерации – 2016 / П. А. Боев, Д.Л. Буренко. Всемирный фонд дикой природы (WWF). Москва: WWF России, 2016. 112 с.

¹¹ When California's Water Wars Turned Violent: официальный сайт American Experience. URL: <https://www.pbs.org/wgbh/americaneexperience/features/flood-desert-california-water-wars-violent/> (дата обращения 17.10.22).

как отмечает ландшафтный архитектор и автор книги «Трофеи из пыли» Александр Робинсон¹², теперь, когда среда обитания создана, «они практически вынуждены поддерживать ее навечно»¹³.

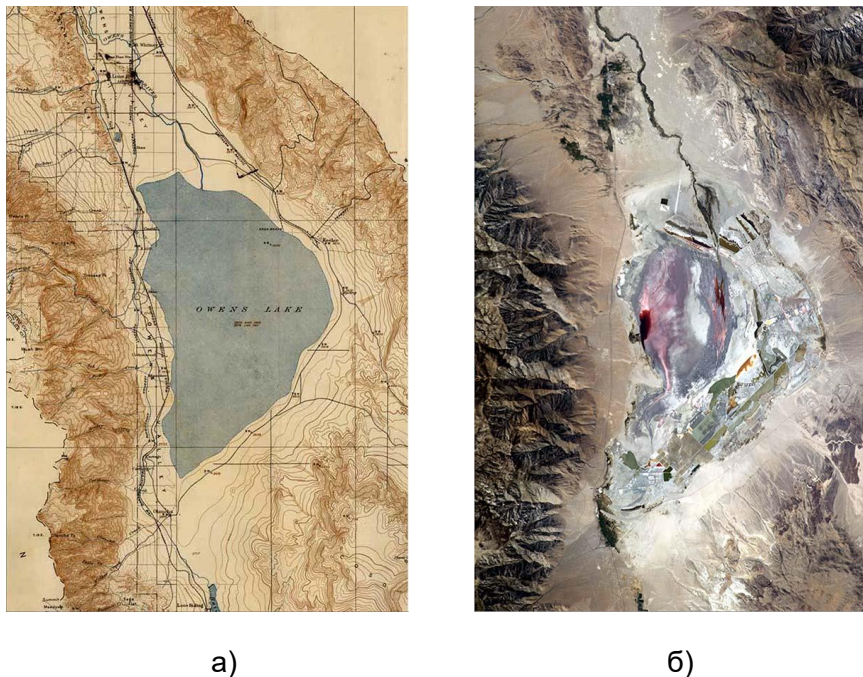


Рис. 2. Озеро Оуэнс: а) карта, составленная между 1905 и 1911 годами; б) вид из космоса в 2011 году. Геологическая служба США, НАСА

Такая модель среды обитания со временем приводит к собственной же деградации из-за ограниченности ресурсов и постоянного роста спроса на них. Поиск новых гибридов, генетически изменённых растений и животных, гербициды, пестициды, все более усовершенствованные инженерные коммуникации позволяют увеличивать количество пищи и других ресурсов, поставляемых в города. Однако, очевидно, что эта искусственная система с конечной емкостью. В этом смысле повышение значимости *поддерживающих экологических услуг* – важнейшая задача на пути к устойчивому и жизнестойкому существованию нашей среды обитания, в частности городов.

Почвообразование и круговорот питательных веществ

В настоящее время ущерб почве затрагивает почти 20% занятых растительностью земель планеты. Существует много способов сохранения и формирования почвы, а также естественного цикла питательных веществ в городских ландшафтах. Очевидная возможность – сокращение ветровой и водной эрозии, борьба с уничтожением почвы во время строительства зданий и создания искусственных ландшафтов, уменьшение использования удобрений и пестицидов принесет пользу водной среде и почвенной фауне, и флоре. Угрозы естественному почвообразованию и круговороту питательных веществ представляют оседание из воздуха тяжелых металлов, кислотные дожди, внесение пестицидов, уплотнение почвы и эвтрофикация¹⁴ водоемов [11].

¹² Robinson A. The Spoils of Dust: Reinventing the Lake that Made Los Angeles. Novato: Oro Editions, 2008. 256 p.

¹³ The surprise reincarnation of Owens Lake. URL: <https://www.californiasun.co/the-strange-rebirth-of-owens-lake/> (дата обращения 3.11.22).

¹⁴ Эвтрофикация – насыщение водоёмов биогенными элементами, сопровождающееся ростом биологической продуктивности водных бассейнов.

Примером внедрения идей по сохранению почв может служить концептуальный проект South Bay Sponge от американского бюро The Field Operations. Это проектная основа для адаптации береговой линии и инфраструктуры залива Сан-Франциско в условиях изменяющегося климата и повышенного риска затопления территорий залива, которая затрагивает вопросы градостроительства, архитектуры и ландшафта. Одну из стратегий данной концепции – обмен почвой (the soil swap) – можно увидеть на рис. 3. Это – скоординированный, совместный и региональный подход к поиску, сортировке, перемещению, хранению и использованию почвы для укрепления береговой линии, планирования ландшафта, создания новых систем горизонтальных дамб и повышения строительных площадок, среди прочего¹⁵.

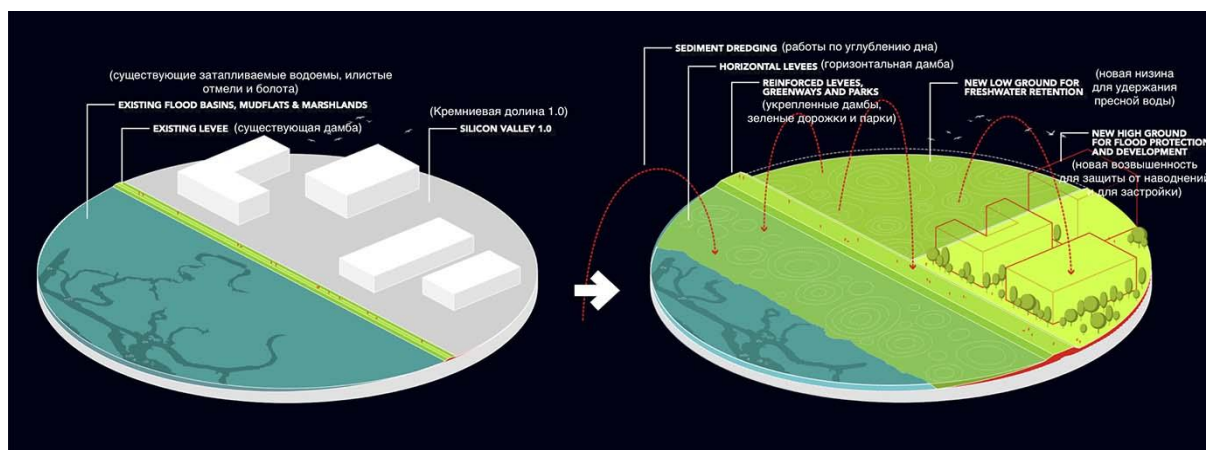


Рис. 3. Стратегия обмена почвы в рамках концепции South Bay Sponge от проектного бюро The Field Operations

Круговорот воды

Еще один пример – гидрологический цикл. Проблемы поддержания гидрографической сети города – совершенно не новая тема. Еще в книге Л.С. Залесской и Е.М. Микулиной «Ландшафтная архитектура» от 1979 года (а первое издание было 1964 г.) было написано: «среди различных воздействий на гидрографическую сеть и на гидрологию города можно выделить резкое сокращение инфильтрации влаги в результате застройки и инженерного благоустройства территории. Иначе говоря, городские «долины» и «ущелья» лишены влаги, потому что система городского благоустройства подхватывает потоки воды от дождей и снеготаяния, забирает их под землю в ливневую канализацию и выпускает в реку или озеро часто за пределами города. Без влаги растительности трудно существовать в городе; она нуждается в искусственном поливе, на который приходится тратить дорогостоящую воду из городского водопровода» [3].

Несмотря на прекрасные достижения теоретиков в области ландшафтной архитектуры и градостроительства еще полвека назад, последствия от городского проектирования, серьезно нарушающие гидрологические циклы антропогенного ландшафта, мы можем наблюдать и сейчас повсеместно. Важно поддерживать проектные решения, учитывающие круговорот воды. Одним из самым популярных практиков в этой области выступает Конжъян Ю (Kongjian Yu) и его компания Turenscape (Китай). Почти все его проекты прибрежных территорий (Парк Яньвэйчжоу в городе Цзиньхуа, Национальное городское водно-болотное угодье Цюньли, Парк водно-болотных угодий Минху и др.) в основе своей имели принципы формирования жизнестойкого ландшафта с поддержанием естественных гидрологических циклов, которые более известны как концепция «sponge city». Несколько

¹⁵ South Bay Sponge: концепция адаптации береговой линии залива Сан-Франциско к повышению уровня моря. URL: <http://www.resilientbayarea.org/south-bay-sponge> (дата обращения 10.10.22).

лет назад КБ «Стрелка» выпустила концепцию «Москва: город 150 рек»¹⁶. Эта концепция, хоть и является нереалистичной из-за своей радикальности по отношению к существующей градостроительной, архитектурной и ландшафтной ситуации города, тем не менее, поднимает ряд важных вопросов. Как могла бы выглядеть Москва, если бы часть подземных рек вернуть на поверхность, частично восстановить естественный гидрологический цикл за счет внедрения зеленой инфраструктуры? Такой подход мог бы запустить процесс серьезных трансформаций российских городов в сторону большей экологической устойчивости и жизнестойкости.

В этом ключе также важно отметить значение растений. «Людам, которые в Месопотамии, Греции, Малой Азии и в других местах выкорчевывали леса, чтобы получить таким путем пахотную землю, и не снилось, что они этим положили начало нынешнему запустению этих стран, лишив их, вместе с лесами, центров скопления и сохранения влаги» [3]. Использование растений в качестве зеленой инфраструктуры оказывает положительное влияние на движение воды за счет транспирации: они существенно замедляют скорость поверхностного стока. Например, в исследовании, проведенном в Нью-Гэмпшире, средний сток реки увеличился на 40%, а пиковый сток стал в пять раз меньше, чем до вырубки леса [11]. В связи с этим важно поощрять и реализовывать проекты, учитывающие инфильтрацию, просачивание и пополнение грунтовых вод методами ландшафтной архитектуры в рамках зеленой инфраструктуры. Новые и модифицированные ландшафты, учитывающие гидрологические циклы, смогут сократить ущерб среде обитания человека от природных рисков, а также увеличить архитектурно-ландшафтную вариативность городских прибрежных ландшафтов и поддержать биоразнообразие.

Б. Регулирующие экосистемные услуги

Ветер, температура, окислительные процессы в атмосфере обеспечивают регулирующие услуги для очистки воздуха, регулирования климата, влажности и пр.

Климат и радиация

Регулирование климата – это экосистемная услуга. Атмосфера обеспечивает ряд экосистемных функций: защищает от излучения, плазмы и метеоров; обеспечивает тепло на планете; отвечает за распределение водных ресурсов; позволяет существовать звуковой коммуникации и транспортировке. Природные экосистемы реагируют на изменения климата. Например, глобальное потепление увеличивает скорость производства биомассы и разложения органики. Это может уменьшить или увеличить скорость высвобождения углекислого газа. Климат и экосистемы тесно связаны, и стабильность их взаимодействия особенно важна.

Зеленая инфраструктура может поддерживать усилия по адаптации к изменению климата или смягчению последствий самыми разными способами. Например, совмещением с системой рекреационных пространств города и вело-пешеходными маршрутами, что меняет поведение людей в сторону более активного использования альтернативного транспорта или передвижения пешком. Тут можно вспомнить инициативу Департамента архитектуры и градостроительства Москвы по формированию единой вело-пешеходной системы набережных Москвы-реки и концепцию «Порты будущего» от Меганомы.

Помимо этого, особенно важно помнить о способности растениями поглощать углекислый газ. Например, 100 крупных зрелых деревьев способны адсорбировать 13 тонн CO₂ ежегодно [11]. Для сравнения, индивидуальный углеродный след (Individual carbon footprint) США – 19,3 т., Германии – 10,6 т., а России – 16,1 т. (данные 2018 г.)¹⁷. Посадка миллионов

¹⁶ Концепция от КБ Стрелка «Москва: город 150 рек»: официальный сайт проекта. URL: <https://media.strelka-kb.com/moscow-rivers> (дата обращения 18.10.22).

¹⁷ The United Nations Environment Programme (UNEP). URL: <https://www.unep.org/explore-topics/climate-action/what-we-do/climate-action-note/state-of-climate.html/> (дата обращения 09.12.22).

деревьев и формирование из них зеленого каркаса из крупных ядер и коридоров, приоритетность перед транспортной и другими видами городской инфраструктуры, ее целостность позволит снижать углеродный след города, улучшать микроклиматические характеристики города и, как следствие, улучшать здоровье человека.

Температура

Атмосфера способствовала повышению средней температуры поверхности на 33°C: с -18°C до средней температуры поверхности $+15^{\circ}\text{C}$. Это естественное повышение привело к стабильному климату в течение последних 10 000 лет и способствовало эволюции существующих экосистем [11]. Климат сегодня менее стабилен из-за последствий антропогенного выброса парниковых газов, и температурные аномалии встречаются по всей планете (рис. 4). Согласно текущему анализу температуры, проводимому учеными из Института космических исследований Годдарда НАСА (NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS)), средняя глобальная температура на Земле увеличилась по крайней мере на $1,1^{\circ}\text{C}$ ($1,9^{\circ}\text{F}$) с 1880 года¹⁸.

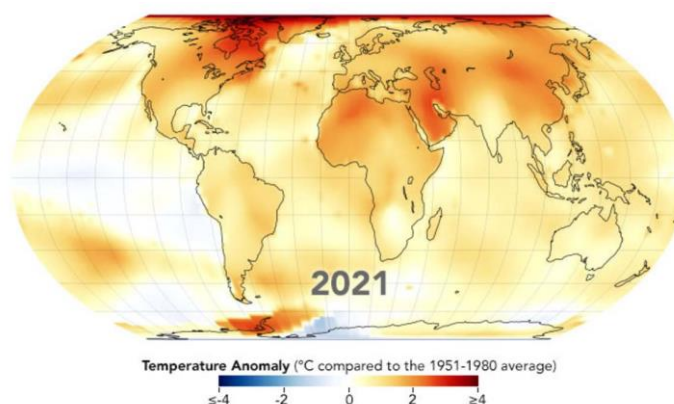


Рис. 4. Глобальные температурные аномалии в 2021 г. по сравнению с 1951–1980 гг.

Изменение климата усугубляется эффектом городского острова тепла¹⁹ и приводит к повышению летней температуры в течение продолжительных периодов времени. Металл, бетон, асфальт повышают среднюю температуру в городах, но зеленая инфраструктура и другие меры могут улучшить ситуацию, создавая более благоприятные условия для людей, растений и животных.

Недавно проведенные исследования позволили разработать технологические меры по уравниванию воздействия острова тепла. Среди наиболее важных из предложенных – те, которые нацелены на увеличение альбедо²⁰ городской среды, расширение *зеленых насаждений в городах* и использование естественных поглотителей тепла для рассеивания избыточного тепла [1, 14]. В этом ключе испарение воды служит важным противовесом этому эффекту; таким образом, *водные поверхности* жизненно важны в городских районах для создания городского острова прохлады.

Отражающие (прохладные) и зеленые (живые) крыши также способствуют снижению температуры поверхности и, таким образом, уменьшают соответствующий поток явного тепла в атмосферу. Если первые скорее входят в интересы архитекторов, дизайнеров и

¹⁸ Temperature Anomaly: официальный сайт Earth Observatory, NASA. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures?src=eo-features> (дата обращения 11.12.22).

¹⁹ Эффект городского острова тепла – это повышенная температура в городах и близлежащих районах, вызванная городскими материалами и плохой циркуляцией воздуха.

²⁰ Альбедо – характеристика отражательной способности поверхности.

инженеров, то вторые – определенно относятся к ландшафтным технологиям. Конкретные энергетические преимущества зависят от местного климата, дизайна зеленой крыши и, что более важно, от конкретных характеристик здания [14]. Зеленые крыши медленно, но поступательно становятся нормой. Тут хорошим примером может служить ревитализированный район Нойхаузен (Neuhausen) вдоль центральной железной дороги Мюнхена (Германия), где озеленены практически все крыши зданий и сооружений, включая социальное жилье, школы и гаражи (рис. 5). Это обеспечивает комфортный микроклимат и высокий класс энергоэффективности домов. Кроме того, архитектура в какой-то мере становится частью зеленой инфраструктуры города.

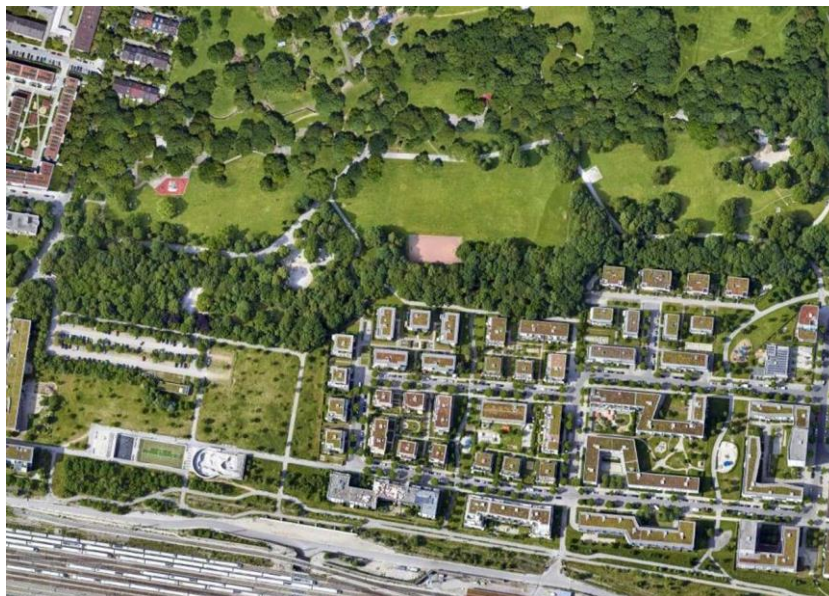


Рис. 5. Ревитализированный район Нойхаузен в Мюнхене (Германия) с «зелеными» крышами. Google map

Еще одним хорошим примером того, как в существующую городскую среду можно внедрять технологии по снижению эффекта острова тепла, является редевелопмент Площади Республики в Париже (Place de la République, Martha Schwartz Partners / TVK / Trévelo & Viger-Kohler / Transsolar, 2013). Поверхность земли была оборудована отражающими плитками, чтобы свести к минимуму поглощение солнечного света. Существующие и новые деревья создают тень летом и поддерживают охлаждающий эффект. Растительность также действует как очиститель воздуха, оптимизируя его качество. Движение воздуха еще больше повышает комфорт. Водные элементы, такие как пешеходный фонтан, обеспечивают дополнительное испарительное охлаждение и акустический комфорт для пользователей, создавая приятный фоновый шум. Зимой безлистные деревья позволяют солнцу достигать земли, создавая теплое, залитое солнцем пространство²¹.

Защита от штормов и наводнений

Для демонстрации защитных возможностей зеленой инфраструктуры от разрушительных последствия штормов, повышения уровня мирового океана рассмотрим два города: Новый Орлеан (США) и Роттердам (Нидерланды).

Новый Орлеан до 1930 г. был защищен от разрушительных штормовых нагонов воды²² и тропических штормов обширными лесными болотами и заболоченными землями

²¹ Redevelopment Place de la République: официальный сайт Transsolar. URL: <https://transsolar.com/projects/redevelopment-place-de-la-republique> (дата обращения 16.10.22).

²² Штормовой нагон – экстремальное повышение уровня воды в береговой зоне, вызванное штормовым ветром.

различных типов. Паводок, который гонится вглубь суши сильными ветрами, ослабевает, когда проходит сквозь водно-болотные угодья. Уменьшение высоты штормового нагона варьируется из-за различий в характеристиках шторма, маршрута и характеристик водно-болотных угодий, но, по консервативной оценке, пять миль (~8 км) водно-болотных угодий уменьшают высоту штормового паводка на один фут (~0,3 м) [17]. Кратчайшее расстояние от Нового Орлеана до Мексиканского залива составляет около 30 миль (~48,3 км), а значит, буфер из водно-болотных угодий мог бы уменьшить штормовой нагон на 6 футов (~1,8 м). К сожалению, начиная с 1930 г., разведка и добыча нефти и газа, строительство дамб, дренажных каналов привело к критическому сокращению этого типа ландшафта в Луизиане, а повышение уровня мирового океана лишь усугубило ситуацию. Осушенные земли отдавались под урбанистические и сельскохозяйственные нужды, солончаки превращались в бухты с морской водой, оставшиеся пресные водно-болотные угодья были повреждены.

Ураган Катрина в 2005 году, когда прорвало дамбы Нового Орлеана, стал самой страшной строительной катастрофой в истории США и одной из самых страшных природных катастроф в стране. Все инженерные меры по защите от наводнений (дамбы, защитные стены, дренажные насосы) вышли из строя. Потеря 1800 кв. миль (~ 4662 км²) водно-болотных угодий с 1930 г. обернулось затоплением 80% территорий города, гибелью 1500 человек, почти 1 млн. человек были вынуждены покинуть свои дома²³.

Процесс восстановления водно-болотных угодий весьма сложен, т.к. влияющих факторов куда больше, чем было описано выше (повреждение инвазивными видами, биологически мертвые зоны из-за богатых азотом сельскохозяйственных стоков и многое другое). В настоящий момент Новый Орлеан начал проект по восстановлению Золотого треугольника – водно-болотных угодий в дельте Миссисипи (рис. 6), чтобы повысить устойчивость к наводнениям, ураганам и повышению уровня моря, вызванным глобальным потеплением²⁴.



Рис. 6. «Золотой треугольник» – нарушенные водно-болотные угодья около Нового Орлеана в виде «воронки»

²³ New Orleans wetlands. Foiling flooding with wetlands protection. URL: https://wwf.panda.org/wwf_news/?204578/New-Orleans-wetlands (дата обращения 13.12.22).

²⁴ This Wetland Restoration Project Will Help Keep the Gulf out of New Orleans. URL: <https://mississippiriverdelta.org/this-wetland-restoration-project-will-help-keep-the-gulf-out-of-new-orleans/> (дата обращения 13.12.22).

Европейский опыт несколько отличается от американского. Связь между городскими управленцами и исследователям налажена существенно лучше. Нидерланды давно занимаются глобальным преобразованием ландшафта своей территории, что обусловлено географическими особенностями и потребностью в увеличении полезных площадей. Подход к этим преобразованиям активно меняется в сторону биоцентричности, формированию вторичных сред обитания (например, рекультивация бывшей свалки с токсинами Фольгермеерпольдер под Амстердамом, в настоящее время имеет статус заповедника) и повышению значимости ЗИ.

В 2014 г. на Роттердамской Биеналле была представлена серия исследований на тему «Городской метаболизм». Field Operations (США) и FABRICations (Нидерланды) разработали концепцию развития Роттердама с учетом биологических идей метаболизма. Мы остановимся только на части этой работы, которая называется «зеленые и голубые биотопы»²⁵, а точнее – на работе с иловыми осадками²⁶.

Иловый осадок до сих пор считается отходом, мешающими деятельности порта. Именно по этой причине ежегодно из порта извлекается более 20 миллионов кубометров наносов, что означает ежедневную их транспортировку из порта в море. Концепция же показывает возможные преимущества от частичного заиливания береговой линии (рис. 7). Заиливание бывших доков локально будет способствовать очищению воды, формированию местных биотопов и экологических парков, которые могут иметь также и рекреационную ценность. Портовый ил также можно использовать локально для «смягчения» крутых берегов существующих дамб и использоваться для выращивания устриц и некоторых форм земледелия²⁷. Кроме того, в условиях повышения уровня моря, отодвигание границ моря от города, также повышает его жизнестойкость и устойчивость.

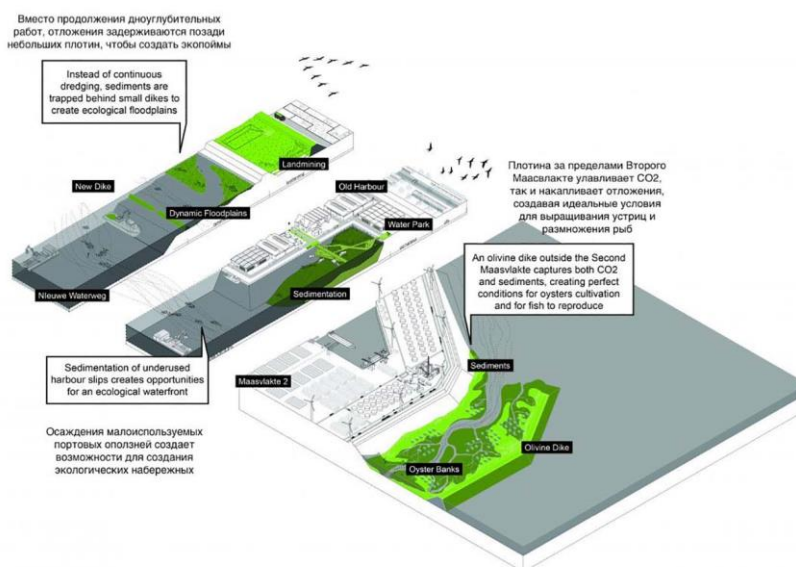


Рис. 7. Концепция развития Роттердама от Field Operations и FABRICations. Контролируемое заиливание прибрежных территорий Роттердама позволяет дополнительно улавливать CO₂, создавать благоприятные условия для разведения устриц и размножения рыб, сформировать экологические поймы и набережные

²⁵ Биотоп – участок земной поверхности (суши или водоёма) с однотипными абиотическими условиями среды (рельеф, почвы, климат и т.п.), занимаемый тем или иным биоценозом.

²⁶ Urban Metabolism, 2014 Rotterdam Biennale research & exhibition, the Netherlands: официальный сайт Fieldoperations. URL: <https://www.fieldoperations.net/project-details/project/urban-metabolism.html> (дата обращения 10.11.22).

²⁷ Green and blue biotopes – Rotterdam: официальный сайт Fabrications. URL: <https://www.fabrications.nl/portfolio-item/urbanmetabolism-creatingbiotopes/> (дата обращения 14.12.22).

В. Обеспечивающие экосистемные услуги

Обеспечивающие услуги – это ресурсы, продукты питания, чистый воздух, чистая вода, которые мы напрямую получаем от природы. В этом плане город все-таки проигрывает диким лесам, сельскохозяйственным и промышленным территориям: в городских парках мы не отлавливаем для еды дичь и не собираем урожай. Однако ЗИ дает серьезную выгоду экосистемам за счет очистки воздуха, воды и сокращения потребления электроэнергии. Разберем ниже несколько примеров.

Энергия

С точки зрения энергетики следует отметить зеленые технологии, которые позволяют энергию экономить. Более высокие городские температуры, вызванные тепловыми аномалиями, увеличивают потребление энергии для охлаждения и повышают пиковую потребность в электроэнергии. Ряд исследований показывает, что в США, для городов в 100 000 тыс. населения, каждый 1°F повышения температуры будет увеличивать пиковую нагрузку на энергосети на 1–2%. Остров тепла в Афинах (Греция), удваивает охлаждающую нагрузку зданий и почти утраивает их пиковое потребление электроэнергии, снижая при этом коэффициент полезного действия механических систем охлаждения до 25%. В разделе «температура» данной статьи уже упоминались зеленые крыши. Существующие исследования, выполненные для различных типов зданий, характеристик зеленых крыш и климатических зон, показывают, что ожидаемое снижение годовой энергетической нагрузки может варьироваться от 1% до 40% в крайних случаях. На самом деле, в хорошо изолированных современных зданиях энергетический вклад зеленых крыш весьма скромно [14].

Очистка воздуха

Выше уже упоминалось о роли растений в регулировании температуры, влажности, улавливании CO₂. Кроме этого, они также поглощают диоксид азота²⁸ (NO₂) и диоксид серы²⁹ (SO₂) через поверхность листьев и задерживают твердые частицы, которые потом смываются дождем. Загрязнение особенно проблематично там, где высокая плотность высотных зданий создает *городские каньоны*, в которых могут концентрироваться загрязняющие вещества [11]. Такие каньоны, как правило, представляют собой сильно загрязненную городскую среду из-за выбросов транспортных средств и затрудненного рассеивания. Размеры уличного каньона обычно описываются его соотношением сторон (В/Ш), которое определяется как высота (В) каньона, деленная на ширину (Ш). Таким образом, уличные каньоны можно охарактеризовать как неглубокие (В/Ш ≤ 0,5), средней глубины (0,5 < В/Ш < 2) и глубокие (В/Ш ≥ 2) [15].

М. Томсон (M. Tomson), П. Кумар (P. Kumar), Й. Барвайз (Y. Barwise) и др. в статье «Green infrastructure for air quality improvement in street canyons» (2021) [15] рассмотрели исследования воздействия ЗИ на качество воздуха, а также эффективность различных видов растений для борьбы с загрязнением воздуха в уличных каньонах. Стоит отметить некоторые выводы этого исследования:

1. Влияние ЗИ (деревья, живые изгороди, зеленые крыши, зеленые стены, зеленые экраны) на качество воздуха в уличных каньонах зависит от соотношения сторон, метеорологических условий и характеристик растительности. Несоответствующий тип ЗИ может привести к накоплению загрязняющих веществ из-за снижения воздухообмена между воздухом над уличными каньонами и внутри них.

²⁸ Диоксид азота (NO₂) является основным фактором образования смога и предшественником многих вредных вторичных загрязнителей, включая озон и твердые частицы.

²⁹ Двуокись серы (SO₂) – бесцветный газ с сильным, удушливым и резким запахом. Это наиболее распространенная форма оксида серы.

2. Большинство предыдущих исследований о влиянии ЗИ на качество воздуха в уличных каньонах были сосредоточены на деревьях и/или живых изгородях. Деревья обычно ухудшают качество воздуха в уличных каньонах. Деревья рекомендуются только в неглубоких уличных каньонах, где следует выбирать породы с более прозрачной кроной и сажать их на большом расстоянии друг от друга.

3. *Зеленые стены* эффективно улавливают загрязняющие вещества из близлежащих источников выбросов. Улучшение качества воздуха за счет зеленых стен происходит за счет осаждения загрязняющих веществ на поверхности листьев. Зеленые стенки более эффективны для удаления особенно мелких и ультрадисперсных частиц, чем газообразных загрязнителей. Степень снижения концентрации загрязняющих веществ в уличных каньонах за счет зеленых стен зависит от скорости ветра, геометрии каньона и доли озеленения стен каньона.

4. *Зеленые экраны* являются эффективным вариантом защиты там, где посадочное пространство ограничено. В немногих исследованиях изучалось влияние зеленых экранов. Однако исследования, проведенные на сегодняшний день, показали снижение концентрации PM_{10}^{30} на 60% и NO_2 на 53% за зелеными экранами [15].

Г. Культурные экологические услуги

В отличие от некоторых регулирующих или обеспечивающих услуг, культурные услуги вряд ли можно оценить с помощью таких осязаемых показателей, как урожайность, биомасса или поглощение углерода. Оценка ценности ЗИ для предоставления культурных услуг требует более широкого спектра индикаторов, чем часто используемая количественная оценка доступной зоны отдыха, особенно когда речь идет о городских экосистемах. Важно понимать пространственный, временной, экологический и социальный контексты [13].

Здоровье и рекреация

Качество городских районов все чаще признается благотворным для здоровья и благополучия человека³¹. В исследованиях последних десятилетий все чаще изучалась положительная взаимосвязь между количеством зеленых насаждений в среде обитания людей и их восприятием общего состояния здоровья. Хорошо известно, что ежедневный доступ к безопасным, местным и качественным зеленым насаждениям способствует более высокому уровню физической активности среди населения, а также полезен для психического здоровья [16]. ЗИ может давать отличную возможность для физической активности, которой недостаточно в промышленно развитых странах. Когда ландшафт поощряет физическую активность, он приносит ценную пользу человеку. Экономическая ценность физической активности высока. В Англии ежегодная стоимость малоподвижного образа жизни составляет более 8 млрд. фунтов стерлингов [11].

Образование

Опыт взаимодействия горожанина с природой, скорее всего, окажется более эффективным, если природа будет присутствовать рядом с его работой, местом проживания и досуга. Здесь можно ежедневно получать удовольствие, восстанавливаться и даже узнавать о природной среде и местных видах. Многие города мира предлагают экологическое образование с помощью ЗИ. Город Остин, штат Техас, извлекает выгоду из сумеречного перелета 1,5 миллиона летучих мышей вида Бразильский складчатогуб (*Tadarida brasiliensis*) и 100 000 посетителей, которых они ежегодно привлекают для

³⁰ PM_{10} – это любые твердые частицы в воздухе диаметром 10 микрон или меньше, включая дым, пыль, сажу, соли, кислоты и металлы.

³¹ Nilsson K. Implementing green aid projects – the case of St. Petersburg, Russia / K.Nilsson, U.Akerlund, C.C. Konijnendijk, A. Alekseev, O. H. Caspersen, S. Guldager, E. Kuznetsov, A. Mezenko, A. Selikhovkin // Urban Forestry & Urban Greening. 2007. №6. P. 93-101.

обучения, а также развития туризма. Местная экологическая группа предоставляет литературу и программы об экологии летучих мышей и о пользе, которую они приносят людям. Экологическое образование того типа, которое мы видим в Остине, встречается во многих странах. Граждане могут участвовать в научных проектах по сбору данных о наличии видов и их численности [11]. Наблюдение за птицами в московских парках позволяет после прохождения курсов по идентификации птиц подготовить волонтеров для участия в программах по учёту и мониторингу птиц, помощи ученым в экспедициях³².

Заключение

Все больше и всё чаще мы говорим о междисциплинарном подходе к городскому планированию, что обусловлено самой сутью города, понятием «устойчивое развитие» и стремлением проектного сообщества решать сложные комплексные задачи, связанные с климатическими, экологическими и энергетическими кризисами. Связь концепций ЗИ и ЭУ оказывается гармонично вписанной в общее движение к объединению профессиональных усилий в планировании урбанизированных ландшафтов и поиску жизнеспособного и гармоничного взаимодействия города и природы.

Антропоцентричность самих понятий «инфраструктура» и «услуги», принятые в научном и политическом сообществе, говорит о том, что стадию неравноправного восприятия природы как источника ресурсов и благополучия человека, мы еще не прошли. Но, возможно, это необходимый этап нашего развития, чтобы закрепить в современном обществе потребления мысль о том, что за любую услугу, полученную «бесплатно» от природы, в итоге придется заплатить в виде сокращения биоразнообразия, истощения ресурсов, нежизнестойкости городов к природным рискам, нарушения баланса в экосистемах и климате и пр.

ЗИ имеет огромный потенциал для реализации всех четырёх типов ЭУ в городах (рис. 8). Наиболее наглядно выглядит польза от ЗИ в регулирующих и обеспечивающих услугах: эффект можно посчитать в денежном эквиваленте, CO₂-эквиваленте и пр. Тут отдельно стоит отметить технологии ЗИ в области регулирования ливневых стоков, защитные функции водно-болотных угодий, снижение нагрузок на энергосети за счет «зеленых» крыш, поглощение вредных веществ «зелеными» стенами и экранами, снижения эффекта от островов тепла за счет деревьев и кустарников, формирование вторичных сред обитания.

Поддерживающие и культурные экосистемные услуги не торгуются или сложно оцениваются и потому часто обесцениваются, поэтому исследования в этой области особенно важны. Природа обогащает нас духовно, способствует физической активности и психическому здоровью. Кроме того, зеленая инфраструктура служит культурным, образовательным целям, обогащает эстетическое восприятие городов в синтезе с архитектурой.

ЗИ (если рассматривать ее как часть городской системы) должна быть в приоритете при городском планировании, чтобы изначально закладывать связность ее элементов, использовать и защищать существующие экосистемы, оценивать возможности с точки зрения художественно-эстетических характеристик и пр. Это позволит получать качественный спектр ЭУ, сохраняя при этом бережное отношение к городскому ландшафту. В результате ЗИ может стать одной из составляющих устойчивого и жизнестойкого города.

³² Birdwatching Moscow. URL: <https://www.scipeople.net/>



Рис. 8. Схема связи зеленой инфраструктуры с экосистемными услугами через природно-экологические процессы, биоразнообразие и художественно-эстетические характеристики

Источники иллюстраций

Рис. 1. URL: <https://calisphere.org/item/ark:/13030/hb8x0nb5w1/>

Рис. 2 а,б. URL: <https://www.californiasun.co/the-strange-rebirth-of-owens-lake/>

Рис. 3. URL: <http://www.resilientbayarea.org/south-bay-sponge>

Рис. 4. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures?src=eo-features>

Рис. 5. Google map.

Рис. 6. URL: <https://mississippiriverdelta.org/this-wetland-restoration-project-will-help-keep-the-gulf-out-of-new-orleans/>

Рис. 7. URL: <https://www.fabrications.nl/portfolio-item/urbanmetabolism-creatingbiotopes/>

Рис. 8. Схема автора. Сделана с использованием материалов статей [1, 11].

Список источников

1. Ермохин А.А. Связь технологий зелёной инфраструктуры с экосистемными услугами / А.А. Ермохин, В.А. Фролова // Актуальные исследования. 2021. № 4(31). С. 26-29. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44617576>
2. Есаулов Г.В. Устойчивое развитие в повестке архитектурного образования / Г.В. Есаулов Н.Г. Благовидова, Ю.А. Табунщиков // Academia. Архитектура и

- строительство. 2020. № 1. С.19-28. URL:
https://elibrary.ru/download/elibrary_43077707_30461709.pdf
3. Залеская Л.С. Ландшафтная архитектура: учебник для вузов, – 2-е изд., перераб. и доп. / Л.С. Залеская, Е.М. Микулина. Москва: Стройиздат, 1979. 240 с.
 4. Ильичев В.А. Реконструкция урбанизированных территорий на принципах симбиоза градостроительных систем и их природного окружения / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, Н.В. Бакаева // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 3. С.4–12.
 5. Бобылев С.Н. Экосистемные услуги и экономика / С.Н. Бобылев, В.М. Захаров. Москва: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития, Центр экологической политики России, 2009. 72 с.
 6. Конюшков Д.Е. Формирование и развитие концепции экосистемных услуг: обзор зарубежных публикаций // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. № 80. С. 26-49. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23917733>
 7. Фролова В.А. Анализ российского и международного опыта по созданию систем эффективного управления зелеными территориями городов и оценка возможности их применения для условий города Москвы. Анализ исследований в области экосистемных услуг озелененных территорий и методов их количественной оценки. Определение критериев к выбору экспериментальных площадок и формирование предложений по экспериментальным площадкам / В.А. Фролова, Е.Г. Комаров, Е.В. Кутьева, Д.Е. Румянцев, О.В. Чернышенко, В.В. Дормидонтова и др. // Отчет о НИР. Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2018. 154 с.
 8. Шубенков М.В. Поиск сбалансированного взаимодействия урбанизированных и природных территорий: концепция урбобиоценозного зонирования / М.В. Шубенков, М.Ю. Шубенкова // Architecture and Modern Information Technologies. 2021. № 4(57). С. 296–312. URL: https://marhi.ru/AMIT/2021/4kvart21/PDF/18_shubenkov.pdf
 9. Шубенков М.В. Современный город как антропогенно-природная система / М.В. Шубенков, М.Ю. Шубенкова // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. № 4(53). С. 182–190. URL: https://marhi.ru/AMIT/2020/4kvart20/PDF/11_shubenkov.pdf
 10. Шубенков М.В. Симбиотическое развитие урбанизированных и природных территорий / М.В. Шубенков, М.Ю. Шубенкова, К.К. Карташова // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. № 4(49). С. 215-223. URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/4kvart19/PDF/14_shubenkov.pdf
 11. Austin G. Green Infrastructure for Landscape Planning. Integration human and natural system. London and New York: Routledge, 2014. 266 s.
 12. Czechowski D. Revising Green Infrastructure. Concepts Between Nature and Design/D. Czechowski, T. Hauck, G. Hausladen. London, New York: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2015. 464 s.
 13. Palliwoda J. How do the green components of urban green infrastructure influence the use of ecosystem services? Examples from Leipzig, Germany Landscape Ecology/ J. Palliwoda, E. Banzhaf, J. A. Pries // Landscape Ecology. 2020. № 35. S.1127-1142. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-020-01004-w#auth-Julia-Palliwoda>

14. Santamouris M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments // *Solar Energy*. 2014. Vol. 103. S. 682-703. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X12002447>
15. Tomson M. Green infrastructure for air quality improvement in street canyons/ *Environment International* / M. Tomson, P. Kumar, Y. Barwise, P. Perez, H. Forehead, K. French, L. Morawska, J. F. Watts // *Environment International*. 2021. Vol.146. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020322431#f0005>
16. Vujcic M. Connection between urban green areas and visitors' physical and mental well-being / M. Vujcic, J. Tomicevic-Dubljevic, I. Zivojinovic, O. Toskovic // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019. Vol. 40. S. 299-307. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866717304703#aep-article-footnote-id14>
17. Wamsley T.V. The potential of wetlands in reducing storm surge/ T.V. Wamsley, M. A. Cialone, J. M. Smith, J.A. Atkinson, J. D.Rosatia // *Ocean Engineering*. 2010. Vol. 37. S. 59-68. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002980180900184X>
18. Подойницына Д.С. Критический анализ концепции «зеленая инфраструктура» / Д.С. Подойницына // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2016. №1(34). С. 1–8. URL: <https://marhi.ru/AMIT/2016/1kvart16/pod/abstract.php>

References

1. Ermohin A.A., Frolova V.A. *Svyaz' tekhnologij zelyonoy infrastruktury s ekosistemnymi uslugami* [Connection green infrastructure technologies with ecosystem services]. *Current research*, 2021, no. 4(31), pp. 26-29. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44617576>
2. Esaulov G.V., Blagovidova N.G., Tabunshchikov YU.A. *Ustojchivoe razvitie v povestke arhitekturnogo obrazovaniya* [Sustainability on the agenda of architectural education]. *Academia. Architecture and construction*, 2020, no. 1, pp.19-28. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_43077707_30461709.pdf
3. Zalesskaya L.S., Mikulina E.M. *Landshaftnaja arhitektura. Uchebnoe posobie* [Landscape architecture. The Tutorial]. Moscow, 1979, 240 p.
4. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. *Rekonstrukciya urbanizirovannyh territorij na principah simbioza gradostroitel'nyh sistem i ih prirodnogo okruzheniya* [Reconstruction of urbanized territories based on the principles of symbiosis of urban planning systems and their natural environment]. *Industrial and Civil construction*, 2018, no. 3, pp.4–12.
5. Bobylev S.N., Zaharov V.M. *Ekosistemnye uslugi i ekonomika* [Ecosystem services and economics]. Moscow, 2009, 72 p.
6. Konyushkov D.E. *Formirovanie i razvitie koncepcii ekosistemnyh uslug: obzor zarubezhnyh publikacij* [The development of the concept of ecosystem services: a review of foreign publications]. V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 2015, no. 80, pp. 26-49. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23917733>
7. Frolova V.A., Komarov E.G., Kut'eva E.V., Rumyancev D.E., Chernyshenko O.V., Dormidontova V.V. *Analiz rossijskogo i mezhdunarodnogo opyta po sozdaniyu sistem effektivnogo upravleniya zelenymi territoriyami gorodov i ocenka vozmozhnosti ih primeneniya dlya uslovij goroda Moskvy. Analiz issledovanij v oblasti ekosistemnyh uslug*

ozelenennyh territorij i metodov ih kolichestvennoj ocenki. Opredelenie kriteriev k vyboru eksperimental'nyh ploshchadok i formirovanie predlozhenij po eksperimental'nym ploshchadkam [Analysis of Russian and international experience in creating systems for effective management of green areas of cities and assessment of the possibility of their application for the conditions of the city of Moscow. Analysis of research in the field of ecosystem services of green areas and methods of their quantitative assessment. Determination of criteria for the selection of experimental sites and the formation of proposals for experimental sites]. Moscow, 2018, 154 p.

8. Shubenkov M.V., Shubenkova M.Y. Search for a balanced interaction of urbanized and natural territories: the concept of urban-biocenosis zoning. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2021, no. 4(57), pp. 296–312. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2021/4kvart21/PDF/18_shubenkov.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2021-4-296-312
9. Shubenkov M., Shubenkova M. Modern City as an Anthropogenic and Natural System. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2020, no. 4(53), pp. 182–190. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2020/4kvart20/PDF/11_shubenkov.pdf DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15311
10. Shubenkov M., Shubenkova M., Kartashova K. Symbiotic Development of Urbanized and Natural Territories. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2019, no. 4(49), pp. 215-223. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2019/4kvart19/PDF/14_shubenkov.pdf DOI: 10.24411/1998-4839-2019-00015
11. Austin G. *Green Infrastructure for Landscape Planning. Integration human and natural system*. London and New York, Routledge, 2014, 266 p.
12. Czechowski D., Hauck T., Hausladen G. *Revising Green Infrastructure. Concepts Between Nature and Design*. London, New York: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2015, 464 p.
13. Palliwoda J., Banzhaf E., Pries J.A. How do the green components of urban green infrastructure influence the use of ecosystem services? Examples from Leipzig, Germany *Landscape Ecology*. *Landscape Ecology*, 2020, no. 35, P.1127–1142. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-020-01004-w#auth-Julia-Palliwoda>
14. Santamouris M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 2014, vol. 103, pp. 682-703. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X12002447>
15. Tomson M., Kumar P., Barwise Y., Perez P., Forehead H., French K., Morawska L., Watts J.F. Green infrastructure for air quality improvement in street canyons. *Environment International*, *Environment International*, 2021, vol.146. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020322431#f0005>
16. Vujcic M., Tomicevic-Dubljevic J., Zivojinovic I., Toskovic O. Connection between urban green areas and visitors' physical and mental well-being. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, Vol. 40, P. 299-307. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866717304703#aep-article-footnote-id14>
17. Wamsley T.V., Smith J.M., Atkinson J.A., Rosatia J.D. The potential of wetlands in reducing storm surge. *Ocean Engineering*, 2010, vol. 37, pp. 59-68. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002980180900184X>

18. Podoynitsyna D. Critical analysis of the green infrastructure concept. Architecture and Modern Information Technologies, 2016, no. 1(34), pp. 1–8. Available at: <https://marhi.ru/AMIT/2016/1kvart16/pod/abstract.php>

ОБ АВТОРЕ

Гагарина Екатерина Сергеевна

Кандидат архитектуры, ландшафтный архитектор, старший преподаватель кафедры «Ландшафтная архитектура и садово-парковое строительство», Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия
gagarinaekaterina@gmail.com

ABOUT THE AUTHOR

Gagarina Ekaterina S.

PhD in Architecture, Landscape Architect, Senior Lecturer of the Department of Landscape Architecture and Landscape Gardening, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia
gagarinaekaterina@gmail.com