

## УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ГОРОДОВ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ И ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ ПРИРОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Е. В. Авдеева, К. В. Черникова, А. И. Рудо, Ю. В. Кишкан

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева  
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31  
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

*Одной из характерных особенностей современной эпохи является стремительный темп урбанизации – исторического процесса возрастания роли городов в жизни общества, связанной с индустриализацией и активным распространением городского образа жизни. «Качество жизни» является понятием, отражающим оценку факторов, влияющих на удовлетворенность людей условиями их жизни. Одним из основных принципов охраны окружающей среды является обеспечение приоритета сохранности естественных экологических систем, ландшафтов и природных комплексов. Экосистемные функции насаждений обеспечивают качество окружающей среды на различных уровнях. В статье представлен анализ современного состояния исследований в области экосистемных услуг городских насаждений и особенности их влияния на микроклимат городов, ориентировочные показатели выполнения экосистемных функций зелеными насаждениями в городах Москвы и Красноярска. Полученные данные говорят о том, что имеющихся на сегодняшний день городских зеленых насаждений недостаточно для поддержания экологического баланса между возможностями природных компонентов и потребностями населения в городах, следовательно, используются экосистемные услуги прилегающих территорий. Из этого должна строиться стратегия устойчивого развития городов.*

**Ключевые слова:** урбанизация, экосистемные функции, зеленые насаждения.

*Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 3, P. 56–64*

## SUSTAINABLE CITY DEVELOPMENT, ECOLOGICAL FUNCTIONS AND ECOSYSTEM SERVICES OF NATURAL COMPONENTS IN THE URBAN ENVIRONMENT

E. V. Avdeeva, K. V. Chernikova, A. I. Rudo, Yu. V. Kishkan

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology  
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation  
E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

*One of the characteristic features of the modern era is the rapid pace of urbanization - the historical process of increasing the role of cities in the life of society, associated with industrialization and the active spread of the urban lifestyle. "Quality of life" is a concept that reflects the assessment of factors influencing people's satisfaction with their living conditions. One of the basic principles of environmental protection is to ensure the priority of the preservation of natural ecological systems, landscapes and natural complexes. The ecosystem functions of forests ensure environmental quality at various levels. The article presents an analysis of the current state of research in the field of ecosystem services of urban plantings and the features of their influence on the microclimate of cities, indicative indicators of the performance of ecosystem functions by green spaces in the cities of Moscow and Krasnoyarsk. The data obtained indicate that the currently available urban green spaces are not enough to maintain an ecological balance between the capabilities of natural components and the needs of the population in cities; therefore, the ecosystem services of adjacent territories are used. A strategy for sustainable urban development should be built on this basis.*

**Keywords:** urbanization, ecosystem functions, green spaces.

Одной из характерных особенностей современной эпохи является стремительный темп урбанизации – исторического процесса возрастания роли городов в жизни общества, связанной с индустриализацией и активным распространением городского образа жизни.

Увеличиваясь и изменяясь, города поглощают все больше свободных территорий. Возникшие города являются искусственной средой и резко отличается от своей географической зоны. Изменяются микрорельеф, водный и воздушный режим, почва, раститель-

ность. Разрастаясь, города не только оттесняют «зеленую зону», но и влияют на состояние зеленых насаждений, расположенных в городе [1, 2].

Во второй половине XX в. сложилось направление градостроительной теории и практики – урбоэкология, базовым принципом которой является принцип гармоничного сочетания интересов природы и человека, который должен лежать в основе формирования городской среды, способной развиваться естественно, приспосабливаясь к местным условиям с учетом ландшафтных особенностей окружения, создавая новые социокультурные связи. Одной из ключевых задач современных городов является повышение качества жизни населения [3; 4].

При этом пешеходная среда городов является основной платформой, с которой человек воспринимает городское пространство и взаимодействует с ним. Таким образом, архитектурная среда является одним из средств формирования качества жизни населения на урбанизированных территориях. Современные аналитики и исследователи данной области науки сходятся во мнении, что на сегодняшний день концепция устойчивого развития является базой постоянного повышения уровня качества жизни [5].

Основными компонентами устойчивого развития являются экологическая, экономическая и социальная составляющие. Формирование комфортной привлекательной и безопасной среды озелененных (естественных и искусственно созданных) пространств, является одним из основных инструментов решения каждого из аспектов устойчивого развития и повышения качества жизни в городах. Сохранение естественных возможностей природы поддерживать или, напротив, препятствовать развитию человеческого общества часто обходится дешевле – один из экологических законов Коммонера гласит «Природы знает лучше», чем необходимость в дальнейшем выполнять утраченные функции посредством инвестирования в альтернативную инфраструктуру или в восстановление исходной среды. В обществе постоянно растут затраты на поддержание плодородия почв, борьбу с эрозией, спасение малых и средних рек, поддержание чистоты атмосферы [6]. Одним из основных принципов охраны окружающей среды является обеспечение приоритета сохранности естественных экологических систем, ландшафтов и природных комплексов. Сохранение условий для жизни человека и необходимого режима для всей биоты возможно при сохранении качества природной среды. В этом отношении естественные леса имеют определяющее значение, выполняя комплексные функции, которые изучены в значительной степени [7].

Экосистемные функции лесов обеспечивают качество окружающей среды на различных уровнях: глобальном, национальном или региональном и местном [1]. Выделяют следующие функции леса [8]: климато-регулирующие; водоохранные и водорегулирующие (регулирование водного режима рек, озер и др. водных объектов, гидрологический режим водосборов, защита берегов рек и др.); защитные (защита почв от эрозии в сельском хозяйстве, защита объектов и территорий от негативных воздействий транспорта и др.); санитарно-

гигиенические и оздоровительные (создание благоприятного микроклимата в городах, зеленых зонах, в зонах округов санитарной охраны курортов и др.); рекреационные (рекреационная емкость территории, сохранение природного окружения памятников истории и культуры, отдых, туризм); специальные (сохранение уникальных природных комплексов и в их пределах ценных видов флоры и фауны).

Городская среда отличается своеобразным изменением основных экологических факторов: ухудшением состояния городских почв, загрязнением воздуха, поверхностных и подземных вод, формированием особых микро- и мезоклиматических условий, что приводит к значительной трансформации окружающей среды. Изменения абиотических параметров среды запускают механизмы различных адаптационных реакций и изменений в составе биотического компонента урбоэкосистемы, который выполняет важную роль по экологической оптимизации и стабилизации городской среды [9].

В монографии И. Л. Бухариной, А. Н. Журавлевой, О. Г. Большовой «Городские насаждения: экологический аспект», авторами наиболее полно представлен обзор экологических функций, выполняемых растениями в городе [9]. В монографии представлены результаты изучения видового состава и эколого-биологического состояния насаждений крупного промышленного центра и малых городов различного социально-экономического и экологического статуса, объединенных единой программой мониторинга городских насаждений. Дана оценка влиянию городской среды на важнейшие физиолого-биохимические показатели растений и их репродуктивную способность. Многолетние исследования выявили важную средоулучшающую роль растений в регулировании состояния атмосферного воздуха, микроклимата городской среды, в сфере защиты урбаносреды от отрицательных антропогенных факторов, в обеспечении горожан рекреационными территориями.

Зеленые насаждения влияют на микроклимат города, снижая в летние месяцы температуру на 4–6 °C. Среднемесячная температура воздуха в большом городском парке на 0,3–1,1 °C ниже, чем на территории многоэтажной застройки. При этом создается постоянное перемещение воздушных масс от зеленых массивов с менее прогретым воздухом к окружающим районам застройки с более теплым воздухом. Суммарная солнечная радиация под кронами отдельных видов деревьев почти в 9 раз ниже, чем на открытом месте.

Насаждения обладают повышенной отражательной способностью листьев по сравнению с грунтовыми и асфальтовыми покрытиями, что способствует понижению температуры воздуха в районе древесных насаждений и созданию комфортной среды для человека. Зеленые насаждения обладают большой транспирирующей способностью. Они испаряют влаги в 20 раз больше, чем занимаемая ими площадь, значительно повышая влажность воздуха. Повышение относительной влажности воздуха воспринимается человеком как некоторое снижение температуры. Древесные насаждения значительно снижают скорость движения

воздушных масс. Они способствуют горизонтальному и вертикальному проветриванию, что приводит к улучшению состава воздуха. Наибольшей ветрозащитной способностью обладают невысокие насаждения с ажурностью крон деревьев не менее 30–40 %.

Листва древесных растений обладает высокой звукоотражающей способностью. Уровень городского шума при прохождении сквозь кроны лиственных насаждений средней густоты и высотой 7–8 м снижается на 10–15 дБ, а полосой насаждений шириной 200–250 м – на 35–45 дБ. В целом растительность снижает шум в жилых и промышленных зонах в 2–2,5 раза. Таким образом, шумоизоляционные свойства насаждений зависят от их ширины, густоты, высоты, конструкции и видового состава растений. Наиболее эффективным считается свободное расположение деревьев и кустарников в шахматном порядке. Шумопоглощающая способность наиболее ярко выражена у клена, липы, калины, тополя, дуба, граба, березы.

Городская растительность способствует повышению ионизации воздуха. В парках число легких ионов в 1 см<sup>3</sup> в 2–4 раза выше по сравнению с санитарно-защитными зонами предприятий. Свойством улучшать ионный состав воздуха обладает большинство хвойных деревьев, а также некоторые виды ив, тополей, робиния, рябина. Растения снижают загрязнение воздушной среды вредными и болезнетворными микроорганизмами. Более 500 видов деревьев и кустарников выделяют фитонциды, которые проявляют бактерицидное, фунгицидное, инсектицидное действие. Л. И. Литвиновой (1982) доказана способность летучих выделений растений снижать концентрации токсичных газов в атмосфере в силу их высокой реакционной способности [16]. Немаловажно значение зеленых насаждений в очищении городского воздуха от пыли. Загрязненный воздушный поток, проходя через зеленый массив, замедляет скорость, в результате под действием силы тяжести 60–70 % пыли оседает на деревья и кустарники. Значительная часть пыли оседает на поверхности листьев, хвои, веток, стволов, а затем смывается осадками на землю. Разности температур, возникающие под зелеными насаждениями, также способствуют осаждению пыли на землю. В городских парках в весенне-летний период воздух содержит на 42, а в зимний период на 37 % меньше пыли, чем на открытых местах [10].

Аккумуляция пыли зависит от видового состава насаждений, а также от размера и фитомассы крон деревьев, условий места произрастания. Листья вяза задерживают пыли в 5 раз больше, чем листья тополя. Средневозрастной тополь черный (*Populus nigra* L.), имеющий листовую поверхность общей площадью более 50 м<sup>2</sup>, осаждаст за вегетационный период 44 кг пыли, тополь белый (*Populus alba* L.) – 53, а клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) – 30 кг. В работе В. М. Кретиной и З. М. Селяниной (2006) выявлено, что потенциально высокой пылезадерживающей способностью среди кустарников обладают кизильник войлочный и роза морщинистая [17]. Исследования И. Л. Бухариной и А. А. Двоглазовой (2010) показали, что древесные растения, имеющие меньшую площадь листовой поверхности, в большей степени

удерживают нерастворимые частицы пыли. Деревья, обладающие крупными листовыми пластинками, аккумулируют на поверхности листьев растворимые фракции пыли.

Насаждения уменьшают концентрацию вредных газообразных веществ в атмосфере города. Влияние древесных и кустарниковых насаждений на снижение концентраций токсических газов в воздухе происходит не только за счет их рассеивания в верхние слои атмосферы, но и путем поглощения газов листьями через устьица и клеточные оболочки. Благодаря аккумуляющей способности растений часть загрязнителей накапливается в их органах и тканях. Величина и эффективность фильтрации воздуха зависит от площади листового аппарата, а также от являющихся индивидуальными для каждого вида растений объемами безопасного накопления токсикантов.

Исследования, проведенные Ю. З. Кулагиным (1974), показали, что хорошими газопоглотительными качествами обладают тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), ясен зеленый (*Fraxinus lanceolata* Borch.) [10]. Все вышеперечисленные экологические функции зеленых насаждений тесно связаны друг с другом и, безусловно, должны сочетаться. Для достижения максимального эффекта следует опираться на принцип разумной целесообразности, который включает в себя сочетание всех функций и учет экологических, эстетических и экономических факторов.

В последнее время в странах с развитыми рыночными отношениями стали применяться приемы и методы стоимостной оценки земельных участков с ценными природными комплексами и связанных с ними культурных услуг, а также оценки альтернативной стоимости природных объектов, выведенных из оборота. В России такая оценочная практика пока еще является новой отраслью знаний и требует отработки комплексного подхода к оценке не только ресурсных функций живой природы, но и её функций жизнеобеспечения. Оценка экологического блага является важным направлением в улучшении охраны природы. Этот процесс осуществляется в рамках Программы ООН по окружающей среде «United Nations Environment Programmer», 2007 г. [6].

Стратегическим приоритетом в этой деятельности является использование экосистемных функций (услуг). Основная часть стоимости функций экосистем и биоразнообразия находится вне рынка и это приводит к тому, что «блага», которые мы из них извлекаем, в процессе принятия решений обычно не учитываются или недооцениваются. Эту способность отождествляют с понятием экосистемных услуг, то есть комплекса всех благ, получаемых человеком от природы (ресурсные, регулирующие, поддерживающие и пр.) [1].

Экосистемная услуга – использование экологических ресурсов в течение определенного времени. Экосистемные услуги – это экологические объекты или характеристики, которые являются конечным продуктом и для которых установлены меры учета [1]. Под выгодой понимается оценка окружающей среды рыночными методами, когда потребность человека

удовлетворяется прямо или косвенно (рекреация, отдых, экотуризм, эстетическое удовольствие и др.) [1].

Но не для всех экосистемных услуг можно создать адекватный рынок [7]. Реально на это претендуют 4 категории экосистемных услуг:

- регулирующие (регулирование водных ресурсов, качество воздуха, климата, предотвращение эрозии и др.);
- услуги по сохранению биоразнообразия (сохранение конкретных экосистем, видов растений и животных, генетического разнообразия);
- поглощение углерода (напрямую связано с наличием лесов);
- сохранение и использование эстетических и культурных ценностей ландшафтов.

При этом не все экосистемные услуги выполнимы в городе. Естественно, речь не может идти о ресурсах (например, о древесине). Среди основного перечня экосистемных услуг основными для города являются – задержание пыли кронами деревьев, регулирование температуры и влажности воздуха приземных слоев атмосферы, снижение шумовых и ветровых нагрузок, поглощение углекислого газа и вредных для человека соединений серы, азоты и т.д., выделение кислорода в процессе фотосинтеза, поддержание круговорота воды через транспирацию и потоков энергии (и тем самым регулирование составляющих теплового баланса), формирование природной среды (места обитания, кормовая база и пр.) для животных, создание благоприятной ландшафтно-визуальной среды для людей, выделение фитонцидов и ионизация воздуха, что особенно важно для здоровья горожан, обеспечение в целом рекреационных потребностей [1].

Озеленение – один из необходимых элементов благоустройства городов и других населенных мест. Зеленые массивы – излюбленные места отдыха населения и средство создания разнообразных архитектурных обликов городов и поселков. Важнейшее значение имеет древесно-кустарниковая растительность в формировании экологической обстановки урбанизированных территорий. В условиях непрерывного повышения техногенных нагрузок на городского жи-

теля, покрытые растительностью пространства становятся мощным средством частичной нейтрализации негативного воздействия внешних факторов. На данный момент задача сохранения естественных экологических систем актуальна для каждого города. Используя осредненные из разных работ данные об удельных значениях выработки кислорода, поглощения углекислого газа смешанными лесами, автор А. А. Минин, в своей статье «Устойчивое развитие Москвы и экосистемные услуги ее природных территорий» приводит количественные данные по нескольким видам экосистемных услуг для Москвы, площадь зеленых насаждений которых составляет 58 тыс. га [1]. Опираясь на полученные автором данные [1] мы рассчитали ориентировочные цифры для города Красноярска [2]. Ориентировочные показатели выполнения экосистемных функций зелеными насаждениями Москвы и Красноярска за 1 год представлены в таблицы [1; 2]. Автор подчеркивает, что полученные оценки весьма приблизительны, но в целом они отражают степень важности проблемы. Судя по балансу кислорода и углекислого газа, существующие зеленые насаждения в старой Москве уже не могут обслужить город (только легковых автомобилей в Москве насчитывается более 5 млн, а постоянно проживает 12 млн жителей). Следовательно, Москва использует экосистемные услуги прилегающих территорий. Из этого очевидного обстоятельства, на взгляд автора и мы ее поддерживаемся, и должна строиться стратегия устойчивого развития городов [1], при том, что в городе Красноярске на 2018 год насчитывается 411 тыс. автомобилей и проживает 1,090 881 1 млн человек. Соответственно, и в Красноярске зеленые насаждения не поддерживают экологический баланс между возможностями природных компонентов и потребностями населения города.

Таким образом, экосистемные услуги – это выгоды, которые человечество получает от экосистем. Иначе говоря, это услуги экосистем по обеспечению человечества природными ресурсами, здоровой средой обитания, иными экологически и экономически значимыми «продуктами».

#### Ориентировочные показатели выполнения экосистемных функций зелеными насаждениями в городах Москвы и Красноярска за 1 год

| Город                               | Площадь зеленых насаждений, тыс. га | Задерживают пыли, млн. тонн | Поглощают количество углекислого газа, тыс. тонн |             |                  | Выделяют кислорода, тыс. тонн | Выделяемое зелеными насаждениями количество кислорода за 1 год достаточно |                              | Выделяют фитонцидов, тыс. тонн | Снижают температуру воздуха на, °С |                     | Повышают относительную влажность воздуха, % |                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|-------------|------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------|---------------------|
|                                     |                                     |                             | всего                                            | выделяемое  |                  |                               | для дыхания, млн человек                                                  | для работы, тыс. автомобилей |                                | в скверах и на бульварах           | парках и лесопарках | в скверах и на бульварах                    | парках и лесопарках |
|                                     |                                     |                             |                                                  | млн человек | тыс. автомобилей |                               |                                                                           |                              |                                |                                    |                     |                                             |                     |
| Москва                              | 58                                  | 2,3                         | 812                                              | 11,6        | 37               | 580                           | 1,9                                                                       | 318                          | 17                             | 1,5–3,0                            | 10                  | 2–8                                         | 10–13               |
| Красноярск с учетом городских лесов | 8,139                               | 0,32                        | 113,8                                            | 1,63        | 5,2              | 81,35                         | 0,26                                                                      | 44,6                         | 2,38                           | 1,5–3,0                            | 10                  | 2–8                                         | 10–13               |

Экосистемные услуги бывают: снабжающие (пища, вода, лес, сырье), регулирующие (воздействие на климат, контроль над наводнениями, стихийными бедствиями, качество водных ресурсов и пр.), культурные (рекреационные ресурсы, эстетические и духовные ценности природы) и поддерживающие услуги (почвообразование, фотосинтез, круговорот азота и пр.) [11].

На каждом промежутке времени необходимо, чтобы природные ресурсы распределялись на основе их реальной стоимости в данный период времени. Экономическая оценка экосистемных услуг и её использование в реальной экономике реализуется, по крайней мере, в четыре этапа:

- идентификация экосистемной услуги;
- определение её экономической ценности;
- определение получателя выгод от услуги;
- формирование механизма платежей (компенсации) за экоуслуги экономистами.

Поскольку из средообразующих функций лесов наиболее изучено влияние на качество среды регулирующих и санитарно-гигиенических функций, то в условиях рыночной экономики с различной формой собственности на недвижимость и природные ресурсы возникает необходимость их эколого-стоимостной оценки для принятия взаимовыгодных решений в системе «общество-бизнес» [6]. Таким образом, чтобы достигнуть устойчивого развития, в экономический механизм природопользования должны быть включены экосистемные услуги и природные ресурсы как товары. Для этого нужно установить их стоимости, сопоставимые со стоимостями созданной трудом продукции и услуг.

Применительно к городам оценка экосистемных функций и соответственно экосистемных услуг в нашей стране находится в начале развития. Утвержденных методик оценки экоуслуг нет, в основном все сводится к оценкам ущерба для разных компонентов природной среды тех или иных видов воздействий. Для России, и применительно в основном к естественным природным территориям, в целом проблему экосистемных услуг достаточно основательно обозначили в ряде работ. В Москве начинается разработка соответствующего научного обоснования проведения оценки экосистемных услуг зеленых насаждений города [1].

#### **Мировой опыт оценки экосистемных услуг.**

В мировой практике принят определенный понятийный аппарат: экосистемные услуги осуществляются за счет экосистемных функций, которые в свою очередь поддерживаются биофизическими структурами и процессами, именуемыми «поддерживающими услугами». Считается, что экосистемные функции могут определяться как «способность экосистем обеспечивать товары и услуги, которые прямо или косвенно удовлетворяют потребности человека». Важно понимать, что экономическая и особенно денежная оценка всегда будет охватывать только часть действительной или общей стоимости экосистемы или её услуг. В монографии «Некоторые подходы к оценке экосистемных функций (услуг) лесных насаждений в практике природопользования» авторами подчеркивается, что,

несмотря на то, что база знаний по стоимостной оценке отдельных услуг улучшается, существуют большие пробелы в знаниях и необходимость совершенствования подходов, моделей и баз данных для расчета общей экономической стоимости всего комплекса экосистемных услуг. А также считается, что экосистемные функции могут определяться как «способность экосистем обеспечивать товары и услуги, которые прямо или косвенно удовлетворяют потребности человека». Важно понимать, что экономическая и особенно денежная оценка всегда будет охватывать только часть действительной или общей стоимости экосистемы или её услуг.

Комплексная стоимостная оценка экосистемных функций из-за их многообразия затруднена и поэтому экосистемные функции следует представить в виде подмножества экологических процессов и структур. Такая аналитическая работа проведена в исследовании, в котором рассмотрены и подробно описаны 23 функции и связанные с ними экологические процессы и структуры [69]. На основании своего опыта эксперты охарактеризованы 4 группы функций:

**I. Регулирующие функции.** Эта группа функций относится к способности естественных и полустественных систем к регулированию основных экологических процессов и систем обеспечения жизнедеятельности через биогеохимические циклы и другие биосферные процессы. Кроме поддержания нормального функционирования экосистем и биосферы, эти функции обеспечивают многие услуги, представляющие прямые и косвенные выгоды для человека (например, очищение воздуха, воды и почвы).

По причине не прямой выгоды от регулирующих функций часто они не принимаются во внимание до тех пор, пока они не утрачены или нарушены, но, тем не менее, они необходимы для существования жизни на земле. Основной услугой, поддерживаемой газорегулирующей функцией, является обеспечение чистого, пригодного для дыхания воздуха, и предотвращение заболеваний (рак кожи), т.е. общее поддержание условий, пригодных для жизни на земле. Экосистемной услугой, обеспечиваемой за счет функции регулирования климата, является поддержание благоприятного климата на локальном и глобальном уровнях, что в свою очередь важно для здоровья человека, урожайности культур, отдыха и культурной деятельности.

Функция по предотвращению чрезвычайных ситуаций относится к способности экосистем смягчать воздействия природных факторов риска или разрушающих внешних воздействий (штормы, наводнения, засухи), обеспечивая человеку безопасность жизни и сооружений. Экосистемными услугами, получаемыми за счет водорегулирующей функции, являются поддержание естественного обводнения территории и дренажа, предотвращение колебаний речного стока, регулирование руслового стока, обеспечение транспортных путей.

Функция водоснабжения относится к фильтрации, удержанию и хранению воды преимущественно в реках, озёрах водоносных горизонтах. Функция сохранения почвы зависит преимущественно от структур-

ной характеристики экосистем, особенно растительного покрова и корневых систем. Корни деревьев скрепляют почву, и листва перехватывает дождевые осадки, предотвращая, таким образом, уплотнение и эрозию открытой почвы. Услуги, обеспечиваемые этой функцией, чрезвычайно важны для поддержания сельскохозяйственного производства и предотвращения ущерба от эрозии почв. Экосистемные услуги, получаемые от почвообразования, относятся к поддержанию урожайности сельскохозяйственных культур на обрабатываемых землях, а также сохранности и функционированию естественных экосистем. Многие структурные и функциональные компоненты естественных экосистем способствуют круговороту питательных веществ на локальном и глобальном уровнях.

Круговорот питательных веществ играет важную роль в газо-, климато- и водорегулирующих функциях. В некоторых пределах естественные экосистемы способны накапливать и перерабатывать определенные объемы органических и неорганических отходов путем разбавления, усваивания, химического преобразования. Например, леса задерживают частицы пыли из воздуха, а заболоченные территории могут обезвреживать сравнительно большие объемы органических отходов, образовавшихся в результате жизнедеятельности человека, действуя как «бесплатные» установки по очистке воды. Опыление является основой воспроизводства для многих растений, включая товарные культуры. Эта экосистемная функция обеспечивается многими природными видами – опылителями (включая насекомых, птиц и летучих мышей). Без этой функции исчезли бы многие виды растений, и возделывание большей части современных сельскохозяйственных культур было бы невозможно. Услуга от этой функции может быть получена с учетом зависимости выращивания растений от естественного опыления, без которого современный уровень сельскохозяйственного производства поддерживался бы за счет очень высокой стоимости искусственного опыления. Биологическими сообществами природных экосистем выработаны многочисленные взаимосвязи и механизмы обратного действия, приведшие к относительно стабильной жизнедеятельности этих сообществ и предотвращению всплеск вредителей и болезней (функция биологического контроля).

**II. Функции по обеспечению среды обитания.** Естественные экосистемы обеспечивают среду обитания и размножения для диких растений и животных, тем самым способствуя сохранению биологического и генетического разнообразия и эволюционных процессов. Поддержание здоровой среды обитания является необходимой предпосылкой к обеспечению всех прямых и косвенных экосистемных товаров и услуг. Функция обеспечения среды обитания может подразделяться на две подфункции: сохранение генетической информации и выращивание некоторых видов до определенного возраста.

**III. Продуктирующие функции.** Широкое разнообразие углеводных структур (полученных в результате фотосинтеза) предоставляет много экосистемных товаров для потребления человека, начиная от продо-

вольствия и сырья и заканчивая энергетическим ресурсами и генетическим материалом.

**IV. Информационные функции.** Естественные экосистемы способствуют поддержанию здоровья человека, предоставляя хорошую возможность для размышления и созерцания, духовного обогащения, отдыха и эстетического удовольствия. Первые две функциональные группы, по мнению авторов рассматриваемой работы, играют существенную роль в поддержании естественных процессов и компонентов и обуславливают существование двух других групп. К предполагаемой иерархии не следует подходить слишком строго. Основной идеей является то, что концепции экосистемных услуг присущ внутренне антропоцентричный характер: именно существование человека как оценивающего субъекта позволяет перевести базовые экологические процессы и структуры в имеющие ценность сущности.

Авторы исследования подчеркивают, что экосистемные функции и услуги могут «перекрываться», «накладываться» друг на друга, что приведет к их возможному двойному учету. Например, газорегулирующая функция (и связанные с ней услуги) может оказывать влияние на климат и рассматриваться отдельно или как составная часть климаторегулирующей услуги. Взаимосвязанность определенных экологических функций и сопряженных с ними экологических услуг подчеркивает необходимость разработки динамических моделей, учитывающих взаимозависимости между экосистемными функциями, услугами и их оценкой [6].

Для территории США, согласно исследованиям, Krieger [12], выделено и рассмотрено 8 категорий экосистемных услуг: водорегулирующие (количество и качество воды на лесных водоразделах, задержание загрязнителей), предупреждение эрозии, качество воздуха, регуляция климата и депонирование углерода, биоразнообразие, отдых и туризм, культурные услуги. Автором приводятся следующие конкретные данные:

– Нью-Йорк затратил 1,4 млрд долл. для сохранения качества воды, обеспечиваемого за счет покрытого лесом водораздела площадью 80000 акров, избежав тем самым затрат на строительство водоочистных сооружений стоимостью от 4 до 6 млрд долл. и ежегодных затрат на их содержание в 300 млн долл.;

– исследование, проведенное в г. Тусон (штат Аризона), показало, что посадка 500 тыс. экземпляров мескитового дерева (*Prosopis glandulosa*) будет способствовать задержанию 6500 т взвешенных частиц из атмосферного воздуха и снижению поверхностного стока. Для осуществления альтернативных вариантов программы контроля за содержанием пыли в воздухе и строительство задерживающих прудов – необходимо затратить 1,5 млн и 90 тыс. долл. соответственно [6].

Заслуживают внимания и работы американских экологов при изучении экосистемных услуг в условиях города. В работе [12] D. Krieger «The economic value of forest ecosystem services» приводится общий обзор таких наиболее важных видов экосистемных услуг, как очищение воздуха, регулирование микроклимата, снижение шума, дренаж дождевых вод,

очистка сточных вод, рекреационные и культурные услуги. Проведены научные исследования по оценке связи между структурой растительности и выполняемыми её функциями в городских насаждениях г. Чикаго с установлением общей сравнительной оценки затрат на создание и уход (в течение 30 лет) за деревьями в количестве 95 000 шт. и выгод, получаемых от посадок (снижение уровня загрязненности воздуха, ослабление ветра, сокращение расхода энергии на отопление и охлаждение помещений и др.) Проведенная оценка показала, что чистый дисконтированный доход составляет 402 доллара на 1 посаженное дерево. В 1991 г. определено, что городскими насаждениями г. Чикаго задержано 17 т оксида углерода, 93 т двуокиси серы, 98 т диоксида углерода, 210 т озона и 234 т твердых примесей, что оценивается в 1 млн долларов. Кроме того, дана количественная оценка таких функций, как депонирование углерода, снижение скорости ветра, изменение температуры воздуха [6].

В статье Boyd, Banzhaf [13] определяется сущность понятия «экологический сервис». Отдается должное проекту Millennium Ecosystem Assessment (Оценка экосистем на пороге тысячелетия). Авторами рассматриваемой статьи вводится понятие «компонент» как еще одного важного аспекта понимания экосистемных услуг, кроме прямого потребления. Это означает, что услуги – это эмпирические объекты или характеристики, но не функции или процессы. К экосистемным компонентам относятся поверхностные воды, океаны, различные типы растительности и популяции видов. В биологические, химические и физические взаимодействия между компонентами экосистемы представляют собой экосистемные функции и процессы, которые являются не конечными, а промежуточными продуктами для предоставления («производства») экосистемных услуг. Такое определение авторами экосистемных услуг приводит их к необходимости измерения экосистемных компонентов [6].

В работе J. Boyd [13] утверждается, что для оценки экосистемных услуг есть несколько мотивирующих факторов. Первый относится к очевидной силе экономических доводов и цифр при обсуждении. Доллар является неким эталоном, с которым люди очень хорошо знакомы. С одной стороны, оценка, выраженная в долларах, несет точную и простую информацию, с другой стороны, эти точность и простота дают обманчивое ощущение определенности (учитывая сложность экологических и экономических систем), но эта простота имеет неоспоримую силу в большинстве случаев.

Второй мотивирующий фактор обусловлен экономическими и политическими основами управления. Вполне возможно, что наша неспособность выражать экологические полезности в денежном режиме приводит к выбору таких направлений экономической деятельности, которые входят в противоречие с нормальным функционированием и продуктивностью экосистем. Отмечается, что при рассмотрении скорее как процесса, нежели результата, стоимостная оценка экосистемных услуг может выполнять чрезвычайно положительную образовательную и стратегическую роль. В лучшем случае, такая оценка способствует

обсуждению между экспертами, заинтересованными сторонами и сообществами – обсуждению, которое дает нам знания о разнообразном вкладе природы в благосостояние человека.

В монографии «Некоторые подходы к оценке экосистемных функций (услуг) лесных насаждений в практике природопользования» [6] была выполнена эколого-стоимостная оценка экосистемных функций в музее-заповеднике Л. Н. Толстого «Ясная Поляна», которые существенным образом изменяют условия среды обитания человека: водоохранная; водорегулирующая (склонозащитная и водопоглощающая роль); почвозащитная (поглощение поверхностного стока и уменьшение опасности эрозии); регуляция химического состава атмосферы (газофилтующая и газопоглощающая функции).

Но при этом отмечается, что лесные насаждения способны также выполнять и другие не менее важные функции: обеспечение баланса углекислого газа и кислорода; депонирование углерода; ионизация воздуха, выделение фитонцидов; шумопоглощение.

Авторы отмечают, что в рамках общей эколого-стоимостной оценки практически не оцениваются многочисленные защитные функции лесных насаждений:

- препятствие миграции радионуклидов на загрязненных территориях, осуществление функции биогеохимического барьера, ослабление опасных уровней загрязнения;
- защита полотна автомобильных и железных дорог от снежных, пыльных и песчаных заносов, водных потоков и селей;
- ослабление вредного воздействия ветров на контактную сеть железных дорог, снижение потребных тяговых усилий локомотивов и др.

Выполненные авторами расчеты [6], суммарной капитализированной оценки косвенной стоимости использования лесных экосистем, выполняющих регулирующие функции, ориентировочно оценивается в сумме: очищение атмосферы – 73,146 млн руб., сохранение почв от эрозии – 8,25 млн руб., регулирование дебета рек – 10,795 млн руб. Итого – 92,19 млн руб.

В природопользовании важным вопросом является положение о том, что насколько целесообразно использование или замена природного капитала искусственно созданными объектами. В таком контексте полученные оценки экосистемных функций (услуг) лесных систем помогут определить перспективу естественных возможностей природы по сравнению с более затратными, но менее эффективными техническими решениями.

При решении задач природоохранной деятельности следует использовать весь спектр экосистемных функций (услуг) лесных насаждений. В перспективе необходимо проведение экспериментальных работ по оценке регулирующих функций (климатообразующих, водоохранных, почвозащитных, качество воздуха), разработка имитационных моделей по эффективному газо-пылесажению наиболее опасных и токсичных загрязнителей атмосферы, что позволит осуществить системный подход к созданию благоприятной окружающей среды для биоты и человека.

Рассматривается еще одна защитная функция лесных насаждений – использование защитных насаждений против образования гололедно-изморозевых отложений на контактной сети. Ее влияние проявляется в следующем [14]:

- кристаллическая изморозь способствует вибрации проводов и ускоряет их износ в местах крепления;
- осаждение более плотной зернистой изморози может приводить к обрыву проводов;
- гололед часто вызывает обрыв проводов, разрушений конструкций, пережог проводов контактной сети;
- при колебаниях проводов подвески происходят изломы токоприемников и пр.

Отдельные наблюдения Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) свидетельствуют, что защитные лесные насаждения значительно снижают вероятность образования гололедных отложений, что заслуживает внимания при планировании мер безопасности функционирования железнодорожного транспорта.

Авторы работ констатируют, что защитные лесонасаждения выполняют функции инженерных сооружений, применяемых в системе мер по обеспечению бесперебойного и безопасного движения поездов, снизивших при этом необходимость содержания большого парка снегоборочных машин. Все это положительно сказывается на экономической ситуации железных дорог.

Исследованиями по использованию семенного возобновления в условиях лесной и лесостепной зон для разных типов древостоев установлено [15], что под пологом большинством исследованных типов древостоев в условиях лесостепи преобладает подрост ценных в защитном и хозяйственном отношении пород, который должен стать основой для выращивания, формирования и дальнейшей эксплуатации придорожных насаждений. Таким образом, относительно полную общую стоимость получаемых от лесов и зеленых насаждений городов экосистемных услуг еще предстоит определить. Приведенные в данных работах экономические доводы и предложенная стоимостная оценка некоторых регулирующих функций и рекреационного потенциала, предоставляемых лесами, позволят обеспечить доступной информацией как поставщиков, так и получателей экосистемных услуг.

## ВЫВОДЫ

Одной из характерных особенностей современной эпохи является стремительный темп урбанизации – исторического процесса возрастания роли городов в жизни общества, связанной с индустриализацией и активным распространением городского образа жизни. «Качество жизни» является понятием, отражающим оценку факторов, влияющих на удовлетворенность людей условиями их жизни. Одним из основных принципов охраны окружающей среды является обеспечение приоритета сохранности естественных экологических систем, ландшафтов и природных комплексов. Экосистемные функции лесов обеспечи-

вают качество окружающей среды на различных уровнях. В статье представлен анализ современного состояния исследований в области экосистемных услуг городских насаждений и особенности их влияния на микроклимат городов, ориентировочные показатели выполнения экосистемных функций зелеными насаждениями в городах Москвы и Красноярска. Полученные данные говорят о том, что имеющихся на сегодняшний день городских зеленых насаждений недостаточно для поддержания экологического баланса между возможностями природных компонентов и потребностями населения в городах, следовательно, используются экосистемные услуги прилегающих территорий. Из этого должна строиться стратегия устойчивого развития городов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Минин А. А. Устойчивое развитие Москвы и экосистемные услуги ее природных территорий // Бюллетень «На пути к устойчивому развитию России». Устойчивое развитие городов. 2014. № 69. С. 3–9.
2. Авдеева Е. В. Зеленые насаждения городов Сибири : монография. Красноярск : СибГТУ, 2000. 150 с.
3. Кузьмин А. В., Юсин Г. С. Качество жизни и качество пространственной среды – социальные стандарты и нормативы в градостроительстве, архитектуре, строительстве // Градостроительство. 2011. № 4 (14). С. 16.
4. Овсянникова Т. Ю., Преображенская М. Н. Индексный подход к оценке качества жизни населения и уровня развития урбанизированных территорий // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2014. № 1 (25).
5. Авдеева Е. В. Рост и индикаторная роль древесных растений в урбанизированной среде. Красноярск : СибГТУ, 2007. 361 с.
6. Касимов Д. В., Касимов В. Д., Некоторые подходы к оценке экосистемных функций (услуг) лесных насаждений в практике природопользования : монография. М. : Изд. «Мир Науки», 2015. 91 с.
7. Экономика сохранения биоразнообразия // под ред. А. А. Тишкова. М. : Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия Российской Федерации», Институт экономики природопользования, 2002. 604 с.
8. Писаренко А. И., Страхов В. В. О лесной политике России. 2-е изд. М.: ИД «Юриспруденция», 2012. 600 с.
9. Бухарина И. Л., Журавлева А. Н., Большова О. Г. Городские насаждения: экологический аспект : монография. Ижевск : Изд-во «Удмуртский университет», 2012. 206 с.
10. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. М. : Наука, 1974. 124 с.
11. Розенберг А. Г. Стоимость экосистемных услуг для территории Самарской области как инновационная составляющая устойчивого развития // Актуальные проблемы экономики и права. 2012. № 3. С. 145–150.
12. de Groot R. S., Wilson M. A., Boumans R. M. J. (2002): A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics 41 (2002), p. 393–408.



13. McPherson E. G., Nowak D. J., Heisler G., Grimmond S., Souch C., Grant R., Rowntree R. A. (1997): Quantifying urban forest structure, function and value: the Chicago Urban Forest Climate Project. *Urban Ecosystems* 1, pp. 49–61.

14. Касимов Д. В., Егоров В. Ф. Лесные насаждения против гололеда // *Локомотив*. 2003. № 12 (564). С. 36–38.

15. Касимов Д. В. Естественное возобновление в защитных лесонасаждениях железнодорожного транспорта // *Вестник МГУЛ, Лесной вестник*, 2003. № 3(28). С. 108–112.

16. Литвинова Л. И. Роль летучих фитонцидов растений в очищении атмосферного воздуха от некоторых токсичных выбросов предприятий и автотранспорта // *Гигиена и санитария*. 1982. № 4. С. 13–16.

17. Кретинин В. М., Селянина З. М. Задержание пыли листьями деревьев и кустарников и ее накопление в светло-каштановых почвах под лесными полосами // *Почвоведение*. 2006. № 3. С. 373–377.

## REFERENCES

1. Minin A. A. Ustoychivoye razvitiye Moskvy i ekosistemnyye uslugi yeye prirodnikh territoriy // *Byulleten' "Na puti k ustoychivomu razvitiyu Rossii"*. Ustoychivoye razvitiye gorodov. 2014. № 69. С. 3–9.

2. Avdeyeva Ye. V. Zelenyye nasazhdeniya gorodov Sibiri : monografiya. Krasnoyarsk : SibGTU, 2000. 150 s.

3. Kuz'min A. V., Yusin G. S. Kachestvo zhizni i kachestvo prostranstvennoy sredy – sotsial'nyye standarty i normativy v gradostroitel'stve, arkhitekture, stroitel'stve // *Gradostroitel'stvo*. 2011. № 4 (14). С. 16.

4. Ovsyannikova T. Yu., Preobrazhenskaya M. N. Indeksnyy podkhod k otsenke kachestva zhizni naseleniya i urovnya razvitiya urbanizirovannykh territoriy // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*. 2014. № 1 (25).

5. Avdeeva Ye. V. Rost i indikatornaya rol' drevesnykh rasteniy v urbanizirovannoy srede. Krasnoyarsk : SibGTU, 2007. 361 s.

6. Kasimov D. V. Kasimov V. D., Nekotoryye podkhody k otsenke ekosistemnykh funktsiy (uslug) lesnykh nasazhdeniy v praktike prirodopol'zovaniya : monografiya. M. : Izd. Mir Nauki, 2015. 91 s.

7. *Ekonomika sokhraneniya bioraznoobraziya* // pod red. A. A. Tishkova. M. : Proyekt GEF "Sokhraneniye bioraznoobraziya Rossiyskoy Federatsii", Institut ekonomiki prirodopol'zovaniya, 2002. 604 s.

8. Pisarenko A. I., Strakhov V. V. O lesnoy politike Rossii. 2-ye izd. M. : ID "Yurisprudentsiya", 2012. 600 s.

9. Bukharina I. L., Zhuravleva A. N., Bolyshova O. G. Gorodskiy nasazhdeniya: ekologicheskiy aspekt : monografiya. Izhevsk : Izd-vo "Udmurtskiy universitet", 2012. 206 s.

10. Kulagin Yu. Z. Drevesnyye rasteniya i promyshlennaya sreda. M. : Nauka, 1974. 124 s.

11. Rozenberg A. G. Stoimost' ekosistemnykh uslug dlya territorii Samarskoy oblasti kak innovatsionnaya sostavlyayushchaya ustoychivogo razvitiya // *Aktual'nyye problemy ekonomiki i prava*. 2012. № 3. С. 145–150.

12. de Groot R. S., Wilson M. A., Boumans R. M. J. (2002): A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41 (2002), pp. 393–408.

13. McPherson E. G., Nowak D. J., Heisler G., Grimmond S., Souch C., Grant R., Rowntree R. A. (1997): Quantifying urban forest structure, function and value: the Chicago Urban Forest Climate Project. *Urban Ecosystems* 1, pp. 49–61.

14. Kasimov D. V., Yegorov V. F. Lesnyye nasazhdeniya protiv гололеда // *Локомотив*. 2003. № 12 (564). С. 36–38.

15. Kasimov D. V. Yestestvennoye vozobnovleniye v zashchitnykh lesonasazhdeniyakh zheleznodorozhnogo transporta // *Vestnik MGUL, Lesnoy vestnik*, 2003. № 3 (28). С. 108–112.

16. Litvinova L. I. Rol' letuchikh fitontsidov rasteniy v ochishchenii atmosfernogo vozdukhа ot nekotorykh toksichnykh vybrosov predpriyatiy i avtotransporta // *Gigiyena i sanitariya*. 1982. № 4. С. 13–16.

17. Kretinin V. M., Selyanina Z. M. Zaderzhaniye pyli list'yami derev'yev i kustarnikov i yeye nakopleniye v svetlo-kashtanovykh pochvakh pod lesnymi polosami // *Pochvovedeniye*. 2006. № 3. С. 373–377.

© Авдеева Е. В., Черникова К. В.,  
Рудо А. И., Кишкан Ю. В. 2024

Поступила в редакцию 20.03.2024  
Принята к печати 03.06.2024