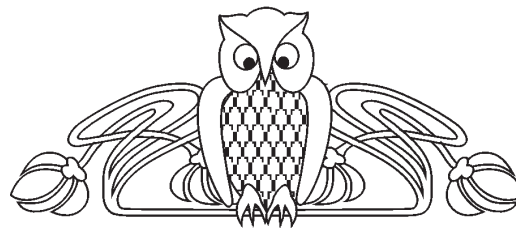




Научная статья
УДК 574.4:502.3

Оценка экосистемных услуг зеленых насаждений г. Йошкар-Олы



Е. В. Сарбаева

Марийский государственный университет, Россия, 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1

Сарбаева Елена Витальевна, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии, sarbaevaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7274-0938>

Аннотация. Во многих странах мира зеленые насаждения городов исследуются в качестве источника экосистемных благ. Рассматривается их роль в оказании обеспечивающих, регулирующих, поддерживающих и даже культурных услуг. При этом все более актуальным становится оценка видового состава и жизненного состояния деревьев, предоставляющих экосистемные услуги в урбанизированной среде. Целью данного исследования стало изучение вклада наиболее распространенных в озеленении городов видов древесных растений в оказание экосистемных услуг. Исследования проводились в г. Йошкар-Оле, в разных функциональных зонах города: селитебной, рекреационной и промышленной, где изучался ассортимент деревьев и оценивалось их жизненное состояние. У самых распространенных видов древесных растений определяли потенциальное предложение экосистемных услуг по десятибалльной шкале с учетом неблагоприятных эффектов (т.н. «экосистемных медвежьих услуг»). Установлено, что преобладающими в озеленении города видами были *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *Sorbus aucuparia*, их доля в изученных посадках достигала 36–64%. Из интродуцированных видов наиболее распространены в озеленении города *Acer negundo*, *Picea pungens*, *Thuja occidentalis*. Большинство деревьев разных функциональных зон относились к 1-й и 2-й категориям жизненного состояния (здоровые и имеющие признаки незначительного угнетения). Сильно ослабленные деревья составляли в общей численности не более 12%, а отмирающие растения были единичны. Значительный вклад в оказание экосистемных услуг в г. Йошкар-Оле вносят *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *Picea pungens* и *Sorbus aucuparia* – преимущественно за счет их высокой способности к депонированию углерода, фитонцидности и эстетической ценности. *Acer negundo* рассмотрен как опасный городской эксплант и, несмотря на выполняемые им регулирующие и поддерживающие экосистемные услуги, его распространение в городской среде следует ограничивать.

Ключевые слова: урбанизированная среда, зеленые насаждения, древесные растения, жизненное состояние, экосистемные услуги, функциональные зоны, г. Йошкар-Ола

Для цитирования: Сарбаева Е. В. Оценка экосистемных услуг зеленых насаждений г. Йошкар-Олы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2024. Т. 24, вып. 2. С. 214–224. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-2-214-224>, EDN: XAJNID

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Assessment of ecosystem services of green spaces in Yoshkar-Ola

E. V. Sarbaeva

Mari State University, 1 Lenina Sq., Yoshkar-Ola 424000, Republic of Mari El, Russia

Elena V. Sarbaeva, sarbaevaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7274-0938>

Abstract. In many parts of the world, urban green spaces are being explored as a source of ecosystem services. Their role in the provision of regulation of and, support of ecosystem services and even in the provision of cultural services is considered. At the same time, species assessment of the composition and vital condition of trees that provide ecosystem benefits in an urbanized environment is becoming increasingly relevant. The purpose of this study was to assess the contribution of the most common species of woody plants in urban greening to the provision of ecosystem services. The research was carried out in Yoshkar-Ola, in different functional areas of the city: residential, recreational and industrial, where the assortment of trees was studied and their vital condition was assessed. For the most common tree species, the potential supply of providing ecosystem services was determined on a ten-point scale, taking into account adverse effects (so-called «ecosystem disservices»). It was established that *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *Sorbus aucuparia* were the predominant species in the landscaping of the city, their share in the studied plantings reached 36–64%. Of the introduced species, *Acer negundo*, *Picea pungens*, and *Thuja occidentalis* are the most common in the landscaping of the city. Most of the trees of different functional zones belonged to the 1st and 2nd categories of life condition (healthy and with signs of slight oppression). Strongly weakened trees



accounted for no more than 12% of the total number, and dying plants were rare. *Betula pendula* makes a significant contribution to the provision of ecosystem services in Yoshkar-Ola. *Tilia cordata*, *Picea pungens* and *Sorbus aucuparia* – do so mainly due to their high carbon storage capacity, phytoncide and aesthetic value. *Acer negundo* is considered to be a dangerous urban explerent and, despite its regulating and maintaining ecosystem services, its distribution in the urban environment should be limited.

Keywords: urbanized environment, green spaces, woody plants, life state, ecosystem services, functional zones, Yoshkar-Ola

For citation: Sarbaeva E. V. Assessment of ecosystem services of green spaces in Yoshkar-Ola. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2024, vol. 24, iss. 2, pp. 214–224 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-2-214-224>, EDN: XAJNID

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

В России 1117 городов, в которых проживают более 110 млн человек, при этом и площадь городских земель, согласно данным Росреестра, составляет менее 1% от всего земельного фонда страны. Именно в городах сосредоточены крупнейшие промышленные предприятия, активно функционирует транспортная система, отмечается существенный рост антропогенного воздействия на среду обитания человека. Йошкар-Ола – стремительно разрастающийся в последние десятилетия город, численность населения которого превысила 280 тыс. человек; активно застраиваются периферийные районы города, развивается промышленность (особенно после ужесточения санкционного режима в стране), появляются новые объекты инфраструктуры, меняется облик города. Еще около двух десятилетий назад город считался одним из самых зеленых в европейской части России, но расширение застройки и ускоренное (по сравнению естественными условиями) старение древесных насаждений в городской среде приводит к необходимости развития зеленой инфраструктуры.

Исследования в области экосистемных услуг озелененных территорий городов в мировой и отечественной науке ведутся достаточно интенсивно. Их основой стали экспериментальные данные об экологических функциях зеленых насаждений – поглощение парниковых газов и загрязняющих веществ, производство кислорода, формирование микроклимата, шумопоглощение, выделение фитонцидов, поддержание биологического разнообразия, экологическое равновесие урбоэкосистем и т.д.; в связи с этим растет интерес к лучшему пониманию предоставления экосистемных услуг городскими фитоценозами, особенно в контексте развития городской зеленой инфраструктуры [1–5].

Как отмечали С. Н. Бобылев, В. М. Захаров, в самом широком смысле под экосистемными услугами понимается все то, что человек полу-

чает от экосистем, от природы (природное богатство, природные блага, природный капитал, вся система жизнеобеспечения) [6]. Из-за латентного характера многих выгод от экосистемных услуг, их «рассеянности» они преимущественно признаются бесплатными, а важность их значительно недооценивается. Экосистемные услуги влияют на благосостояние человека и все его компоненты, включая основные материальные потребности, такие как пища и кров, индивидуальное здоровье, безопасность, хорошие социальные отношения [7]. Различные комбинации услуг предоставляются людям в зависимости от сложных биологических, химических и физических взаимодействий, на которые, в свою очередь, влияет деятельность человека [8, 9]. При этом выделяют четыре основных вида экосистемных услуг:

- обеспечивающие услуги – продукты, получаемые от экосистем (например, пресная вода, топливо, генетические ресурсы);
- регулирующие услуги – выгоды, получаемые от поддержки баланса экосистемных процессов (регулирование климата, эрозии, качества воздуха, очистка воды и сточных вод);
- культурные услуги – нематериальные выгоды, которые люди получают от экосистем посредством духовного обогащения, развития познавательной деятельности, рекреации, эстетического опыта, рефлексии (духовные и религиозные ценности, культурное разнообразие, образовательные ценности, рекреация и экотуризм и др.);
- поддерживающие услуги – услуги, необходимые для поддержки всех других экосистемных услуг (такие, как почвообразование, фотосинтез, круговорот питательных веществ, воды).

В своих исследованиях Д. Е. Румянцев, В. А. Фролова показали, что формирование интегрального ресурса экосистем – общепризнанные на международном уровне экосистемные функции озелененных территорий [9]. К таким функциям относят снижение загрязнения воздушного бассейна, регулирование микрокли-



мата, защиту от шума, снижение загрязнения водного бассейна, защиту от эрозии, сохранение местной флоры и фауны, приобщение населения к природе. В связи с этим улучшение городской зеленой инфраструктуры может уменьшить экологический след городов и улучшить качество жизни горожан.

Многие исследователи (M. Jumaah, Z. M. Abdulrazzaq, H. Atheer, Г. Ю. Морозова, И. Д. Дебелая, И. Л. Бухарина, А. Н. Журавлева, О. Г. Большова и др.) отмечают, что роль растений в городах незаменима: зеленые насаждения позволяют снижать концентрацию пыли и других взвешенных частиц в воздухе городов, при этом процесс транспирации способствует задержанию даже мелких частиц пыли; растения способны очищать воздушный бассейн от вредных выбросов и в рамках собственного метаболизма трансформировать ряд поллютантов до безвредных веществ; улавливая и трансформируя часть загрязняющих атмосферу веществ, озелененные территории ограничивают их проникновение в почву, что позволяет им сохранить в городе функции самоочищения почвы от дождевых стоков, несущих с собой загрязненные вещества, вследствие этого снижается уровень загрязнения вод в канализационной системе и местные водоемы меньше страдают от загрязнения. Древесные растения в массивах способны снижать температуру воздуха в жаркий период, увеличивать влажность воздуха, снижать уровень шума [8; 10–12].

Однако в последнее время все чаще речь заходит и о дополнительных экосистемных услугах озелененных территорий [9]. К ним, по мнению Д. Е. Румянцева и В. А. Фроловой, относят например, депонирование углерода деревьями, продуцирование ими кислорода, получение технического сырья, рекультивацию полигонов по захоронению твердых бытовых отходов, биологические методы борьбы с вредными в урбанизированной среде организмами, стимуляцию творческой активности, а также социокультурную роль зеленых насаждений.

Растения выполняют в городах важнейшие средообразующие, средозащитные и санитарно-гигиенические функции, однако урбофитоценозы, как источники обеспечения экосистемных благ, остаются недостаточно изученными, а видовой состав городских насаждений, хотя признается основой фактических и потенциальных экосистемных услуг, далеко не всегда рассматривается в данном контексте. В связи

с этим целью данного исследования стало выявление вклада наиболее распространенных в озеленении городов видов древесных растений в оказание экосистемных услуг.

Материалы и методы

Исследования проводились в г. Йошкар-Оле, в разных функциональных зонах города (рис. 1): селитебной (ул. Красноармейская, ул. Анциферова), рекреационной (Центральный парк культуры и отдыха им. 30-летия ВЛКСМ) и промышленной (ул. Строителей, ул. Крылова). В пределах указанных районов изучали ассортимент деревьев (взрослые растения генеративного периода онтогенеза), оценивали их жизненное состояние с учетом формы кроны, числа живых и отмерших побегов, характеристики покровных тканей и т.д. [13–14]. Материалы, полученные в ходе морфологической оценки растений, обработали с помощью Microsoft Office Excel 2019.

Далее определяли потенциальное предложение экосистемных услуг в городских насаждениях города, для чего проводили балловую, не денежную оценку экосистемных услуг [4, 15–17], с учетом неблагоприятных эффектов, вызываемых ошибками в проектировании озелененных территорий [9], называемых также «экосистемные медвежьи услуги» (EDS) [18].

По каждой группе экосистемных услуг, оказываемых древесными растениями в урбанизированной среде, разработали балльную шкалу, с максимумом в 10 баллов. В группе обеспечивающих услуг учитывали возможность получения продуктов питания из растений, использование их как источник для создания биофармацевтических препаратов, строительного материала, получение технического сырья из сухостойных и аварийных деревьев, получение из них биотоплива. Рассматривая регулирующие услуги, оценивали вклад растений в регулирование микроклимата, продуцирование кислорода, выделение фитонцидов, обеспечение снегозадержания, защиту от шума, эрозии почв, в снижение загрязнения воздуха и водного бассейна. При оценке вклада зеленых насаждений в культурные услуги оценивали их роль в научных исследованиях, образовании, рекреации, экотуризме, учитывали их эстетическую ценность, стимуляцию творческой активности, вклад в сохранение традиционных религиозных и культурных ценностей,

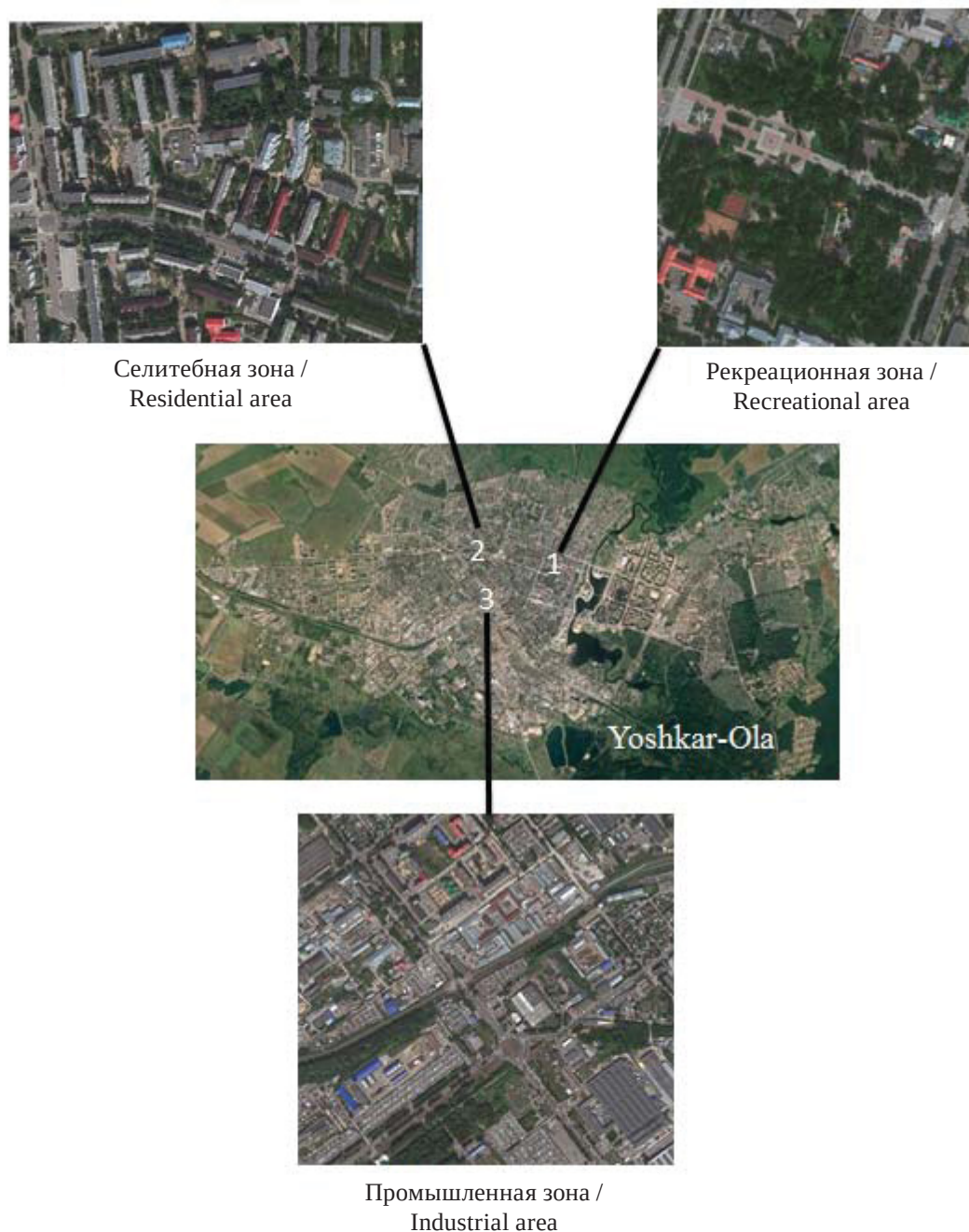


Рис. 1. Районы исследования на карте г. Йошкар-Олы
Fig. 2. Study areas on the map of Yoshkar-Ola

формирование экологической культуры населения. Поддерживающие услуги, влияющие на условия жизни людей косвенно, в течение продолжительного времени, оценивались по вкладу исследованных компонентов экосистем в почвообразование, фотосинтез, круговорот питательных веществ, воды, сохранение флоры и фауны, депонирование углерода.

Также учитывали неблагоприятные эффекты, вызываемые древесными насаждения-

ми в городской среде. К ним отнесли аллергенность растений, аварийность деревьев, наличие сухостоя, способность вызывать пищевые отравления, эксплерентность вида (для интродуцентов), повреждение почвенных покрытий, фундаментов зданий, коммуникаций, нарушение светового режима в жилых помещениях при неправильной посадке, иссушение почвы газонов, создание благоприятных условий для развития фитопатогенов.



Результаты и их обсуждение

В процессе изучения видового состава деревьев различных по функциональному назначению районов г. Йошкар-Олы было установлено, что в рекреационной зоне города ассортимент древесных растений был самым разнообразным, насчитывалось более 20 видов деревьев, 16 из которых встречались и в других районах исследований (таблица). В селитебной и промышленной зонах города ассортимент древесных растений был примерно на треть ниже, чем в рекреационной зоне. Преобладающими

видами были *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *Sorbus aucuparia* – эти деревья составляют основной ассортимент, они наиболее устойчивы в местных экологических условиях (их доля в изученных посадках достигала 36–64%). Из интродуцированных видов наиболее распространены в озеленении города *Acer negundo*, *Picea pungens*, *Thuja occidentalis*. В центральном парке культуры и отдыха (рекреационная зона) отмечен самый большой ассортимент интродуцентов, которые крайне редко встречаются в других частях города (*Juglans mandshurica* Maxim., *Prunus maackii* Rupr., *Cotinus coggygia* Scop. и др.).

Ассортимент деревьев, преобладающих в озеленении исследованных функциональных зон г. Йошкар-Олы, %

Table. Assortment of trees prevailing in the landscaping of the studied functional areas of Yoshkar-Ola, %

Вид / Species	Зона / Area		
	Рекреационная / Recreational	Селитебная / Residential	Промышленная / Industrial
<i>Betula pendula</i> Roth.	13,2	26,8	32,1
<i>Picea pungens</i> Engelm.	8,6	5,9	8,2
<i>Tilia cordata</i> Mill.	13,5	22,6	20,4
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	9,3	16,8	11,6
<i>Thuja occidentalis</i> L.	6,3	8,1	7,2
<i>Acer negundo</i> L.	5,0	5,2	12,1
<i>Quercus robur</i> L.	5,1	0,6	0,6
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	5,0	–	0,3
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	5,2	–	–
<i>Acer platanoides</i> L.	7,3	0,3	0,6
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	5,0	–	–
<i>Pinus sylvestris</i> L.	5,0	0,2	1,2
<i>Padus avium</i> Mill.	5,2	0,6	–
<i>Acer platanoides</i> L.	1,2	5,2	0,2
<i>Malus baccata</i> (L.) Borkh.	1,1	5,1	0,6
<i>Populus x sowietica pyramidalis</i> Jabl.	0,6	–	4,2
Остальные виды / Остальные species	3,4	2,8	0,7

Особую ценность в озеленении городов представляют хвойные растения, обладающие высокими эстетическими качествами, способные выполнять санитарно-гигиенические функции и представляющие эстетическую ценность даже в зимний период [19]. Они произрастают во всех районах исследований, но их суммарная доля в селитебной и промышленной зонах города не велика – 14–15,4%, в то время как в рекреационной достигает 29,9%. Чаще всего в состав городских насаждений входят *Picea pungens*, *Thuja occidentalis*, *Picea abies*, *Larix sibirica*, *Pinus sylvestris*.

Однако следует отметить, что хвойные растения местной флоры (*Picea abies* и *Pinus sylvestris*), которые встречались в озеленении города, характеризовались пониженной жизненностью, по-видимому, вследствие угнетения их более быстрорастущими лиственными деревьями.

В городской среде растения постоянно испытывают интенсивную нагрузку. Она может быть вызвана как антропогенными факторами (загрязнение окружающей среды, высокое рекреационное воздействие и т.п.), так и биотическими (вредители, болезни, угнетение другими



видами). Качество оказываемых экосистемных услуг будет во многом определяться жизненным состоянием того или иного экземпляра растения и насаждений в целом. Если растения будут существенно угнетены и ослаблены, значит,

они не смогут в полной мере реализовать свой потенциал возможных экосистемных услуг. Как показано на рис. 2, подавляющее большинство растений разных функциональных зон относилось к 1-й и 2-й категориям жизненного состо-

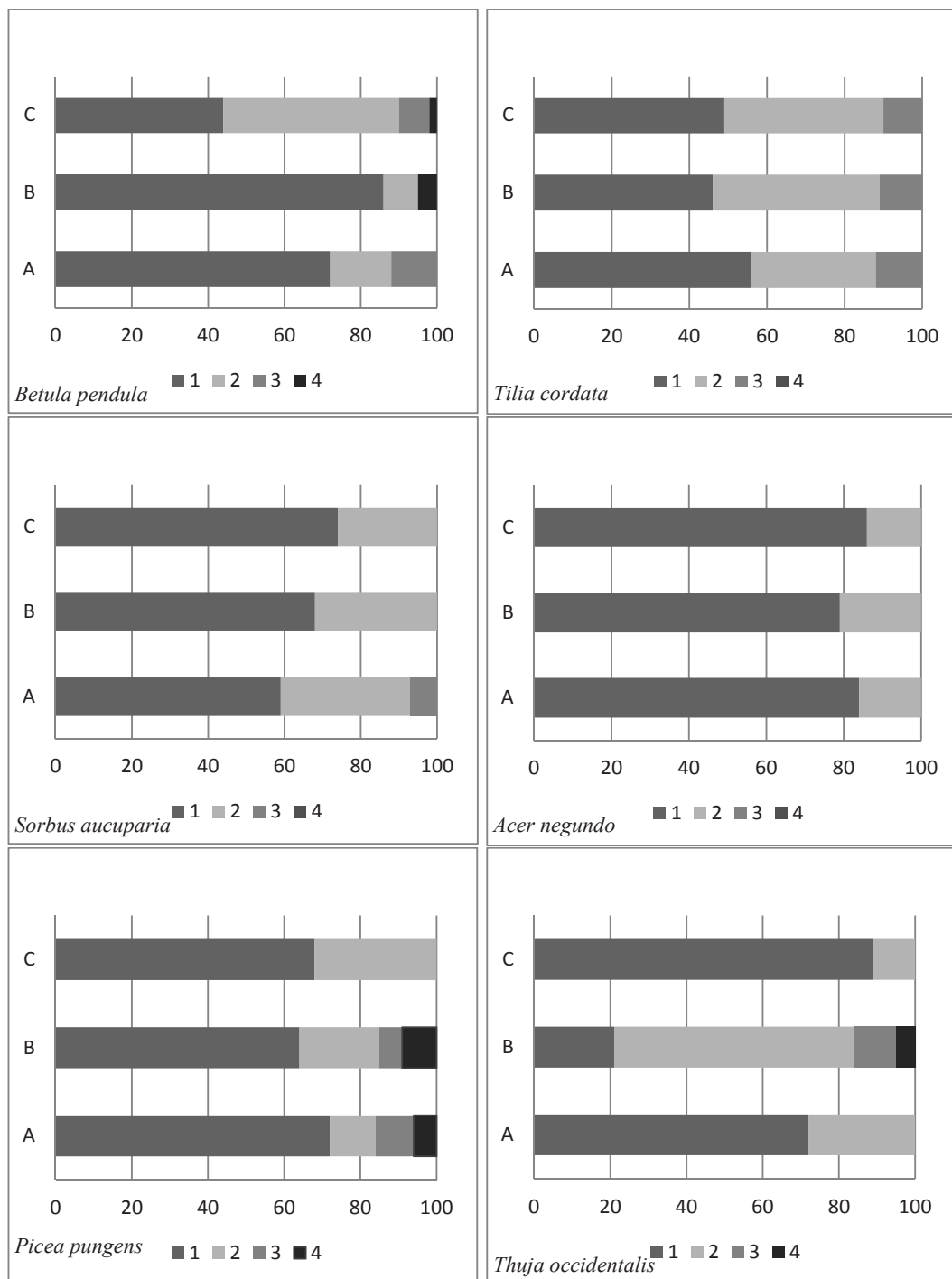


Рис. 2. Жизненное состояние деревьев разных функциональных зон г. Йошкар-Олы (А – рекреационная, В – селитебная, С – промышленная): 1 – здоровые, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – умирающие

Fig. 2. Life condition of trees in different functional areas of Yoshkar-Ola (A – Recreational, B – Residential, C – Industrial): 1 – healthy, 2 – weakened, 3 – severely weakened, 4 – dying



яния – это растения здоровые и имеющие признаки незначительного угнетения, ослабленные действием факторов урбанизированной среды. Сильно ослабленные деревья составляли в общей численности не более 12%, а отмирающие растения были единичны и встречались только у *Betula pendula* (старые генеративные деревья с признаками суховершинности), а также у особей *Picea pungens* и *Thuja occidentalis*, имевших значительные механические повреждения кроны, к которым хвойные весьма восприимчивы.

При исследовании древесных насаждений г. Самары А. С. Заика, Л. М. Кавеленова отмечали, что в городских условиях потенциал возможных экосистемных услуг могут показать только виды, обладающие наибольшей устойчивостью к городским условиям и имеющие наибольший процент здоровых экземпляров [5]. В наших исследованиях высокой жизненностью характеризовались особи *Acer negundo*, *Betula pendula*, *Picea pungens*, *Sorbus aucuparia*. Снижение жизненности деревьев в городских условиях преимущественно обусловлено неправильной посадкой растений, например, медленно растущие хвойные находятся в составе насаждений с быстрорастущими лиственными деревьями. Это обычно вызывает быстрое

угнетение хвойных, особенно в сочетании с механическими повреждениями кроны. Также в городской среде встречается чрезмерно загущенная посадка лиственных деревьев, наблюдается сокращение продолжительности жизни древесных растений, увеличивается их чувствительность к температурным аномалиям. Например, на следующий год после жаркого, засушливого лета 2010 г. в г. Йошкар-Оле наблюдалось повышение числа деревьев с суховершинностью. Все эти факторы требуют пристального внимания к зеленым насаждениям городов, обеспечение грамотной реконструкции и правильного ухода за ними в целях обеспечения наиболее эффективного выполнения ими всех функций.

Балльная оценка экосистемных услуг деревьев в г. Йошкар-Оле показала, что максимальный суммарный балл был рассчитан для *Betula pendula* (рис. 3). Это вызвано не только значимой ролью в обеспечении регулирующих и поддерживающих услуг, но и лидирующим вкладом данного вида в культурные услуги, что обусловлено спецификой региона – для народа мари, проживающего на территории Республики Марий Эл, в г. Йошкар-Оле, это дерево является культовым. Хотя священных

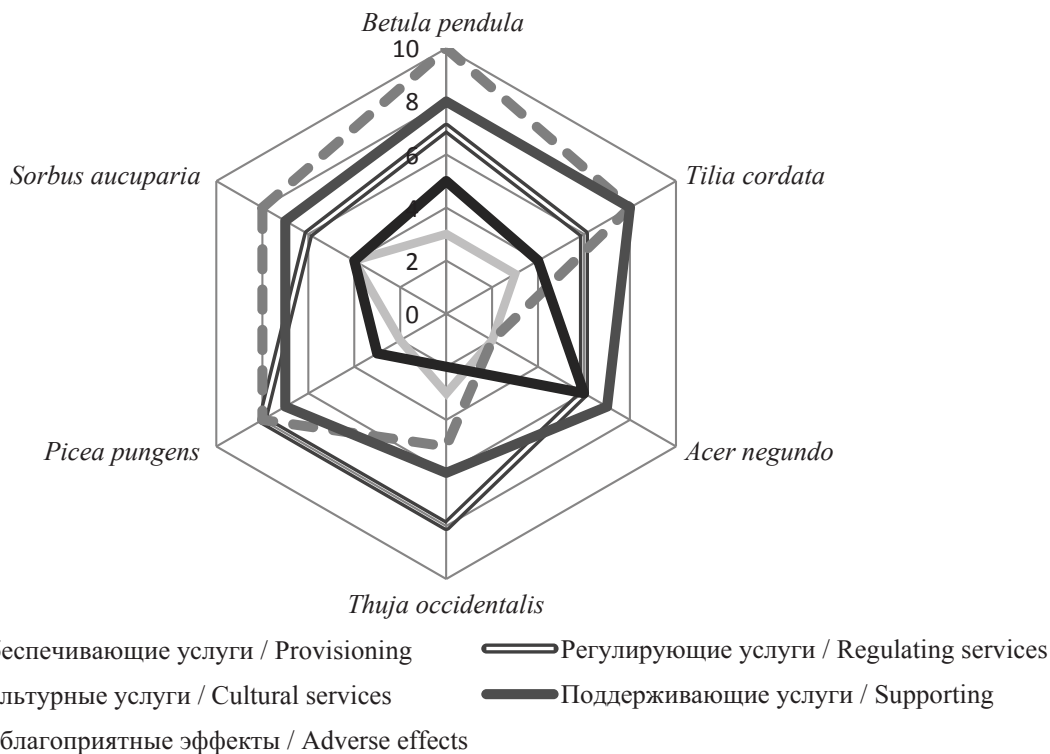


Рис. 3. Балльная оценка древесных растений по оказываемым экосистемным услугам

Fig. 3. Scoring woody plants for ecosystem services provided



березовых рощ в республике не много, и далеко не все жители придерживаются старых религиозных традиций, марийское население относится к березам с особым трепетом, оберегает и почитает их. В городских условиях эти растения выполняют важнейшую социокультурную функцию, связанную с сохранением национальных традиций взаимодействия с лесными ландшафтами, способствуют воспитанию межнациональной толерантности среди жителей города. Тем не менее, от данного вида исходят и негативные эффекты; известно, что большая часть аллергенной пыльцы деревьев в Европе производится деревьями рода *Betula*, а так как именно березы наиболее популярны в декоративных посадках урбанизированной среды, то и повышение заболеваемости аллергией в городах связывают именно с данным фактором [16].

Достаточно высокими суммарными баллами по оказываемым экосистемным услугам характеризовались в исследованных посадках *Tilia cordata*, *Picea pungens* и *Sorbus aucuparia* (преимущественно за счет их высокой способности к депонированию углерода, фитонцидности и эстетической ценности) (см. рис. 3). Тем не менее, следует отметить, что, несмотря на использование рябины в качестве источника лекарственного растительного

сырья (*Sorbi aucupariae fructus*), в городских условиях такое применение недопустимо из-за возможной аккумуляции загрязняющих веществ, при этом плоды рябины служат пищей для многих видов городских птиц. У *Thuja occidentalis* баллы были несколько ниже, преимущественно из-за того, что данный вид обеспечивает меньший вклад в хранение и секвестрацию углерода.

Минимальными суммарными баллами оценивались в исследованных районах особи *Acer negundo*, которые, несмотря на устойчивость к факторам урбанизированной среды, обладали самым значительным негативным эффектом (рис. 4). Данный интродуцированный из Северной Америки вид за пределами естественного ареала за счет эксплерентности усилил свои адаптивные свойства, что привело к конкуренции с аборигенными видами. Из-за неконтролируемого расселения этот вид участвует в формировании фитоценозов с низким уровнем биологического разнообразия, с пониженной устойчивостью. Самый незначительный негативный эффект характерен *Thuja occidentalis* – этот вид реже остальных замечен при создании неблагоприятных условий, что, по-видимому, обусловлено грамотной посадкой данного интродуцента в процессе озеленения урбанизированной среды.

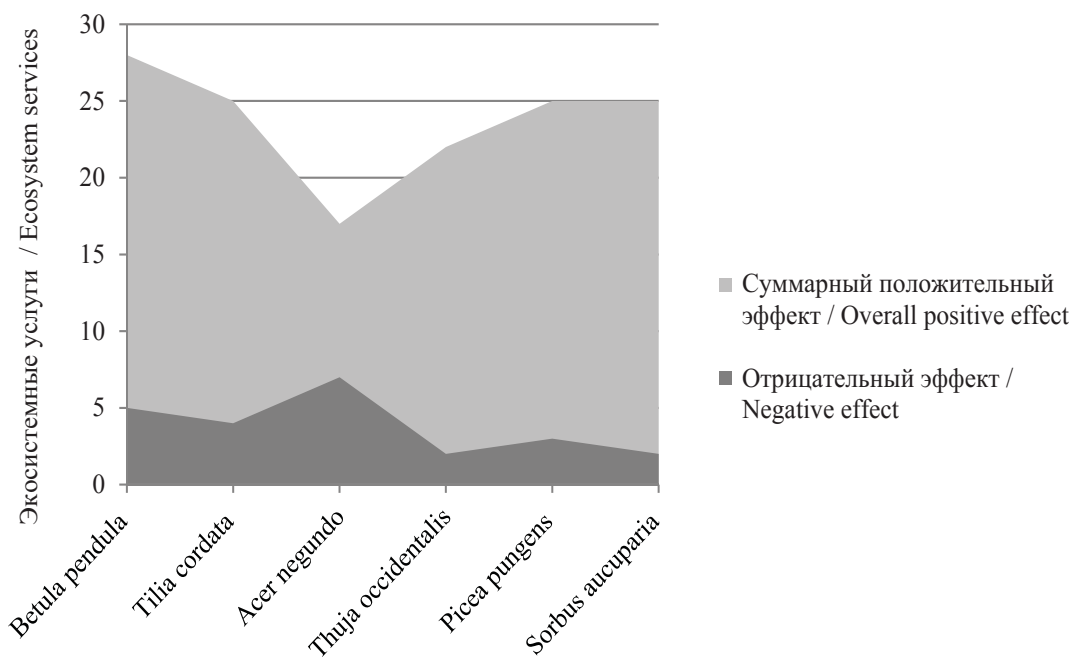


Рис. 4. Соотношение положительных и отрицательных экосистемных услуг древесных растений г. Йошкар-Олы

Fig. 4. Ratio of positive and negative ecosystem services woody plants of Yoshkar-Ola



Таким образом, оказание экосистемных услуг становится важной ролью городских насаждений, но произвести их оценку непросто, так как нематериальные характеристики трудно поддаются количественной оценке. Значительная часть экосистемных услуг городских зеленых насаждений связана с удовлетворением духовных потребностей населения, эстетического восприятия, их рекреационного использования. Востребована их регулирующая функция, улучшающая микроклимат, поддерживающая чистоту воздуха, обеспечивающая благоприятную акустическую среду. При этом все большее внимание уделяется глобальным процессам, в которых участвуют урбофитоценозы (вклад в биогенный круговорот веществ, сохранение биоразнообразия и др.), из которых важнейшим процессом становится секвестрация и хранение углерода деревьями, а следовательно, возрастает роль городских насаждений в сокращении выбросов двуокиси углерода в атмосферу [20–23].

Заключение

Наши исследования показали, что у деревьев, произрастающих в городской среде, есть значительный потенциал в оказании экосистемных услуг. Увеличение площади озелененных пространств общего пользования и улучшение качества насаждений являются наиболее актуальными задачами развития зеленой инфраструктуры города. Необходимо уделить больше внимания ассортименту древесных растений, проводить реконструкцию имеющихся и создание новых насаждений с учетом перспектив в оказании регулирующих, культурных и поддерживающих услуг урбанизированной среде. Самыми высокими перспективами обеспечения устойчивого развития городской среды обладают быстрорастущие деревья, способные длительно произрастать в урбанизированной среде, депонируя углерод, и выполнять важнейшие социальные, экологические, санитарно-гигиенические и эстетические функции. К таким видам относятся как распространенные в озеленении г. Йошкар-Олы деревья (*Betula*, *Tilia*, *Picea*), так и встречающиеся реже, но имеющие при этом существенный для урбофитоценозов потенциал растения (*Pinus*, *Quercus*, *Larix*). Также необходимо разрабатывать меры борьбы с видами, имеющими существенные неблагоприятные

эффекты, ставшие опасными городскими эксплерентами (*Acer negundo*), снижающими биоразнообразие и, следовательно, устойчивость урбоэкосистем, даже несмотря на выполняемые ими регулирующие и поддерживающие экосистемные услуги.

Список литературы

1. Gomez-Baggethun E., Barton D. N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning // Ecological Economics. 2013. Vol. 86. P. 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
2. Gill S. E., Handley J. F., Ennos A. R., Pauleit S. Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure // Built Environment. 2007. Vol. 33, iss. 1. P. 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
3. Kremer P., Andersson E., McPhearson T., Elmqvist T. Advancing the frontier of urban ecosystem services research // Ecosystem Services 12. 2015. April. P. 149–151. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2015.01.008>
4. Mao Q., Wang L., Guo Q., Li Y., Liu M., Xu G. Evaluating cultural ecosystem services of urban residential green spaces from the perspective of residents' satisfaction with green space // Frontiers in Public Health. 2020. Vol. 8. Article 226. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00226>
5. Заика А. С., Кавеленова Л. М. Особенности баланса экосистемных услуг и рисков для древесных растений в насаждениях г. Самары // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11, № 3. С. 41–47. <https://doi.org/10.55355/snv2022113104>
6. Бобылев С. Н., Захаров В. М. Экосистемные услуги. Человек и природа. М. : Департамент природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы ; Центр устойчивого развития и здоровья среды ИБР РАН ; Центр экологической политики России, 2015. 100 с.
7. Бобылев С. Н., Горячева А. А. Идентификация и оценка экосистемных услуг: международный контекст // Вестник международных организаций. 2019. Т. 14, № 1. С. 225–236. <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2019-01-13>
8. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis. Washington : Island Press, 2005. 156 p.
9. Румянцев Д. Е., Фролова В. А. Методологические подходы к изучению разнообразия экосистемных услуг зеленых насаждений в мегаполисе // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 10 (88), ч. 2. С. 28–34. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.028>
10. Jumaah M., Abdulrazzaq Z. M., Atheer H. Role of green spaces and their impact on climate design and ecosystem efficiency // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021. № 761. P. 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/761/1/012055>



11. Морозова Г. Ю., Дебелая И. Д. Зеленая инфраструктура как фактор обеспечения устойчивого развития Хабаровска // Экономика региона. 2018. Т. 14, вып. 2. С. 562–574. <https://doi.org/10.17059/2018-2-18>
12. Бухарина И. Л., Журавлева А. Н., Большова О. Г. Городские насаждения: экологический аспект. Ижевск : Удмуртский университет, 2012. 206 с.
13. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
14. Бебия С. М. Дифференциация деревьев в лесу, их классификация и определение жизненного состояния древостоев // Лесоведение. 2000. № 4. С. 35–43.
15. Hurley P. T., Emery M. R. Locating provisioning ecosystem services in urban forests: Forageable woody species in New York City, USA // Landscape and Urban Planning. 2018. Vol. 170. P. 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.09.025>
16. Salmond J. A., Tadaki M., Vardoulakis S., Arbuthnott K., Coutts A., Demuzere M., Dirks K. N., Heaviside C., Lim S., Macintyre H., McInnes R. N., Wheeler B. W. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment // Environ. Health. 2016. 15 (Suppl. 1). P. 95–111. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>
17. Kenter J. Deliberative and Non Monetary Valuation of Ecosystem Services. Les services ecosystemiques dans les espaces agricoles // Les services ecosystemiques dans les espaces agricoles. Paroles de chercheur(e)s. Institut National de la Recherche Agronomique, 2020. P. 127–138. https://doi.org/10.15454/nwq9-zk60_book_ch14
18. Vaz A. S., Kueffer C., Kull C. A., Richardson D. M., Vicente J. R., Kuhn I., Schroter M., Hauck J., Bonn A., Honrado J. P. Integrating ecosystem services and disservices: Insights from invasive plants // Ecosystem Services. 2017. Vol. 23. P. 94–107.
19. Воскресенская О. Л., Сарбаева Е. В. Эколого-физиологические адаптации туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в городских условиях. Йошкар-Ола : Марийский гос. ун-т, 2006. 130 с.
20. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 3. Зелёная инфраструктура и экосистемные услуги крупнейших городов России / ред. О. А. Климанова. М. : Центр охраны дикой природы, 2021. 112 с.
21. A catalogue of ecosystem services in Slovakia: Benefits to society / eds. P. Mederly, J. Cernecky. Cham : Springer, 2020. 259 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46508-7>
22. Thaweeprawadej P., Evans K. L. Species richness and ecosystem services of tree assemblages along an urbanisation gradient in a tropical mega-city: Consequences for urban design // Urban Forestry & Urban Greening. 2022. Vol. 70. 14 p. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127527>.
23. Linden L., Riikonen A., Setälä H., Yli-Pelkonen V. Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions // Urban Forestry & Urban Greening. 2020. Vol. 49. 9 p. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126633>

References

1. Gomez-Baggethun E., Barton D. N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 2013, vol. 86, pp. 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
2. Gill S. E., Handley J. F., Ennos A. R., Pauleit S. Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. *Built Environment*, 2007, vol. 33, iss. 1, pp. 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
3. Kremer P., Andersson E., McPhearson T., Elmqvist T. Advancing the frontier of urban ecosystem services research. *Ecosystem Services* 12, 2015, April, pp. 149–151. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2015.01.008>
4. Mao Q., Wang L., Guo Q., Li Y., Liu M., Xu G. Evaluating cultural ecosystem services of urban residential green spaces from the perspective of residents' satisfaction with green space. *Frontiers in Public Health*, 2020, vol. 8, article 226. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00226>
5. Zaika A. S., Kavelenova L. M. Features of the balance of ecosystem services and risks for woody plants in the samara region. *Samara Journal of Science*, 2022, vol. 11, iss. 3, pp. 41–47 (in Russian). <https://doi.org/10.55355/snv2022113104>
6. Bobylev S. N., Zaharov V. M. *Ekosistemnye uslugi. Chelovek i pripoda* [Ecosystem Services. Human and nature]. Moscow, Department of Natural Resources Management and Environmental Protection of the City Moscow, Center for Sustainable Development and Environmental Health of the Koltzov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of Sciences, 2015. 100 p. (in Russian).
7. Bobylev S., Goryacheva A. Identification and assessment of ecosystem services: The International Context. *International Organisations Research Journal*, 2019, vol. 14, no. 1, pp. 225–236 (in Russian). <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2019-01-13>
8. *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. Washington, Island Press, 2005. 156 p.
9. Rumyantsev D. E., Frolova V. A. Methodological approaches to studying diversity of ecosystem services of greeneries in metropolitan city. *International Research Journal*, 2019, no. 10 (88), part 2, pp. 28–34. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.88.10.028>
10. Jumaah M., Abdulrazzaq Z. M., Atheer H. Role of green spaces and their impact on climate design and ecosystem efficiency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, no. 761, pp. 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/761/1/012055>



11. Morozova G. Yu., Debelaya I. D. Green infrastructure as a factor for sustainable development of Khabarovsk. *Economy of Region*, 2018, vol. 14, iss. 2, pp. 562–574. <https://doi.org/10.17059/2018-2-18>
12. Buharina I. L., Zhuravleva A. N., Bolyshova O. G. *Gorodskie nasazhdeniya: ekologicheskij aspekt* [Urban plantations: Ecological aspect]. Izhevsk, Udmurt State University Publ., 2012. 206 p. (in Russian).
13. Alekseev V. A. Diagnostics of the vital state of trees and forest stands. *Russian Journal of Forest Science*, 1989, no. 4, pp. 51–57 (in Russian).
14. Bebiya S. M. Differentiation of trees in the forest, their classification and determination of the vital state of forest stands. *Russian Journal of Forest Science*, 2000, no. 4, pp. 35–43 (in Russian).
15. Hurley P. T., Emery M. R. Locating provisioning ecosystem services in urban forests: Forageable woody species in New York City, USA. *Landscape and Urban Planning*, 2018, vol. 170, pp. 266–275. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.09.025>
16. Salmond J. A., Tadaki M., Vardoulakis S., Arbuthnott K., Coutts A., Demuzere M., Dirks K. N., Heaviside C., Lim S., Macintyre H., McInnes R. N., Wheeler B. W. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environ. Health*, 2016, 15 (Suppl. 1), pp. 95–111. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>
17. Kenter J. Deliberative and Non Monetary Valuation of Ecosystem Services. Les services ecosystemiques dans les espaces agricoles. *Les services ecosystemiques dans les espaces agricoles. Paroles de chercheur(es)*. Institut National de la Recherche Agronomique, 2020, pp. 127–138. https://doi.org/10.15454/nwq9-zk60_book_ch14
18. Vaz A. S., Kueffer C., Kull C. A., Richardson D. M., Vicente J. R., Kuhn I., Schroter M., Hauck J., Bonn A., Honrado J. P. Integrating ecosystem services and dis-services: Insights from invasive plants. *Ecosystem Services*, 2017, vol. 23, pp. 94–107.
19. Voskresenskaya O. L., Sarbaeva E. V. *Ekologo-fiziologicheskie adaptatsii tui zapadnoy (Thuja occidentalis L.) v gorodskih usloviyah* [Ecological and physiological adaptations of the western thuja (*Thuja occidentalis* L.) in urban conditions]. Yoshkar-Ola, Mari State University Publ., 2006. 130 p. (in Russian).
20. Klimanova, O. A., ed. *Ecosystem services of Russia: Prototype National Report. Vol. 3. Green infrastructure and ecosystem services of Russia's largest cities*. Moscow, BCC Press, 2021. 112 p. (in Russian).
21. Mederly P., Cernecky J., eds. *A catalogue of ecosystem services in Slovakia: Benefits to society*. Cham, Springer, 2020. 259 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-46508-7>
22. Thaweeppworadej P., Evans K. L. Species richness and ecosystem services of tree assemblages along an urbanisation gradient in a tropical mega-city: Consequences for urban design. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2022, vol. 70. 14 p. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127527>
23. Linden L., Riikonen A., Setälä H., Yli-Pelkonen V. Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, vol. 49. 9 p. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126633>

Поступила в редакцию: 15.03.2023; одобрена после рецензирования 13.02.2024; принята к публикации 19.02.2024
The article was submitted 15.03.2023; approved after reviewing 13.02.2024; accepted for publication 19.02.2024