

УДК 504.064.2:330.15

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ ОЗЕЛЕНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ Г. ЖОДИНО

И. И. СЧАСТНАЯ<sup>1)</sup>, У. А. РОНДАК<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

В исследовании представлены результаты оценки экологического состояния озелененных территорий общего пользования (3 парка, 25 скверов, 2 бульвара) г. Жодино (среднего промышленного города областного подчинения в Минской обл.) и расчетов их экосистемных услуг. Оценка экологического состояния зеленых насаждений выполнена в летний период 2023 г. В границах озелененных территорий, площадью 49,71 га, заложено 30 площадок, в пределах которых обследовано 966 деревьев, преимущественно лиственных пород. Анализ и оценка насаждений проводились на основе полученного набора дендрометрических показателей (изреженность кроны; цвет листьев/хвои; усыхание листьев/хвои; усыхание ветвей, механические повреждения; окорение ствола) с последующим расчетом индекса состояния древостоев и определения категории жизненного состояния насаждений в рамках заложенных площадок. Выявлено четыре категории их состояния: 20 % здоровых, 30 – здоровых с признаками ослабления, 40 – ослабленных и 10 % поврежденных. На основе информации об экологическом состоянии озелененных территорий, а также данных о возрастном и видовом составе насаждений выполнена оценка их экосистемных услуг (интегральная и поэлементная). Современные представления об экосистемных услугах основаны на подходах, согласно которым природная среда функционирует как система, приносящая значительную пользу обществу, включая природные ресурсы. В Республике Беларусь порядок проведения стоимостной оценки экосистемных услуг насаждений и определения стоимостной ценности биологического разнообразия для принятия управленческих решений в экологической сфере определен ТКП 17.02-10-2013 (02120). Расчеты, выполненные в соответствии с этим документом и адаптированные для выявления услуг зеленых насаждений города, показали, что интегральная стоимость услуг зеленых насаждений общего пользования г. Жодино равна 12 271,3 руб./год, при этом основной вклад в эту сумму вносят парки (8 646,7 руб./год). Объем аккумуляции диоксида углерода составляет 418 т/год, здесь также доминируют насаждения парков (281,5 т/год). Полученные результаты исследования позволили дать рекомендации по оптимизации системы озелененных территорий общего пользования г. Жодино.

**Ключевые слова:** экологическое состояние; жизненное состояние; экосистемные услуги; система зеленых насаждений; озелененные территории общего пользования.

**Благодарность.** Работа выполнена в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» подпрограммы «Природные ресурсы и их рациональное использование (2021–2025 гг.) и использована при разработке градостроительного проекта специального планирования «Схема озелененных территорий общего пользования города Жодино» (Акт о внедрении результатов научно-исследовательской работы от 25.10.2023 г.).

### Образец цитирования:

Счастлиная ИИ, Рондак УА. Оценка экологического состояния и экосистемных услуг озелененных территорий общего пользования г. Жодино. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2024;2:24–34.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-2-24-34>

### For citation:

Shchasnaya II, Rondak UA. Assessment of public green spaces' ecological condition and ecosystem services in Zhodino city. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2024;2:24–34. Russian.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-2-24-34>

### Авторы:

**Ирина Иосифовна Счастлиная** – кандидат географических наук; доцент кафедры географической экологии, факультет географии и геоинформатики.  
**Ульяна Андреевна Рондак** – студентка, факультет географии и геоинформатики.

### Authors:

**Irina I. Shchasnaya**, PhD (geography); associate professor at the department of geographical ecology, faculty of geography and geoinformatics.  
[schasnaya@tut.by](mailto:schasnaya@tut.by)  
**Ulyana A. Rondak**, student, faculty of geography and geoinformatics.  
[rondakulyana@gmail.com](mailto:rondakulyana@gmail.com)

## ASSESSMENT OF PUBLIC GREEN SPACES' ECOLOGICAL CONDITION AND ECOSYSTEM SERVICES IN ZHODINO CITY

I. I. SHCHASNAYA<sup>a</sup>, U. A. RONDAK<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University,  
4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus  
Corresponding author: I. I. Shchasnaya (schasnaya@tut.by)

The article presents the results of public green spaces' (3 parks, 25 squares, 2 boulevards) ecological condition assessment in Zhodino city (a medium-sized industrial city of oblast subordination in the Minsk region) and calculations of plantings' ecosystem services. Public green spaces' ecological condition assessment was carried out in the summer of 2023. In the territory of green spaces, covering an area of 49.71 hectares, there were 30 plots, within which 966 trees, mostly deciduous species, were surveyed. The analysis and assessment of the plantings' state were carried out based on a set of dendrometric indicators (crown tracery, leaves/needle color, leaves/needle drying, branch drying, mechanical damage, bark abscission) with subsequent calculation of the stand condition index and determination of the category of the plants' life condition within the established plots. Four categories of their condition were identified: 20 % healthy, 30 – healthy with signs of weakening, 40 – weakened and 10 % damaged. Based on information about green spaces' ecological condition, as well as data on the age and species composition of the plantings, the evaluation of their ecosystem services (integral and elemental) was carried out. Modern concepts of ecosystem services are based on approaches according to which the natural environment functions as a system that brings significant benefits to society, including natural resources. In the Republic of Belarus, the procedure for conducting a cost assessment of plantings' ecosystem services and determining the cost value of biodiversity for making management decisions in the environmental sphere is defined in TCP 17.02-10-2013 (02120). Calculations conducted in accordance with this document and adapted to identify the services of urban green plantings showed that the integral value of the ecosystem services of public green spaces in Zhodino city is 12,271.3 rubles per year, with parks contributing the most to this amount (8,646.7 rubles per year). The carbon dioxide sequestration volume is 418 tons per year, with park plantings also dominating (281.5 tons per year). The results of the research have allowed recommendations to be made for optimizing the system of public green spaces in Zhodino city.

**Keywords:** ecological state; living state; ecosystem services; green spaces system; public green spaces.

**Acknowledgements.** The research was realized within the framework of the State Program of Scientific Research «Natural Resources and Environment» under the subprogram «Natural Resources and their rational use (2021–2025)» and was used in the development of the urban planning project for the special planning scheme «Scheme of public green spaces of Zhodino city» (Implementation report of the research results dated 25.10.2023).

### Введение

Благоприятное экологическое состояние окружающей среды является неотъемлемой частью устойчивого развития современных городов, поэтому так важно всесторонне изучить все ее компоненты и факторы их образования. Одним из таких компонентов являются зеленые насаждения. В городах они занимают значительную площадь, становятся частью городской среды и выполняют незаменимые функции для ее успешного функционирования. Растения играют значительную роль в формировании окружающей человека среды, так как способны изменять ее характеристики в лучшую сторону. Создание зеленых насаждений не только улучшает санитарно-гигиенические условия жизни, но и преобразует архитектуру города, являясь ее незаменимой частью [1]. Часто из-за прогрессирующей урбанизации количество зеленых насаждений уменьшается, а уже существующие активно подвергаются негативному влиянию антропогенной среды, что приводит к ухудшению экологической обстановки города. Поэтому экологическое состояние зеленого фонда – вопрос экологической безопасности населения.

Экосистемные услуги (ЭУ) – это выгоды, которые люди получают от экосистем [2]. Смысл концепции ЭУ состоит в том, чтобы лучше учитывать экологические услуги (бесплатные природные ресурсы) в процессах принятия решений и обеспечить устойчивое землепользование с целью противодействовать перенапряжению и деградации естественных условий жизни. Современные представления об ЭУ основаны на подходах, согласно которым природная среда функционирует как система, приносящая значительную пользу обществу. Экосистемные услуги зеленых насаждений понимаются как полезные для человека и биосферы функции, выполняемые биотой. Наиболее важными среди них являются средообразующие (санирующие, санитарно-гигиенические, климатические) и средозащитные (водо-, почво-, шумозащитные) функции. В контексте экономической теории экосистемные услуги рассматриваются как часть природного капитала. Соответственно, когда эти услуги будут признаны, идентифицированы и экономически оценены, информацию об этом можно использовать в процессе принятия решений различного уровня с целью повышения их эффективности [3].

В качестве объекта исследования экологического состояния и экосистемных услуг зеленых насаждений г. Жодино приняты озелененные территории общего пользования – парки, скверы, бульвары. Для выявления экологического состояния и определения выгоды (ценности) зеленых насаждений города проведены исследования и выполнены соответствующие оценки. С целью изучения экологического состояния зеленых насаждений г. Жодино проведены полевые исследования озелененных территорий, расположенных в разных частях города, для исследования и фиксации жизненных показателей древостоев. Полученные данные послужили основой оценки их экологического состояния. Средством для учета выгоды или ценности экосистемных услуг выбрана монетарная (экономическая) оценка. Именно монетарная оценка все больше принимается в качестве основы в процессе принятия решений на всех уровнях, что показывают множественные исследования этой темы [4].

### Материалы и методы исследования

В структуру озеленения территорий г. Жодино входят насаждения общего пользования, ограниченного пользования и специального назначения. При этом наибольшую ценность для города и его жителей играют насаждения общего пользования: парки, скверы и бульвары суммарной площадью 50,02 га. В настоящее время на территории города находится 3 парка городского значения общей площадью 29,45 га: городской парк культуры и отдыха (14,2 га), парк им. 50-летия БелАЗа (6,75 га), парк у мемориала-комплекса «Матери-патриотки» (8,5 га), 26 скверов городского значения общей площадью 20,07 га и 2 бульвара городского значения общей площадью 0,5 га<sup>1</sup>. Из процентного соотношения объектов озеленения видно, что основную роль в формировании системы насаждений г. Жодино играют парки и скверы.

Наиболее крупные озелененные территории сконцентрированы в западной части города, локализуясь ближе к центру. В восточной же части мозаично расположено большое количество небольших скверов. Северные и южные участки рассматриваемого урбанизированного пространства в целом характеризуются отсутствием озелененных территорий общего пользования. Подобная тенденция в расположении объясняется особенностями застройки города: северные и южные участки заняты жилой усадебной застройкой, в то время как на западе и востоке преобладает многоквартирная жилая и общественно-жилая застройка. В центральных районах города распространена преимущественно производственная застройка с объектами озеленения ограниченного пользования.

Среди древесных пород, преобладающих в озеленении г. Жодино, чаще всего встречаются клен остролистный (*Acer platanoides* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.) и др., большинство из которых входят в перечень рекомендуемых для городского озеленения<sup>2</sup>. По видовому и численному составу преобладают лиственные породы, однако хвойные все же играют значительную роль в структуре насаждений города.

В качестве основы оценки экологического состояния озелененных территорий взята информация об обследовании 966 деревьев, в числе которых клен остролистный (*Acer platanoides* L.) (279), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) (267), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) (119), каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.) (109), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.) (69), тополь канадский (*Populus x canadensis* Moench.) (33), ель европейская (*Picea abies* (L.) Karst.) (17), лиственница европейская (*Larix decidua* Mill.) (14), ель колючая (*Picea pungens* Engelm.) (12), дуб красный (*Quercus rubra* L.) (9), ива белая (*Salix alba* L.) (8), береза повислая (*Betula pendula* Roth) (7), клен серебристый (*Acer saccharinum* L.) (5), ольха черная (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) (4), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) (4), тополь дрожащий (*Populus tremula* L.) (4), тополь черный (*Populus nigra* L.) (3), робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.) (2), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) (1). В возрастном составе осматриваемых насаждений преобладают приспевающие деревья (63,5 %), почти равную долю занимают средневозрастные (15,4 %) и спелые (15,2 %), в меньшей степени представлен молодняк (4,1 %). При полевых исследованиях экологического состояния зеленых насаждений было заложено 30 площадок с не менее чем 30 деревьями на каждой.

В рамках ключевых участков изучались и анализировались следующие показатели: степень изреженности кроны (количество просветов в процентах), наличие усыхания листьев или хвои и ветвей, цвет листьев или хвои, окорение, наличие трещин и других механических повреждений ствола. По совокупности

<sup>1</sup>10.23-00.ПЗ-2 Экологический доклад по стратегической экологической оценке. «Схема озелененных территорий общего пользования г. Жодино». Научно-проектное государственное унитарное предприятие «БЕЛНИИПГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА». Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2023.

<sup>2</sup>Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18.07.2017 № 5-Т. Об утверждении экологических норм и правил. [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21732307p> (дата обращения: 09.03.2024).

данных признаков проводилась оценка, которая включает расчет индекса состояния древостоя и определение категории жизненного состояния отдельных деревьев.

Изучение зеленых насаждений проведено в соответствии со шкалой состояния деревьев В. А. Алексеева, согласно которой выделяется 6 классов насаждений: без признаков ослабления, ослабленные, сильно ослабленные, усыхающие, свежий сухостой, старый сухостой с последующей группировкой состояния древостоя, то есть совокупности деревьев [5]. Категория жизненного состояния древостоя определена на основании расчета индекса состояния древостоя достаточного количества (при наличии не менее 30) случайно отобранных деревьев из доминирующих в насаждении. Расчет индекса состояния древостоев проведен по формуле:

$$L_n = (100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4) / N, \quad (1)$$

где  $L_n$  – относительное жизненное состояние древостоя;  $n_1$  – количество здоровых (без признаков ослабления) деревьев,  $n_2$  – ослабленных,  $n_3$  – сильно ослабленных,  $n_4$  – усыхающих;  $N$  – общее количество деревьев (включая сухостой).

Дальнейшее отнесение насаждений к категориям жизненного состояния осуществлено на основе модифицированной шкалы В. А. Алексеева [5]. Древостои с индексом состояния 90–100 % относятся к категории здоровые, 80–89 % – здоровые с признаками ослабления, 70–79 % – ослабленные, 50–69 % – поврежденные, 20–49 % – сильно поврежденные, менее 20 % – разрушенные.

Для проведения расчета стоимостной оценки экосистемных услуг озелененных территорий общего пользования г. Жодино в рамках уже заложенных участков необходимо было определить породный и возрастной состав насаждений, а также занимаемую ими площадь. Полученные в ходе исследования данные позволили провести интегральную и поэлементную стоимостную оценку экосистемных услуг.

Экономическая оценка экосистемных услуг зеленых насаждений г. Жодино предполагает проведение стоимостной оценки экосистемных услуг – денежного выражения экономической ценности экологических ресурсов, обеспечивающих удовлетворение экологических потребностей общества и сохранение экологического равновесия. Такая оценка базируется на стоимостной оценке экологического ресурса различных типов естественных экологических систем и проводится в соответствии с Техническим Кодексом установившейся Практики (ТКП) 17.02-10-2013 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок определения стоимостной оценки экосистемных услуг и биологического разнообразия (утвержден и введен в действие постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 15 марта 2013 г. № 3-Т)»<sup>3</sup>. В зависимости от целей стоимостной оценки и сферы применения ее результатов используются следующие методические подходы:

– Интегральная оценка применяется для обоснования альтернативных вариантов использования экологических систем и биологических ресурсов. Она базируется на теории экологической ренты и механизме ее выражения – альтернативной стоимости с учетом эффективности воспроизводства в экономической и экологической сферах.

– Поэлементная оценка используется в прикладных исследованиях, связанных с учетом ценности нетоварных экосистемных услуг. Она основана на оценке величины депонирования двуокиси углерода экологическими системами.

Расчет стоимостной оценки экосистемных услуг производится в три этапа:

1. Предварительный этап – получение первичной информации о территории, на которой дается оценка экосистемных услуг.

2. Полевое обследование проводится в случае недостаточности или отсутствия всей необходимой для выполнения расчетов информации.

3. Проведение расчетов стоимостной оценки экосистемных услуг. Расчет интегральной стоимостной оценки экосистемных услуг определяется по формуле:

$$Ц_{экл} = R_{экл} \cdot S_I, \quad (2)$$

где  $R_{экл}$  – текущая (ежегодная) оценка услуг экологической системы I-го типа, руб./га;  $S_I$  – площадь территории I типа экологической системы, га.

Текущая оценка экосистемных услуг ( $R_{экл}$ ) дается в расчете на 1 га по формуле:

$$R_{экл} = R_I \cdot \left( \frac{q_{э}}{q_{экл}} - 1 \right), \quad (3)$$

где  $R_I$  – удельная текущая (ежегодная) оценка (дифференциальная рента) для I типа экологической системы, руб./га;  $q_{э}$  – капитализатор экономической сферы (принят на уровне 0,05);  $q_{экл}$  – капитализатор или

<sup>3</sup>ТКП 17.02-10-2013 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок определения стоимостной оценки экосистемных услуг и биологического разнообразия. Минск: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды; 2013.

коэффициент дисконтирования, значение которого обратно пропорционально сроку воспроизводства потребляемого природного вещества, составляющего основу естественной экологической системы I типа.

Расчет удельной текущей (ежегодной) оценки ( $R_I$ ) для лесных экологических систем осуществляется по формуле:

$$R_I = \frac{C \cdot K_R}{1+p+K_R} \cdot K_{\text{вых}} \cdot K_{\text{хщп}} \cdot K_{\text{пп}} \cdot K_3 \cdot P, \quad (4)$$

где  $C$  – рыночная цена основного продукта природопользования (по пиломатериалам хвойных пород), руб./м<sup>3</sup>. Определяется на основании средних биржевых котировок по итогам торгов (на внешнем рынке) Белорусской универсальной товарной биржи за 6 мес., предшествующих моменту оценки;  $p = 0,3$  – коэффициент эффективности (рентабельности) производства продукции в результате эксплуатации основного продукта природопользования;  $K_R = 0,3$  – коэффициент эффективности воспроизводства основного продукта природопользования;  $K_{\text{хщп}}$  – коэффициент хозяйственной ценности главной древесной породы на оцениваемом участке. В случае равных долей пород в составе насаждений расчет проводится по наиболее ценной (той, у которой  $K_{\text{хщп}}$  выше);  $K_{\text{пп}} = 1,25$  – коэффициент, отражающий стоимость продукции побочного лесопользования;  $K_{\text{вых}} = 0,7$  – коэффициент выхода конечной основной продукции природопользования с единицы природного сырья (по пиломатериалам);  $K_3 = 1$  – коэффициент экологической значимости лесных экологических систем;  $P$  – ежегодная продуктивность ресурса основного продукта природопользования в расчете на 1 га площади, м<sup>3</sup>/га в год.

Поэлементная стоимостная оценка экосистемных услуг проводится в соответствии с углерододепонирующей способностью озелененных экологических систем. Стоимостная оценка ежегодного поглощения диоксида углерода для озелененной экологической системы ( $O_{\text{удл}}$ , руб.) рассчитывается по формуле:

$$O_{\text{удл}} = C_{\text{CO}_2} \cdot A, \quad (5)$$

где  $A$  – аккумуляция диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) лесной экологической системой, т/год;  $C_{\text{CO}_2}$  – средняя мировая цена квоты на выброс 1 т  $\text{CO}_2$ , руб.

Расчет оценки ежегодной углерододепонирующей способности лесов в натуральном выражении ( $A$ , т) проводится по формуле:

$$A = \sum V_{ij} \cdot K_{\text{О.К.}} \cdot K_{\text{п}} \cdot I \cdot K_{\text{ф}} \cdot S_{ij}, \quad (6)$$

где  $V_{ij}$  – объемный показатель среднего изменения запаса стволовой древесины – средний ежегодный прирост (определяется как отношение древесного запаса  $i$ -ой лесообразующей породы  $j$ -ой возрастной группы (в разрезе I и II групп леса) к фактическому возрасту насаждения);  $K_{\text{О.К.}}$  – объемно-конверсионные коэффициенты для перевода объемного запаса (изменения запаса) стволовой древесины (м<sup>3</sup>/га) в массу отдельных фракций фитомассы (т/га) – древесина, кора стволов, ветви, корни, листья, подрост, подлесок, напочвенный покров, т/м<sup>3</sup>;  $K_{\text{п}}$  – переводной коэффициент (для перевода объема компонента лесного ресурса в количество поглощенного углерода, принимается равным 0,5);  $I$  – коэффициент перевода пулов углерода в количество диоксида углерода (принимается на уровне 3,67);  $K_{\text{ф}}$  – коэффициент, учитывающий запас углерода в органическом веществе почвы и мортмассе (принимается на уровне 2,04);  $S_{ij}$  – площадь оцениваемого участка насаждений  $i$ -й породы  $j$ -го типа леса, га.

## Результаты исследования и их обсуждение

Для выявления экологического состояния насаждений парков, доминировавших по площади на территории города, было заложено 3 площадки, в пределах которых обследовано 108 деревьев (рис. 1). Исследования свидетельствуют, что основная часть обследованных деревьев на территории парков г. Жодино характеризуется изреженностью кроны в диапазоне от 10 до 40 %, светло-зеленым и естественным зеленым оттенками листвы и хвои. В меньшей степени встречаются деревья с более высоким показателем ажурности, практически не отмечены деревья с количеством просветов до 10 и от 90 %. Около 20 % осмотренных деревьев характеризуются наличием листвы или хвои с желто-зеленым оттенком, около 5 % – с желтым. Среди нехарактерных окрасок или повреждений листьев отмечено лишь наличие белого налета у 8 % насаждений, что является индикатором имеющегося у деревьев грибкового заболевания – предположительно мучнистой росы. Для большинства осмотренных деревьев характерно отсутствие усыхания листьев или хвои, при этом у более 20 % деревьев присутствуют полностью усохшие листья или хвоя. Причем у 50 % осмотренных деревьев наблюдаются отдельно усохшие ветки. Стоит отметить, что в выборке отмечено лишь около 9 % деревьев с полным отсутствием усыхающих ветвей. Окорение ствола наблюдается у 19,4 % всех осмотренных деревьев. Среди других механических повреждений чаще всего встречаются трещины (73,1 % осмотренных деревьев), наросты (18,5 %) и у 10,2 % деревьев отмечено смолотечение. Более чем у 25 % деревьев механические повреждения отсутствуют.

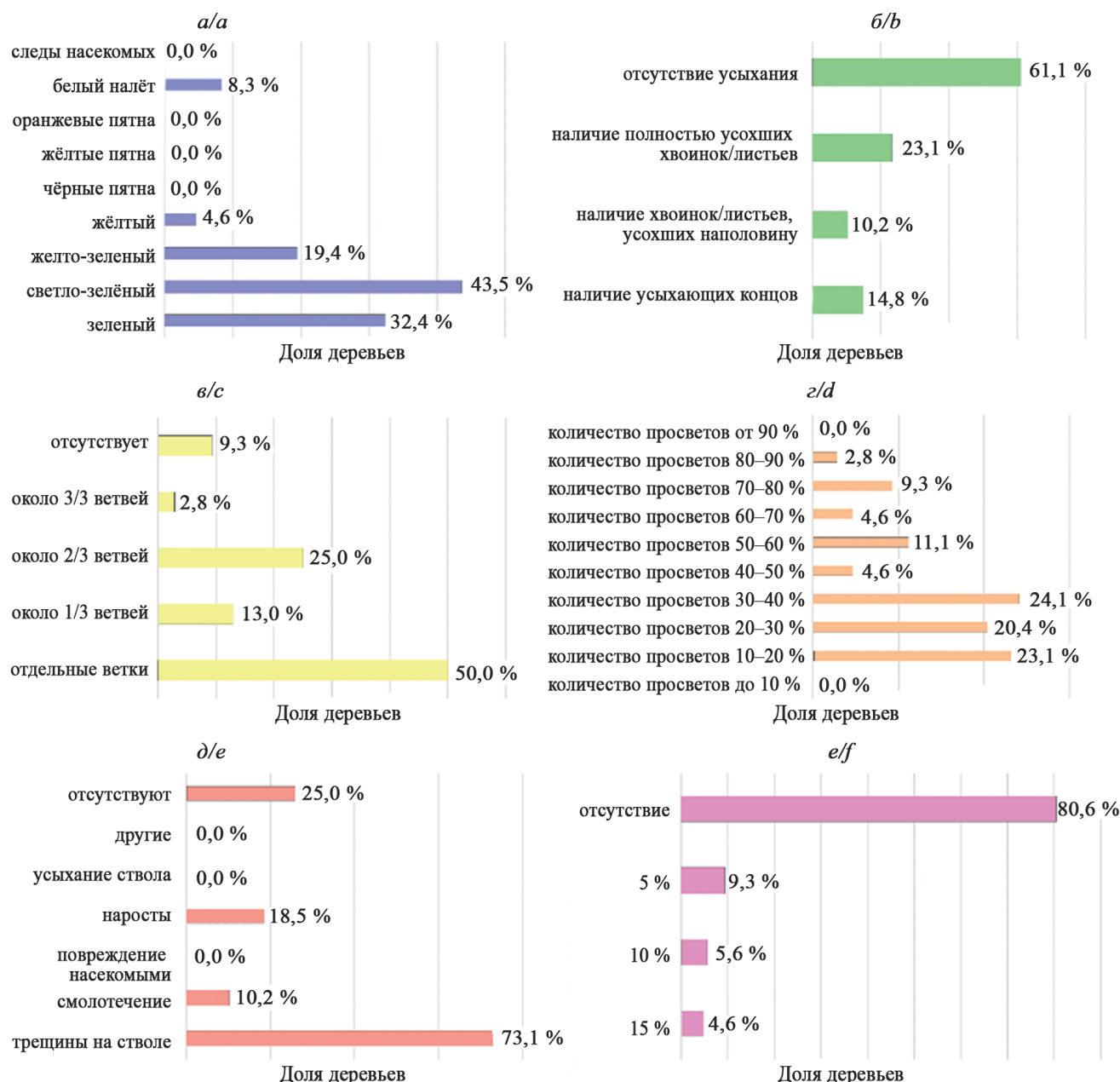


Рис. 1. Дендрометрические показатели деревьев на территории парков г. Жодино: а – цвет хвои/листвы; б – усыхание хвои/листвы; в – усыхание ветвей; г – изреженность кроны; д – механические повреждения ствола; е – окорение ствола

Fig. 1. Dendrometric characteristics of trees within parks' territory of Zhodino city: а – color of leaves/needles; б – drying of leaves/needles; в – drying of branches; г – crown tracery; е – trunk mechanical damages; ф – bark abscission

Для выявления экологического состояния насаждений скверов и бульваров города заложено 27 площадок, в пределах которых обследовано 858 деревьев (рис. 2). Большинство из осмотренных деревьев характеризуется зеленой и светло-зеленой окраской листвы и хвои. Среди повреждений листвы чаще всего встречаются оранжевые пятна – примерно у 13 % деревьев, также высока доля насаждений с желтыми и черными пятнами. Для подавляющего большинства осмотренных деревьев характерно отсутствие усыхания листвы или хвои, однако примерно у 15 % деревьев замечено усыхание кончиков, также у 15 % – усыхание наполовину и еще у 15 % – полное усыхание. Более чем у половины осмотренных деревьев наблюдаются отдельно усохшие ветки.

При этом деревьев с полным отсутствием усыхающих ветвей в выборке более 25 %. Окорение ствола наблюдается примерно у 15 % всех осмотренных деревьев. Среди других механических повреждений чаще всего встречаются трещины, наросты и повреждения насекомыми. Для 40 % деревьев выборки характерно отсутствие каких-либо повреждений ствола.

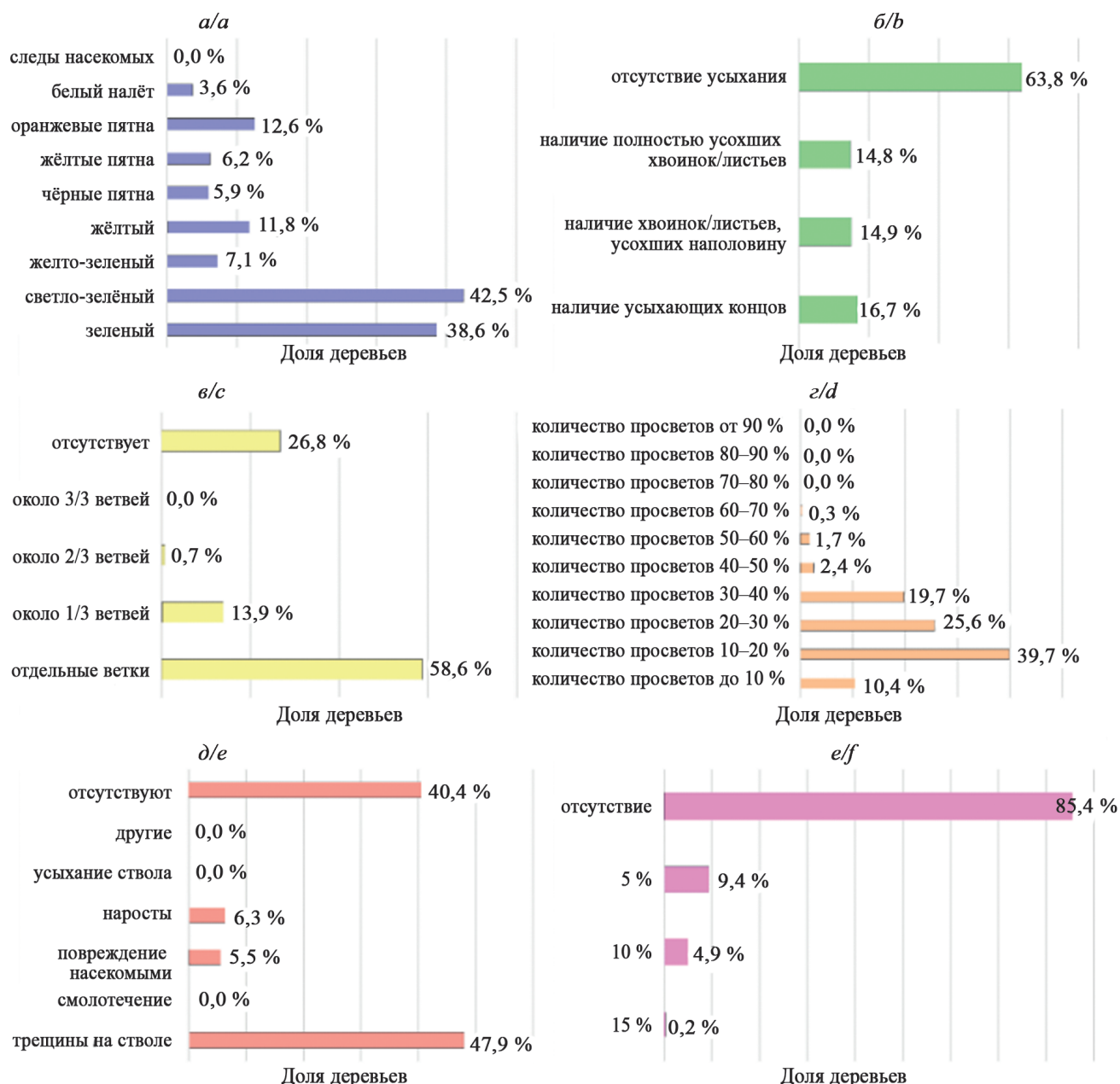


Рис. 2. Дендрометрические показатели деревьев на территории скверов и бульваров г. Жодино: а – цвет хвои/листьев; б – усыхание хвои/листьев; в – усыхание ветвей; г – изреженность кроны; д – механические повреждения ствола; е – окорение ствола

Fig. 2. Dendrometric characteristics of trees within squares and boulevards' territory of Zhodino city: а – color of leaves/needles; б – drying of leaves/needles; в – drying of branches; г – crown tracery; е – trunk mechanical damages; ф – bark abscission

При сравнении полученных показателей парков с данными в скверах и бульварах, прослеживаются следующие различия. Количество деревьев с нормальной окраской листвы в границах разных озелененных территорий суммарно равны. Однако в парках наблюдается больше растительности с нездоровым цветом листвы, при этом в скверах и бульварах велика доля насаждений с различными повреждениями листовой пластины. Данные об усыхании листьев различаются незначительно, а вот усыхание ветвей более распространено среди насаждений парков. Более высокие показатели ажурности кроны также характерны для парков, причем здесь виден большой разброс показателей, в то время как основная масса растительности скверов и бульваров имеет ажурность менее 30 %. Рассмотрение механических повреждений стволов насаждений озелененных территорий показывает его менее благоприятное состояние в парках. При этом показатели окорения ствола на территории парков, скверов и бульваров практически идентичны.

По полученным дендрометрическим показателям выполнен расчет индексов состояния древостоев согласно формуле (1), после чего насаждения были отнесены к различным категориям жизненного состояния.

Группировка полученных результатов расчетов и оценка жизненного состояния насаждений парков г. Жодино по участкам показала, что среди древостоев парков выделено три группы, занимающие равные доли (по 33,3 %) среди изученных: здоровые с признаками ослабления, ослабленные и поврежденные. Среди скверов и бульваров выделено четыре группы: 22,2 % здоровых, 29,6 – здоровых с признаками ослабления, 40,7 – ослабленных и 7,4 % поврежденных. В совокупности оценка жизненного состояния всех зеленых насаждений г. Жодино выявила четыре группы насаждений: 20 % здоровых, 30 – здоровых с признаками ослабления, 40 – ослабленных и 10 % поврежденных (рис. 3).

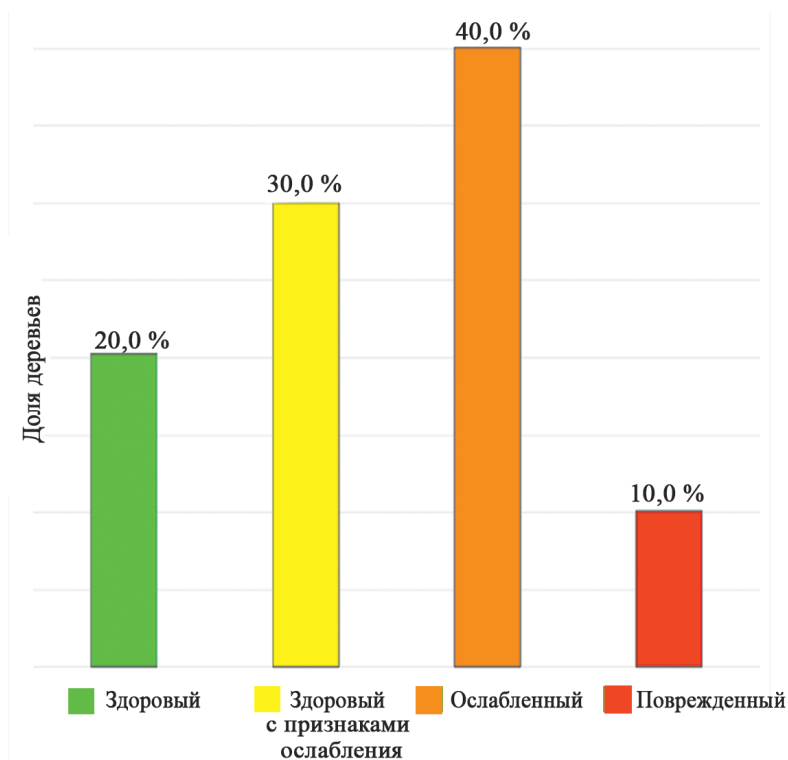


Рис. 3. Жизненное состояние древостоя объектов озеленения общего пользования г. Жодино

Fig. 3. Tree stands living condition index of public green spaces within territory of Zhodino city

Анализ пространственного изменения экологического состояния зеленых насаждений по территории города свидетельствует, что наихудшее состояние растительности характерно для озелененных территорий, расположенных в западной части г. Жодино, где сконцентрировано наибольшее количество ослабленных и здоровых с признаками ослабления древостоев. Такое их состояние объясняется несколькими факторами. Во-первых, своим расположением в зоне общественно-жилой застройки, являющейся основным местом притяжения как местных жителей, так и туристов, посетителей города. Помимо близости к крупной автомобильной трассе Р-53 (Минск – Борисов), данная часть города в целом отличается интенсивным транспортным движением в силу сконцентрированности здесь большого количества объектов общественной застройки. Таким образом, для этой части города характерен значительный выброс загрязняющих веществ и пылевое загрязнение от транспортных объектов, оказывающих негативное воздействие на экологическое состояние зеленых насаждений. На экологическом состоянии может сказываться возраст и видовой состав насаждений. Например, в западной части парка у мемориала-комплекса «Матери-патриотки» распространены каштаны конские (*Aesculus hippocastanum* L.), отличающиеся достаточно низкой устойчивостью к загрязняющим веществам, но высаживаемые благодаря своим высоким декоративным показателям. В восточной же части парка доминируют хвойные, особенно лиственница европейская (*Larix decidua* Mill.) и ель европейская (*Picea abies* (L.) Karst.), отличающиеся большим возрастом насаждений и плохой переносимостью засушливых летних периодов.

Более благоприятное экологическое состояние зеленых насаждений наблюдается в восточной части города. Здесь встречаются озелененные территории со всеми описанными категориями древостоев, однако преобладают здоровые и здоровые с признаками ослабления. Данные объекты озеленения расположены в зоне преобладания жилой застройки: здесь меньше концентрация людей в сравнении с западными районами, слабее транспортный поток и не так много крупных автомобильных дорог.

Таким образом, можно сделать вывод, что экологическое состояние зеленых насаждений г. Жодино оценивается как умеренно удовлетворительное, но требующее улучшения, а также периодического

проведения мониторинга и осуществления различных профилактических работ санитарно-защитного характера при выявлении возникающих проблем. Проведенная оценка экологического состояния насаждений крайне важна для дальнейшей части исследования, так как от состояния растительности будет зависеть эффективность выполняемых ей функций.

Полученная в ходе полевых исследований информация позволила провести интегральную и поэлементную стоимостную оценку экосистемных услуг. Для каждой озелененной территории был получен следующий перечень данных: рассчитаны показатели интегральной стоимостной оценки экосистемных услуг согласно формуле (2), текущей оценки экосистемных услуг согласно формуле (3), удельной текущей оценки для лесных экологических систем согласно формуле (4). По результатам расчетов, интегральная оценка экосистемных услуг озелененных территорий общего пользования г. Жодино составляет 12 271,3 руб./год (в долларовом эквиваленте 3 760,86 USD/год), в том числе 8 646,7 руб./год (70,5 %) вклад парков; 3 219,7 руб./год (26,2%) – скверов; 404,9 руб./год (3,3 %) – бульваров.

Согласно формулам (5) и (6), проведен расчет поэлементной стоимостной оценки экосистемных услуг озелененных территорий общего пользования г. Жодино, которая позволила установить объемы аккумуляции диоксида углерода лесными экосистемами и определить их рыночную стоимость. По результатам расчетов поэлементная стоимостная оценка зеленых насаждений г. Жодино составляет 42 637,8 руб./год (13 067,46 USD/год), в том числе 28 716,1 руб./год – парки (67,3 %); 12 746,5 руб./год – скверы (29,9 %); 1 175,2 руб./год – бульвары (2,8 %).

При этом расчеты показали, что объем аккумуляции диоксида углерода составляет 418 т/год, (в том числе 281,5 т/год зелеными насаждениями парков; 125,0 т/год – скверов; 11,5 т/год – бульваров). Анализ пространственного распространения аккумуляции диоксида углерода показал, что наибольший вклад в реализацию экосистемных услуг вносят объекты озеленения, расположенные в западной части города, и парки, что объясняется большой площадью их насаждений (рис. 4).

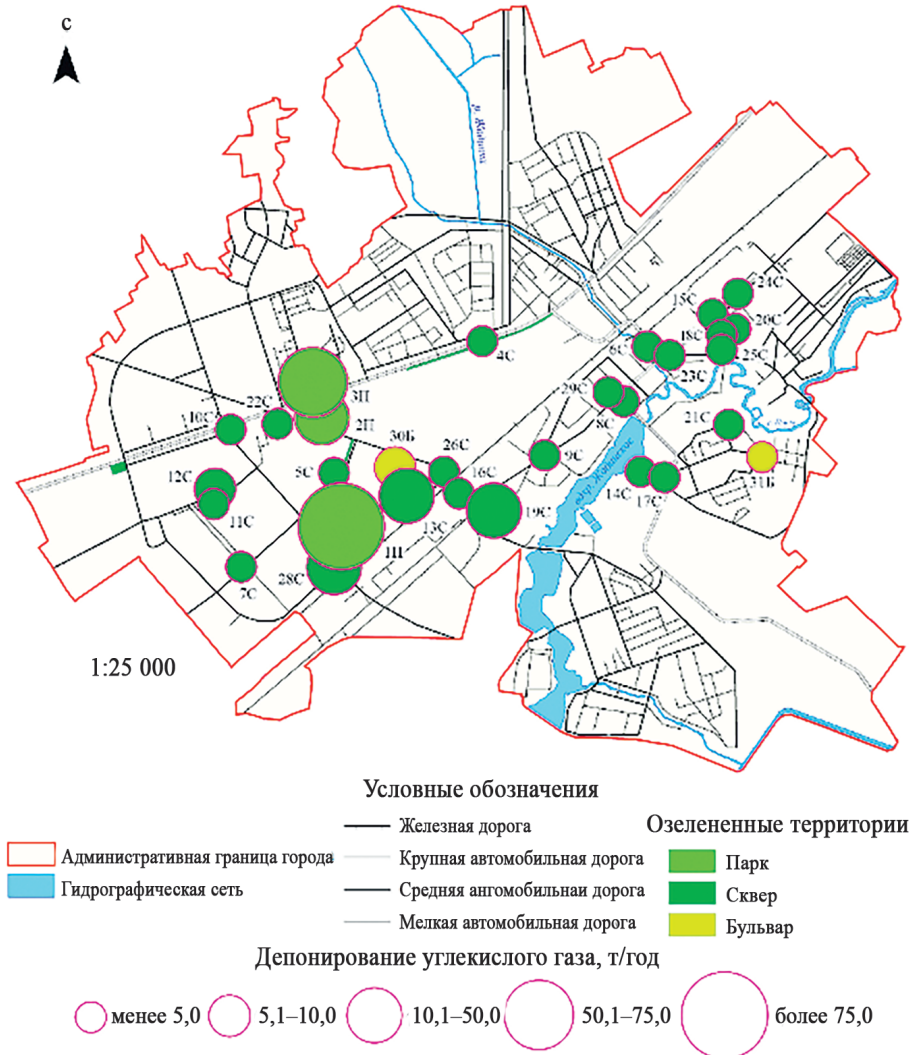


Рис. 4. Оценка депонирования углекислого газа зелеными насаждениями г. Жодино (т/год)

Fig. 4. Assessment of carbon dioxide deposition by green spaces within territory of Zhodino city (t/year)

Оценка озелененных территорий позволила выявить отдельные скверы, не отличающиеся большими площадями насаждений, но при этом вносящими значительный вклад в формирование интегральной стоимости экосистемных услуг и отдельно – объемы аккумуляции диоксида углерода. В обоих случаях подобные высокие показатели объясняются породным и возрастным составом насаждений, которые важны при расчетах стоимости их экосистемных услуг.

### Заключение

В исследовании представлены результаты оценки экологического состояния зеленых насаждений г. Жодино и расчетов стоимостной оценки их экосистемных услуг, которые выполнены на основе изучения дендрометрических показателей древостоев в процессе полевых исследований и дальнейших расчетов их жизненного состояния по методике В. А. Алексеева.

Выявлено, что состояние всех зеленых насаждений озелененных территорий общего пользования г. Жодино оценивается как умеренно удовлетворительное, но требующее тщательного контроля. Выполненная оценка экологического состояния зеленых насаждений показывает, что хотя при соответствующем уходе они будут способствовать уменьшению экологических рисков и улучшению здоровья городского населения, однако сама система озелененных территорий нуждается в оптимизационных мероприятиях. В первую очередь необходимо обратить внимание на насаждения западной части города, где отмечена наибольшая концентрация ослабленных и поврежденных древостоев. Основу озеленения данной территории составляют парки, состояние которых можно улучшить проведением ряда санитарно-защитных работ по уходу за растительностью, формированием устойчивого комплекса зеленых насаждений. Устойчивость в данном случае будет достигаться двумя путями. Во-первых, необходима оптимизация породного состава. Обилие неустойчивых к загрязняющим веществам каштанов конских (*Aesculus hippocastanum* L.) и неустойчивых к жарким летним температурам хвойных насаждений лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill.) и ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) необходимо заменить на более подходящие для городских условий виды. Так, наиболее устойчивые комплексы можно формировать при высаживании липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) или гинкго двулопастного (*Ginkgo biloba* L.)<sup>4</sup>. Во-вторых, в парках крайне необходима оптимизация возрастного состава: чем старше становится дерево, тем сильнее оно подвергается различным заболеваниям, теряет устойчивость и эстетические качества. Именно поэтому важно проводить посадку более молодых насаждений, тем самым обеспечивая благоприятное состояние озелененных территорий в будущем.

Большой блок санитарно-защитных работ необходим для насаждений скверов и бульваров. Такие, небольшие по площади насаждения, хуже справляются с неблагоприятными факторами городской среды из-за отсутствия большого количества периферийных посадок, что приводит к ухудшению их экологического состояния намного быстрее. Помимо санитарных обрезок или очистки от пыли посредством опрыскивания водными растворами осмотренная растительность ряда скверов нуждается в проведении работ по борьбе с вредителями и возбудителями болезней. Отметим, что насаждения скверов и бульваров должны состоять из наиболее устойчивых к загрязняющим веществам растений. При этом важно упомянуть и необходимость использования солевыносливого ассортимента: клена остролистного (*Acer platanoides* L.), березу повислую (*Betula pendula* Roth) и березу пушистую (*Betula pubescens* Ehrh.)<sup>5</sup>.

Насаждения восточной части отличаются более благоприятным экологическим состоянием. Однако здесь и в центральных районах города выделяется иная проблема – недостаточное количество зеленых насаждений и не достигающая нормативных показателей обеспеченность населения озелененными территориями. Наблюдающаяся в городе неравномерность распределения насаждений создает видимость соблюдения нормативов по озеленению. Обеспеченность жителей г. Жодино озелененными территориями общего пользования составляет 7,82 м<sup>2</sup>/чел, при нормативе 3–5 м<sup>2</sup>/чел для объектов районного значения и 6–8 м<sup>2</sup>/чел для объектов городского значения<sup>6</sup>. Однако в отдельных частях города, особенно в центральных, данные показатели на самом деле намного ниже.

Решение данной проблемы может быть произведено также посредством внедрения одной из инновационных градостроительных практик – вертикального озеленения. Это позволит не только увеличить показатели озелененности территории и обеспеченности зелеными насаждениями населения, но и улучшить экологическое состояние городской среды. Такая форма зеленого строительства использует

<sup>4</sup>Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 18.07.2017 № 5-Т. Об утверждении экологических норм и правил. [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21732307p> (дата обращения: 09.03.2024).

<sup>5</sup>Там же.

<sup>6</sup>ТКП 45-3.01-116-2008 (02250). Технический кодекс установившейся практики. Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки. Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь; 2018.

в качестве озеленяемой основы вертикальные поверхности зданий, что позволяет расширить систему озеленения без выделения дополнительной территории.

Оценка экосистемных услуг зеленых насаждений выполнена в соответствии с ТКП) 17.02-10-2012 (02120) «Порядок определения стоимостной оценки экосистемных услуг и биологического разнообразия». Интегральная стоимостная оценка экосистемных услуг зеленых насаждений г. Жодино – 12 271,3 руб./год (3 760,86 долл./год).

Поэлементная стоимостная оценка позволила оценить объемы аккумуляции диоксида углерода зелеными насаждениями и определить их рыночную стоимость. Установлено, что объем аккумуляции диоксида углерода зелеными насаждениями составляет 418 т/год, а его рыночная стоимость определена в 42 637,8 руб./год (67,46 долл./год).

Выполненные оценки экологического состояния и экосистемных услуг зеленых насаждений в г. Жодино подтверждают, что они имеют существенный экологический и ассимиляционный потенциал, который, однако, недостаточен для рассматриваемого промышленного города с населением 64 тыс. чел. (по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь на 01.01.2023 г.) и нуждается в существенном увеличении.

### Библиографические ссылки

1. Тетиор АН. *Городская экология*. Москва: Издательский центр «Академия»; 2008.
2. Тихонова ТВ. Экосистемные услуги: роль в региональной экономике и подходы к оценке. *Известия Коми НЦ УрО РАН*. 2016;3:134–144.
3. Directorate-General for Environment (European Commission). Mapping and assessment of ecosystems and their services. European Union, 2013. DOI: 10.2779/12398.
4. Karsten Grunewald, Ralf-Uwe Syrbe, Ulrich Walz, Benjamin Richter, Gotthard Meinel, Hendrik Herold, Stefan Marzelli. Germany's Ecosystem Services – State of the Indicator Development for a Nationwide Assessment and Monitoring. *One Ecosystem*. 2017;2(3):1–18. DOI: 10.3897/oneeco.2.e14021.
5. Алексеев ВА. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. *Лесоведение*. 1989;4:51–57.

### References

1. Tetior AN. *Gorodskaya ekologiya* [Urban ecology]. Moscow: Publishing Center «Academia», 2008. Russian.
2. Tikhonova TV. Ecosystem services: role in the regional economy and approaches to assessment. *Izvestiya Komi NC UrO RAS*. 2016;3:134–144. Russian.
3. Directorate-General for Environment (European Commission). Mapping and assessment of ecosystems and their services. European Union, 2013. DOI: 10.2779/12398.
4. Karsten Grunewald, Ralf-Uwe Syrbe, Ulrich Walz, Benjamin Richter, Gotthard Meinel, Hendrik Herold, Stefan Marzelli. Germany's Ecosystem Services – State of the Indicator Development for a Nationwide Assessment and Monitoring. *One Ecosystem*. 2017;2(3):1–18. DOI: 10.3897/oneeco.2.e14021.
5. Alekseev VA. Diagnostics of the vital condition of trees and stands. *Lesovedenie*. 1989;4:51–57. Russian.

Статья поступила в редколлегию 14.04.2024.  
Received by editorial board 14.04.2024.