

Научная статья

УДК 574.2(574.4)

DOI: 10.32516/2303-9922.2024.50.6

Экомониторинговые показатели видов общественных городских зеленых пространств в Брянской области

Виктория Михайловна Нестеренко¹, Елена Владимировна Ноздрачева²

^{1,2}Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского, Брянск, Россия

¹vivo.mih@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7153-4500>

²nozdz-ev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4061-7868>

Аннотация. Обзор показателей древесных и кустарниковых видов растений для обновления экомониторинговых баз состояния элементов общественных зеленых зон и сред обитания урбоэкосистем приведен на основе исследований, выполненных в июне и первой половине июля 2022 и 2023 гг. на территории Брянской области в условиях изменения естественных составляющих городских экосистем. Цель работы — выявить показатели видов в комплексе зеленых насаждений городских поселений Брянской области в рамках общегосударственной системы экомониторинга. В ходе исследования были установлены фоновые виды ассортимента древесных и кустарниковых видов, наиболее перспективные при озеленении городских парков и скверов с учетом эколого-биологических критериев устойчивости: *Populus nigra* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Sorbus aucuparia* L., *Betula pendula* Roth. Выявлен температурный порог коагуляции белков цитоплазмы при действии высоких и низких температур как основного фактора, определяющего устойчивость видов в условиях лимитирующих факторов климата у лиственных и хвойных пород деревьев. На основе данных по фитонцидной активности определена роль санитарно-гигиенической функции зеленых насаждений. Представлена оценка пылеулавливающей способности и жизненного состояния насаждений древесных и кустарниковых растений.

Ключевые слова: экомониторинг, фитонцидная активность, устойчивость к действию высоких и низких температур, пылеаккумулирующая эффективность, жизненное состояние насаждений.

Для цитирования: Нестеренко В. М., Ноздрачева Е. В. Экомониторинговые показатели видов общественных городских зеленых пространств в Брянской области // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2024. № 2 (50). С. 103—120. URL: http://vestospu.ru/archive/2024/articles/50/6_50_2024.pdf. DOI: 10.32516/2303-9922.2024.50.6.

Original article

Ecomonitoring indicators of species in urban public green spaces in the Bryansk region

Victoria M. Nesterenko¹, Elena V. Nozdracheva²

^{1,2}Bryansk State University named after Academician I. G. Petrovsky, Bryansk, Russia

¹vivo.mih@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7153-4500>

²nozdz-ev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4061-7868>

Abstract. The article gives a review of tree and shrub species indicators to update ecomonitoring databases of public green areas elements and habitats of urban ecosystems. The review is made on the basis of the studies carried out in June and the first half of July 2022 and 2023 on the territory of the Bryansk region under changes in the natural components of urban ecosystems. The purpose of the work is to identify species indicators in green spaces of urban settlements in the Bryansk region within the framework of the national environmental monitoring system. The study identified the background species of the assortment of tree and shrub species considered to be the most

© Нестеренко В. М., Ноздрачева Е. В., 2024

promising for landscaping city parks and public gardens based on ecological and biological sustainability criteria: *Populus nigra* L., *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Sorbus aucuparia* L., *Betula pendula* Roth. The temperature threshold for the coagulation of cytoplasmic proteins under the influence of high and low temperatures has been identified as the main factor determining the stability of species under limiting climate factors in deciduous and coniferous trees. The role of the sanitary and hygienic function of green spaces is determined through data on phytoncidal activity. An assessment of the dust collection capacity and vital state of tree and shrub plantations is presented.

Keywords: ecomonitoring, phytoncidal activity, resistance to high and low temperatures, dust-accumulating efficiency, vital state of plantings.

For citation: Nesterenko V. M., Nozdracheva E. V. Ecomonitoring indicators of species in urban public green spaces in the Bryansk region. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*, 2024, no. 2 (50), pp. 103—120. DOI: <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2024.50.6>.

Введение

Урбанизация как закономерный и социально обусловленный процесс помимо положительных черт характеризуется обострением экологической ситуации, поскольку способствует изменению естественных составляющих урбозкосистем. В поселениях с различным числом проживающего населения процесс преобразования среды, обусловленный интенсивностью и характером урбанизации, в первую очередь отражается на качестве, количественном составе и устойчивости зеленых насаждений, а также ландшафтов [2; 21; 45]. Городская среда, являясь сосредоточением лимитирующих экологических факторов различного происхождения, не регулирует самостоятельно свой гомеостаз, что в дальнейшем вызывает ухудшение качества компонентов среды, в том числе и зеленых насаждений, их санитарно-гигиенических, декоративных и эстетических функций [40; 44; 46; 48—50].

Реализация стратегии озеленения пространств в поселениях человека — неотъемлемый элемент в системе мероприятий по оптимизации средообразующих функций городской среды. В современном городе эта система необходима для обогащения визуальных качеств, для оздоровления местообитаний, для рекреации [20; 21; 26; 45]. «Зеленая инфраструктура» в виде зеленых экранов или зеленых стен выполняет особую роль в экосистемных услугах городской среды: регулировании температуры, газового состава атмосферы, особенно в городских каньонах [6].

Экологические факторы действуют совместно, но в ряде случаев один фактор преобладает над другими и является определяющим в ответных реакциях организмов. Температура, изменяющаяся в широком диапазоне, — один из основных экологических факторов на Земле. Сернистый газ — самый распространенный загрязнитель воздуха в городах, при его воздействии на растения отмечается снижение фотосинтеза, повреждение устьичного аппарата [50]. Поэтому представляется возможным и необходимым выявление индивидуальной устойчивости растений в искусственных экосистемах гетеротрофного характера, где эти виды автотрофов являются единственными продуцентами [22—24].

Город Брянск, административный центр Нечерноземья РФ, имеет более чем 1000-летнюю историю, расположен на возвышенной правобережной и низменной левобережной частях площадью в 230 км². В староосвоенном регионе и непосредственно в городах — районных центрах и Брянске — селитебные участки занимают значительную территорию, однако площадь зеленых массивов и лесопарков за последние 50 лет уменьшилась более чем на четверть, ярко наблюдается процесс антропогенной трансформации растительного покрова — сокращения видового разнообразия аборигенной части флоры [29].

В Брянске как самом крупном индустриальном городе области значительно трансформированы почвы (урбики) и атмосферный воздух за счет поллютантов транспортного

и промышленного комплекса. Самый значительный источник выбросов — АО «Мальцовский портландцемент» [29]. В соответствии со Стратегией социально-экономического развития города Брянска на период до 2025 года для развития природного и географического потенциала урбоэкосистемы развернута подпрограмма «Формирование современной городской среды Брянска» (2017 г.), в том числе и для конструирования придорожных зеленых насаждений, внутриселитебных посадок с оптимальными эколого-биологическими, санитарно-гигиеническими и санитарными функциями. Настоящими исследованиями решаются значимые вопросы сохранения, реконструкции и восстановления зеленых массивов, в том числе и термофильных дубрав как наиболее уязвимых к антропогенному давлению сообществ. Таким образом, для поселений староосвоенного региона Нечерноземья РФ в Брянской области начато создание базы биомониторинга в виде реестра элементов зеленых насаждений, позволяющей определить перечень мероприятий по улучшению их состояния, оценить обеспеченность насаждениями населенных пунктов и выработать дальнейшую программу действий по развитию ассортимента деревьев и кустарников [28; 34].

Благодаря положительному эффекту улучшения качества компонентов среды обитания, защиты от шума и смягчения последствий экстремальных погодных явлений в зеленых зонах городов уменьшаются экологические риски, характерные для урбанизированной среды. Кроме того, эти меры помогают поддерживать и улучшать здоровье и благополучие граждан, создавая условия для физической активности, релаксации, снижения стресса. Положительные эффекты включают улучшение психического и физического состояния, когнитивных функций и иммунитета, появление субъективных ощущений бодрости, восстановления и жизненной силы [1; 20; 21; 32; 35; 41].

Увеличение зеленых насаждений на общественных и частных землях, а также вертикальное и горизонтальное озеленение зданий делают город более практичным и комфортным за счет эколого-эстетических и санитарно-гигиенических функций растений. Исследования восприятия окружающей среды помогают в создании мест, отвечающих потребностям горожан в контакте с природными элементами [4; 5; 7; 22; 24; 26; 43; 45].

Индивидуальная устойчивость древесно-кустарниковых растений на территории городов Брянской области ранее не изучалась, поэтому для мониторингового реестра мы определили круг задач и подобрали информативные методики.

Цель исследования — выявить показатели комплекса видов зеленых насаждений в городских поселениях Брянской области в рамках общегосударственной системы экомониторинга.

Для реализации поставленной цели был поставлен ряд практических задач:

1. Определить видовой состав растений, используемых при озеленении городских парков и скверов, обладающих наибольшей фитонцидной активностью.
2. Установить видовой состав растений, устойчивых к действию высоких и низких температур, путем выявления порога коагуляции белков цитоплазмы у хвойных и лиственных видов.
3. Выявить видовой состав древесных и кустарниковых растений, обладающих наивысшей пылеулавливающей способностью.
4. Рассмотреть жизненное состояние насаждений зеленых зон на урбанизированных территориях.

Материалы, методы и методики исследований

Растительные сообщества и виды обследовались маршрутным методом в июне и первой половине июля 2022 и 2023 гг. в городских поселениях Брянской области: пгт Погар, Погарский район (Центральный парк), г. Дятьково, Дятьковский район (сквер Партизан-

ской славы), г. Карачев, Карачевский район (Городской парк), г. Брянск (парк Юность, сквер Круглый, сквер Треугольный), придорожные посадки в четырех административных районах крупной урбозащитной системы. Проводилась визуальная оценка состояния деревьев и устанавливалась принадлежность каждого экземпляра к определенной категории по рекомендациям государственного экомониторинга [27; 34].

В ходе мониторинговых исследований насаждений учитывались: тип посадки древесных и кустарниковых видов, число особей, высота (высотомером), диаметр ствола (мерной вилкой), кроны, занимаемая площадь. Степень сомкнутости крон оценивалась глазомерно в десятых долях от единицы. Состояние насаждений определялось по утвержденным признакам: «хорошее», «удовлетворительное», «неудовлетворительное» [15].

Возраст особей популяции определялся в соответствии со шкалой возрастных групп (классов возрастов), учитывались и данные разработанных онтогенетических таблиц возрастов деревьев и кустарников. Жизненное состояние насаждений из древесно-кустарниковых растений оценивалось по методике В. А. Алексева [1]. Производилось описание видов, произрастающих вдоль транспортных магистралей, в скверах, парках. Видовой состав растений приведен в соответствии с чек-листом П. Ф. Маевского [14].

В лабораторных условиях исследовали температурный порог коагуляции белков в клетке, определяли фитонцидную активность, отмечали пылеулавливающую способность растений методом аппликаций [12]. На основе этих показателей наиболее полно выявляются и оцениваются критерии устойчивости видов зеленых насаждений по отношению к изменяющимся погодным условиям, антропогенным стрессовым факторам.

Исследования влияния высоких и низких температур проводились в июне и первой половине июля 2022 и 2023 гг., когда в листьях образуется достаточное количество хлорофилл-протеида и в побеге не успевают накопиться криопротекторы. Температурный порог коагуляции белков цитоплазмы различных видов определяли по Л. И. Вигорову [16]. Для навески биомассы листьев древесных и кустарниковых видов определяли температурный порог коагуляции белков при нагревании суспензии. Появление полного некроза свидетельствовало о низкой устойчивости растения к стрессовому экологическому фактору [48; 49]. Все опыты проводили в пятикратной повторности. В результате был установлен ряд устойчивости разных видов древесных растений к высоким температурам.

Оценку фитонцидной активности растений осуществляли в соответствии с рекомендациями А. М. Гродзинского и исследованиями Н. В. Цыбули [8; 35]. Так, биомассу свежих листьев исследуемых растений с различной фитонцидной активностью испытывали на экспериментальных объектах — черных муравьях, отмечая прекращение активности животных. Чем больше значение Фц, тем выше активность растений.

Оценку пылеулавливающей способности у древесных и кустарниковых растений проводили методом обмывания листьев с последующей фильтрацией обмывочной воды, т.е. методом аппликаций по методике Н. А. Минха [18]. Выбирали ветки деревьев и кустарников, не затененные другими ветвями. Эксперимент проводили в сухую погоду — на седьмые сутки в отсутствие дождя. Массу пыли определяли методикой гравиметрии по разности масс сухого и влажного фильтров (после фильтрования взвеси). Взвешивание проводили с помощью аналитических весов. Пылеаккумулирующая активность определялась исключительно в летний период.

Статистическую обработку данных проводили согласно рекомендациям Г. Ф. Лакина [13].

Результаты исследования

Исследования по комплексу показателей проводили в целом на 26 видах древесных и кустарниковых растений, широко распространенных в озеленении. Так как в парках

пгт Погар, г. Дятьково, г. Брянск (парк Юность, сквер Круглый, сквер Треугольный) и придорожных посадках видовой состав насаждений сходен, все последующие данные приведены для всех точек обследования.

Оценка фитонцидной активности позволила отнести виды к категориям «средне-» и «высокофитонцидные». Наибольшей степенью активности обладают *Pinus sibirica* L., *Juniperus communis* L. и *Juniperus sabina* L. (табл. 1). Эти виды наиболее перспективны для озеленения улиц, городских скверов и территорий больниц.

Таблица 1

Фитонцидная активность древесно-кустарниковых видов

Table 1

Phytoncidal activity of tree and shrub species

Семейства, видовое название	Фитонцидная активность (M±m)	Степень сравнения
<i>Pinales</i>		
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst	67±2,1	выше среднего
<i>Picea pungens</i> Engelm.	71±2,6	высокая
<i>Pinus strobus</i> L.	69±2,2	выше среднего
<i>Pinus sylvestris</i> L.	63±2,1	выше среднего
<i>Pinus sibirica</i> Du Tour	81±2,9	очень высокая
<i>Juniperus communis</i> L.	79±3,2	очень высокая
<i>Juniperus sabina</i> L.	77±2,9	высокая
<i>Betulaceae</i>		
<i>Betula pendula</i> Roth	38±1,9	низкая
<i>Tiliaceae</i>		
<i>Tilia cordata</i> L.	52±1,8	ниже среднего
<i>Elaeagnaceae</i>		
<i>Elaeagnus commutata</i> Bernh. ex Rydb. (<i>E. argentea</i>)	72±2,9	высокая
<i>Fabaceae</i>		
<i>Robinia pseudacacia</i> L.	36±1,7	низкая
<i>Caragana arborescens</i> Lam.	42±2,0	низкая
<i>Aceraceae</i>		
<i>Acer platanoides</i> L.	42±1,8	низкая
<i>Acer negundo</i> L.	30±1,4	низкая
<i>Hippocastanoideae</i>		
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	68±2,3	выше среднего
<i>Oleaceae</i>		
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall.	65±2,6	средняя
<i>Syringa vulgaris</i> L.	62±2,3	средняя
<i>Salicaceae</i>		
<i>Populus alba</i> L.	60±2,0	средняя
<i>Populus nigra</i> L.	63±2,2	средняя
<i>Rosaceae</i>		
<i>Spiraea crenata</i> L.	44±1,6	низкая
<i>Rosa canina</i> L.	58±1,9	ниже среднего
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	54±1,5	низкая
<i>Cotoneaster melanocarpus</i> Fisch. ex Blytt	68±2,7	выше среднего
<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim.	50±1,5	низкая
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	38±1,2	низкая
<i>Chaenomeles superba</i> Rehder	51±1,6	ниже среднего

У хвойных видов анализировали устойчивость к действию высоких и низких температур (табл. 2).

Таблица 2

Устойчивость хвои к действию высоких и низких температур

Table 2

Resistance of needles to high and low temperatures

Видовое название	Температура коагуляции белков	
	Высокая температура, °C (M±m)	Низкая температура, °C (M±m)
<i>Picea abies</i>	+49±3,2	-8±0,9
<i>Picea pungens</i>	+48±3,1	-8±0,9
<i>Pinus sylvestris</i>	+50±3,7	-8±0,9
<i>Pinus strobus</i>	+50±3,6	-8±0,9
<i>Pinus sibirica</i>	+49±3,5	-7±0,9
<i>Juniperus communis</i>	+48±3,8	-6±0,8
<i>Juniperus sabina</i>	+51±3,7	-7±0,8

У всех видов очень высокая устойчивость к действию как высоких, так и низких температур по сравнению с лиственными видами. Наименее устойчивыми к влиянию температур оказались виды рода можжевельник. Летальные высокие температуры для хвои заключены в пределах от плюс 48 до плюс 50 °C, что значительно превышает максимальную температуру воздуха для городов Брянской области (максимальная летняя температура воздуха для региона — плюс 35,5 °C).

Эффективность пылеулавливающей способности рассчитывали для отдельных видов, выражая ее в граммах на 1 м² листы (табл. 3), также указывали в различных категориях зеленых насаждений города.

Таблица 3

Эффективность пылеаккумулирующей способности древесно-кустарниковых видов

Table 3

Efficiency of dust-accumulating capacity of tree and shrub species

Видовое название	Седиментационная пыль, г/м ² (M±m)
<i>Betula pendula</i>	3,40±0,6
<i>Tilia cordata</i>	3,28±0,5
<i>Elaeagnus commutata</i>	7,11±0,7
<i>Physocarpus opulifolius</i>	5,23±0,7
<i>Sorbus aucuparia</i>	8,33±0,7
<i>Chaenomeles superba</i>	4,10±0,7
<i>Cotoneaster melanocarpus</i>	7,90±0,8
<i>Spiraea crenata</i>	3,20±0,5
<i>Rosa canina</i>	3,84±0,5
<i>Crataegus monogyna</i>	6,40±0,7
<i>Robinia pseudacacia</i>	3,90±0,4
<i>Caragana arborescens</i>	3,25±0,4
<i>Acer platanoides</i>	4,20±0,6
<i>Acer negundo</i>	4,54±0,7
<i>Aesculus hippocastanum</i>	5,30±0,7
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	4,10±0,5
<i>Syringa vulgaris</i>	4,25±0,5
<i>Populus alba</i>	3,60±0,4
<i>Populus nigra</i>	3,70±0,4
<i>Berberis thunbergii</i>	4,40±0,5
<i>Picea abies</i>	4,53±0,6
<i>Picea pungens</i>	4,72±0,5
<i>Pinus sylvestris</i>	4,30±0,5
<i>Pinus strobus</i>	4,20±0,5
<i>Juniperus communis</i>	4,15±0,5

Наилучшие показатели пылеаккумулирующей способности (в порядке увеличения) наблюдались у *Crataegus monogyna*, *Elaeagnus commutata*, *Cotoneaster melanocarpus*, *Sorbus aucuparia*. Листья этих видов опушены, имеют железы для выделения гуттационных и смолистых секретов, позволяющих аккумулировать пыль; также у видов широкий размер кроны, они относятся к группе ксерофитов и ксеромезофитов, что позволяет хорошо переносить нагревание листовых пластинок ввиду значительного скопления на них пыли. У хвой голосеменных всех видов способность к улавливанию пыли средняя ($4,0 \pm 0,5$ г/м²) и немного ниже, чем у лиственных деревьев (средняя величина — $4,5 \pm 0,6$ г/м²), ввиду малой площади поверхности для накопления частиц. Наилучшей пылезадерживающей способностью обладают кустарники (средняя величина — $5,0 \pm 0,7$ г/м²), вероятно, это обусловлено значительной площадью поверхности многочисленных листовых пластинок малого размера.

Наименьшим пылеулавливающим свойством характеризуются широко распространенные в озеленении виды: *Rosa canina*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *Spiraea crenata* (по убыванию). Наилучшим образом улавливают пыль растения с достаточно широкими листовыми пластинками, имеющими опушение с верхней или нижней части листа, или с обеих сторон, что оговорено в ряде других работ [37; 38]. Видимо, наименьшее пылеулавливание у видов рода тополь, *Betula pendula*, *Tilia cordata* связано с постоянным движением листовых пластинок растений, обусловленным строением черешков листьев (малая жесткость), позволяющих листовым пластинкам двигаться и сбрасывать пылевые частицы.

Для пгт Погар, г. Дятьково и г. Брянска, как и для других урбопоселений, установлено, что при эксплуатации автомобильных дорог происходит загрязнение воздуха пылевыми частицами в результате измельчения дорожного покрытия, заноса рыхлого материала с прилегающих территорий. Пыль содержит продукты истирания шин, дорожного покрытия, горюче-смазочных материалов, твердые выбросы двигателей. Все исследованные виды в элементах зеленого каркаса поселений находятся в сходных по пылевой нагрузке условиях, поэтому данные по пылеаккумуляции не различаются для урбоэкосистем, а также характеризуют видовые особенности растений. Ввиду отсутствия крупных индустриальных объектов, повышающих концентрацию пыли и частиц, на реперных точках объектов присутствует дорожная пыль, что позволяет их сравнивать с другими данными исследований ввиду сходного состава пыли. Для г. Красноярска выявлен спектр из 33 видов древесных и кустарниковых растений, установлена роль в пыленакоплении ведущих видов: отмечено, что максимальное количество пыли задерживают виды рода тополь, вяз, однако в связи с изменением дисперсного состава пыли авторами подтверждена уменьшающаяся способность листовых пластинок растений к пыленакоплению [10].

Изучая пылезащитную эффективность зеленых насаждений города, мы выяснили следующие закономерности (табл. 4).

Таблица 4

Осаждение пыли на окнах зданий

Table 4

Dust deposits on building windows

Признак	Седиментационная пыль, г/м ²	
	2 этаж	4 этаж
Нет озеленения	7,28±0,7	6,90±0,7
Озеленение в 1 полосе (лиственные виды)	2,35±0,4	2,80±0,3
Озеленение в 1 полосе (смешанные виды)	1,20±0,3	1,48±0,7
Озеленение в 2 полосы (кустарник)	0,89±0,2	1,1±0,7

На следующем этапе исследования проводилась оценка жизненного состояния древесно-кустарниковых растений города. Используя данный признак, можно судить о том, насколько растение подвержено влиянию негативных факторов внешней среды, о его устойчивости и приспособленности (табл. 5) [17—19].

Оценка жизненного состояния древесно-кустарниковых растений

Таблица 5

Table 5

Assessment of the vital state of trees and shrubs

Видовое название	Жизненное состояние видов около дороги, %	Жизненное состояние видов в парках, %
<i>Picea abies</i>	24	32
<i>Picea pungens</i>	28	43
<i>Pinus strobus</i>	15	21
<i>Pinus sylvestris</i>	—	35
<i>Pinus sibirica</i>	—	29
<i>Juniperus communis</i>	—	31
<i>Juniperus sabina</i>	—	34
<i>Betula pendula</i>	65	71
<i>Tilia cordata</i>	23	28
<i>Sorbus aucuparia</i>	62	69
<i>Robinia pseudoacacia</i>	19	54
<i>Acer platanoides</i>	28	52
<i>Acer negundo</i>	59	67
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	44	55
<i>Syringa vulgaris</i>	18	37
<i>Populus alba</i>	34	—
<i>Populus nigra</i>	42	—
<i>Berberis thunbergii</i>	—	39

Как видно из таблицы 5, жизненное состояние древесных и кустарниковых растений около дороги хуже, нежели в парковых посадках, в частности, средний процент составляет 35,5 и 43,6% соответственно. Наиболее предпочтительными видами при озеленении придорожных территорий с учетом данного признака являются *Populus nigra*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Acer negundo*, *Sorbus aucuparia*, *Betula pendula* (в порядке возрастания). В Орловской области установили 16 видов и форм древесных растений, находящихся в отличном состоянии и имеющих высокую степень декоративной оценки, их ассортимент практически полностью совпадает с рекомендованными видами на территории Брянской области [9].

Также для г. Воронежа и Брянской области по устойчивости выделены можжевельник казацкий, тополь черный, рябина обыкновенная, клен остролистный, липа сердцелистная, виды рода ясень; отмечена феноменальная устойчивость клена ясенелистного [25].

Анализировалась устойчивость семнадцати видов древесно-кустарниковых растений, встречающихся в озеленительных посадках города, относящихся к семействам Pinaceae, Betulaceae, Tiliaceae, Elaeagnaceae, Salicaceae, Aceraceae, Oleaceae, Hippocastanoideae, Fabaceae, Rosaceae.

В результате проведенных опытов по исследованию влияния высоких и низких температур были получены мониторинговые данные (табл. 6, 7).

Температура, указанная в таблице 6, отмечает начало коагуляции белков. По литературным данным известно, что теплоустойчивость, как и холодостойкость — видоспецифические признаки, проявление которых зависит от внутренних факторов — возраста растения, онтогенетического этапа развития органов; внешних факторов — температуры,

освещенности, влажности, степени загрязнения. Для всех реперных точек пробоотбора листья отбирались в одно и то же календарное время, с одинаковых по онтогенетическому возрасту особей растений, ведущие внешние факторы также не различались, следовательно, все установленные температурные адаптации зависят прежде всего от видовой принадлежности и экологической группы. У психрогигрофитов (представители хвойных) и ксерофитов, ксеромезофитов температурный порог коагуляции выше [16]. Наиболее устойчивы к воздействию высоких температур *Picea abies*, *Picea pungens*, *Pinus strobus*, *Pinus sylvestris*, *Acer negundo*, *Chaenomeles superba*, *Elaeagnus commutata*, *Physocarpus opulifolius*.

Таблица 6

Устойчивость листьев древесных растений к действию высоких температур

Table 6

Resistance of leaves of woody plants to high temperatures

Семейства, видовое название	Температура коагуляции, °C (M±m)
Pinaceae	
<i>Picea abies</i>	+49±2,5
<i>Picea pungens</i>	+48±2,7
<i>Pinus strobus</i>	+50±3,1
<i>Pinus sylvestris</i>	+50±3,4
Betulaceae	
<i>Betula pendula</i>	+35±2,1
Tiliaceae	
<i>Tilia cordata</i>	+32±2,2
Elaeagnaceae	
<i>Elaeagnus commutata</i>	+52±2,9
Rosaceae	
<i>Physocarpus opulifolius</i>	+46±2,4
<i>Sorbus aucuparia</i>	+39±2,1
<i>Chaenomeles superba</i>	+48±2,8
Fabaceae	
<i>Robinia pseudacacia</i>	+40±2,2
<i>Caragana arborescens</i>	+44±2,6
Aceraceae	
<i>Acer platanoides</i>	+41±2,2
<i>Acer negundo</i>	+49±3,2
Hippocastanoideae	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	+40±2,1
Oleaceae	
<i>Fraxinus excelsior</i>	+42±2,4
Salicaceae	
<i>Populus alba</i>	+42±2,7
<i>Populus nigra</i>	+36±2,1

Некоторые авторы видят причину устойчивости растений к высоким температурам в стабильности синтеза АТФ при дыхании, отсутствии угнетения энергетического обмена температурным воздействием [33; 39]. Устойчивость к высоким температурам у листовых пластинок повышается при минимизации потерь воды: чем выше способность к обезвоживанию, тем меньше порог устойчивости к высоким температурам. У видов рода *Picea*, *Pinus* воскоподобный налет и концентрация сахарозы в клеточной плазме снижают обезвоживание и другие потери воды, так же, как и у *Acer negundo*, *Chaenomeles superba*, *Elaeagnus commutata*, *Physocarpus opulifolius*.

Наблюдается связь между малой пылеаккумулирующей способностью видов рода *Picea*, *Pinus* и высокой устойчивостью к температурам: у растений хорошо протекает теплообмен, что повышает возможную стойкость к высокотемпературной коагуляции белков. По данным В. П. Тарабрина для г. Донецка, высокие температурные пороги гибели растительной биомассы выявлены для дуба черешчатого, клена платановидного, липы мелколистной, что не совпадает с результатами для средней полосы [31]. Для г. Воронежа установлены 4 группы видов по температурной устойчивости, при этом *Acer negundo* принадлежит к группе неустойчивых, виды рода *Populus* обладают средней устойчивостью; для *Robinia pseudacacia* данные по средней устойчивости к высоким температурам, а для *Tilia cordata* — по низкой устойчивости — совпали [16; 31].

Вероятно, на порог высокотемпературной коагуляции белков воздействуют и факторы обводненности субстратов, типы почв урбоэкосистем, наличие шквалистых ветров-суховеев, внешний фактор экологического состояния — значения ПДК_{мр} для запыленности воздуха.

Зеленые листья древесных растений не выносят действия низких температур, поэтому в эксперименте мы не понижали температуру ниже минус 8 °С (табл. 7).

Таблица 7

Устойчивость листьев древесных растений к действию низких температур

Table 7

Resistance of leaves of woody plants to low temperatures

Семейства, видовое название	Температура коагуляции, °С (M±m)
<i>Pinaceae</i>	
<i>Picea abies</i>	-8±0,9
<i>Picea pungens</i>	-8±0,9
<i>Pinus strobus</i>	-8±0,9
<i>Pinus sylvestris</i>	-8±0,9
<i>Betulaceae</i>	
<i>Betula pendula</i>	0
<i>Tiliaceae</i>	
<i>Tilia cordata</i>	+1±0,2
<i>Elaeagnaceae</i>	
<i>Elaeagnus commutata</i>	-7±0,9
<i>Rosaceae</i>	
<i>Physocarpus opulifolius</i>	-2±0,3
<i>Sorbus aucuparia</i>	0
<i>Chaenomeles superba</i>	-6±0,9
<i>Fabaceae</i>	
<i>Robinia pseudacacia</i>	+2±0,4
<i>Caragana arborescens</i>	-4±0,7
<i>Aceraceae</i>	
<i>Acer platanoides</i>	-1±0,2
<i>Acer negundo</i>	-4±0,7
<i>Hippocastanoideae</i>	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	-2±0,3
<i>Oleaceae</i>	
<i>Fraxinus excelsior</i>	-1±0,2
<i>Salicaceae</i>	
<i>Populus alba</i>	0
<i>Populus nigra</i>	-2±0,3

Температура, указанная в таблице 7, показывает начало коагуляции белков у растений.

Итак, наиболее устойчивы к воздействию низких температур *Picea abies*, *Picea pungens*, *Pinus strobus*, *Pinus sylvestris*, *Acer negundo*, *Chaenomeles superba*, *Elaeagnus*

commutata, *Caragana arborescens*. Устойчивость хвойных растений к низким температурам выше, чем лиственных.

В литературе имеются многочисленные, но противоречивые данные по устойчивости листьев растений к действию температур. Однако степень зрелости листа в первую очередь повышает температурную чувствительность. Поэтому можно предположить, что к середине вегетационного периода устойчивость растений к тепловому и холодовому стрессу возрастает. По мнению зарубежных авторов, у видов ксеро- и ксеромезофитных форм устойчивость к температуре определяется эффективностью ассимиляции CO₂: для умеренно континентального климата это виды рода *Picea*, *Pinus*, *Acer negundo*, *Caragana arborescens* (холодостойкость и жаростойкость), *Elaeagnus commutata*, *Chaenomeles superba* — высокотемпературная устойчивость. Хвойные виды относятся к группе холодостойких, что и было выявлено в опытах по воздействию низких температур [42; 47].

Предварительная оценка состояния насаждений в озеленении г. Карачева, которые подробно изучались за двухлетний период, указана в таблице 8.

Таблица 8

Состояние компонентов озеленения

Table 8

Condition of landscaping components

Объекты	Значения индексов, баллы	
	I _n	I _c
Южная часть города		
Уличные посадки	1,41*	
Городской парк		3,31*
Лесопарк		5,2
Озеленение культурно-исторических комплексов		
Озеленение специального назначения	2,61	
Западная часть города		
Уличные посадки	1,49	
Дендропарк		4,11
Лесопарк		
Озеленение культурно-исторических комплексов		
Северная часть города		
Уличные посадки	1,54	
Озеленение культурно-исторических комплексов		
Озеленение специального назначения	2,88	
Восточная часть города		
Уличные посадки	1,68	
Озеленение культурно-исторических комплексов		
Озеленение специального назначения	2,71	

Примечание. Значения I_n от 1 до 2,5 балла — насаждение относится к здоровым; от 2,5 до 3,5 балла — насаждение ослаблено. Значения I_c от 4 до 7 баллов — насаждения с нарушенной устойчивостью; от 7 до 10 баллов — насаждения устойчивые; менее 4 баллов — утратившие устойчивость.

Около 60% насаждений города требуют реконструкции, заключающейся в замене старых особей, достигших субсенильной и сенильной возрастной стадии. Для повышения декоративного эффекта и экологической значимости насаждений необходимо широкое введение хвойных экзотов и декоративных кустарников. Отсутствие регулярного ухода за насаждениями, и прежде всего орошения, приводит к их преждевременному старению и гибели [11; 30]. Для северных регионов страны методом биоэкологического монито-

ринга выявлен ассортимент видов, совпадающий с таковым для Брянской области, где представлены фоновые виды местной флоры, наиболее устойчивые к стрессовым факторам различного происхождения, в том числе и климатическим. В северных регионах наиболее часто для озеленения используются вяз гладкий, ива ломкая, которые характеризуются быстрым ростом и достаточно широкой устойчивостью к факторам городской среды, основанной прежде всего на наличии семенного потомства [3].

Заключение

Для физико-географических условий административного центра Нечерноземья РФ получены данные по фитонцидной активности для сравнительной биомониторинговой оценки состояния компонентов зеленых насаждений и оценки подбора видового состава насаждений. Наибольшая фитонцидная активность установлена для хвойных видов — *Pinus sibirica*, *Juniperus communis* и *Juniperus sabina*, что совпадает с результатами биоиндикационных испытаний, проведенных отечественными и зарубежными исследователями. Однако эти виды достаточно редко используются в практике зеленого строительства ввиду незначительной скорости роста и средней устойчивости к загрязнителям воздуха.

У всех видов хвойных растений высокая устойчивость к высоким и низким температурам по сравнению с лиственными, что обусловлено комплексом адаптивных качеств эволюционного развития. Наиболее устойчивы к воздействию как высоких, так и низких температур *Picea abies*, *Picea pungens*, *Pinus strobus*, *Pinus sylvestris*, *Acer negundo*, *Chaenomeles superba*, *Elaeagnus commutata*, *Physocarpus opulifolius*.

Наилучшие показатели пылеаккумулирующей способности (в порядке увеличения) диагностировали у *Crataegus monogyna*, *Elaeagnus commutata*, *Cotoneaster melanocarpus*, *Sorbus aucuparia*, что отмечалось ранее и для урбоэкосистем Черноземья РФ. В связи с размерами и площадью листовых пластинок, а также наличием опушения лиственные виды поглощают пыль лучше, чем хвойные, поэтому голосеменные растения целесообразно использовать для конструирования внутривидовых и внутрисекторных ансамблей, лиственные виды — в первой полосе насаждений, в виде живых изгородей придорожных посадок.

Вид *Acer negundo* отмечен по результатам исследований рядом положительных качеств по пылеулавливанию, устойчивости к перепадам температур, жизненному состоянию (в том числе и скорости роста). Однако использование особей вида в зеленом строительстве должно быть ограничено в связи с адаптациями инвазивного вида, низкой декоративностью взрослых растений (примерно в 20-летнем возрасте), низкой плотностью древесины и высокой травмоопасностью экземпляров клена при экстремальных погодных условиях.

Наиболее предпочтительными видами при озеленении придорожных территорий, с учетом признака жизненности и способности противостоять негативным стрессорным факторам антропогенного происхождения, являются *Populus nigra*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Sorbus aucuparia*, *Betula pendula* (в порядке возрастания).

Полученные результаты исследований впервые внесены в мониторинговую базу для Брянской области.

Список источников

1. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51—57.
2. Алексеев Ю. В., Сомов Г. Ю. Градостроительное планирование поселений. М. : АСТ-Пресс, 2003. 336 с.
3. Андропова М. А. Приоритетный ассортимент древесных растений для озеленения населенных пунктов Вологодской области // Успехи современной науки. 2017. Т. 2, № 5. С. 173—177.

4. Булдакова Е. А. Проблемы озеленения городов. Часть 1 // Livejournal : [сайт]. URL: <https://greentown2020.livejournal.com/558017.html> (дата обращения: 20.12.2023).
5. Ворона В. М. Характеристика биологического разнообразия городских лесов г. Брянска // Всероссийская конференция с международным участием и элементами научной школы для молодежи «Экотоксикология-2021», 7—8 окт. 2021 г. : материалы / под ред. В. А. Алферова. Тула : Изд-во ТулГУ, 2021. С. 34—35.
6. Гагарина Е. С. Зеленая инфраструктура и экосистемные услуги в устойчивом развитии городов // Architecture and Modern Information Technologies. 2023. № 1 (16). С. 228—247. URL: https://marhi.ru/AMIT/2023/1kvart23/PDF/14_gagarina.pdf. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-1-228-247.
7. Городские зеленые зоны: краткое руководство к действию / Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро. 2017. 24 с. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344117/9789289052504-rus.pdf?sequence=1> (дата обращения: 20.12.2023).
8. Гродзинский А. М. Экспериментальная аллелопатия. Киев : Наукова Думка, 1987. 236 с.
9. Емельянова О. Ю., Фирсов А. Н. Анализ состояния и оценка декоративности фитонцидных и лекарственных растений генофонда дендрария ВНИИСПК // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2018. Т. 146. С. 224—230.
10. Зубарева О. Н., Прысов Д. А., Буланова О. С. Анализ состояния зеленых насаждений центрального парка города Красноярск // Сибирский лесной журнал. 2021. № 6. С. 46—58. DOI: 10.15372/SJFS20210605.
11. Котляр М. Я. Экологические особенности озеленения пунктов Западного Забайкалья : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Уде, 2009. 24 с.
12. Кругляк В. В., Карташова П. П. Урбоэкология и мониторинг среды. Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2004. 72 с.
13. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высшая школа, 1990. 352 с.
14. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. М. : Т-во науч. изданий КМК, 2014. 635 с.
15. Методика инвентаризации городских зеленых насаждений / Минстрой РФ. М., 1997. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294815/4294815098.htm> (дата обращения: 25.02.2024).
16. Михеева М. А., Федорова А. И. Влияние высоких температур на устойчивость древесных растений в городской среде // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. 2011. № 2. С. 166—175.
17. Мониторинг состояния зеленых насаждений / под ред. О. П. Негрובה [и др.]. Воронеж : Изд-во Воронежского ун-та, 2005. 116 с.
18. Мощенникова Н. Б. Оценка экологического состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга : дис. ... канд. биол. наук. М., 2011. 179 с.
19. Мурачева Л. С. Мониторинг лесопарковых экосистем на урбанизированных территориях Калининградской области : дис. ... канд. биол. наук. М., 2011. 311 с.
20. Нестеренко В. М. Шумозащитная эффективность зеленых насаждений города Брянска // Проблемы и перспективы развития современной науки в странах Европы и Азии : материалы XLIV Междунар. науч.-практ. интернет-конф. : сб. науч. тр. Переяслав, 2022. С. 22—25.
21. Нестеренко В. М. Экологическая и эстетическая оценка парковых территорий города Клиницы Брянской области // GREEN-2022. Студенческие исследования в области экологии, инженерии и природы = Graduate Research in Ecology, Engineering and Nature : сб. науч. тр. молодежной науч.-практ. конф. Москва, 28 ноября 2022 г. : в 2 ч. Москва : РУДН, 2022. Ч. 1. С. 158—165.
22. Нотов А. А., Мейсурова А. Ф., Дементьева С. М. Комплексный биомониторинг природных экосистем центральной части Каспийско-Балтийского водораздела // Фундаментальные исследования. 2013. № 10 (5). С. 190—194.
23. Нотов А. А., Мейсурова А. Ф., Зуева Л. В., Нотов В. А., Андреева Е. А., Иванова С. А. Некоторые итоги реализации программы комплексного биомониторинга экосистем Верхневолжья // Вестник Тверского государственного университета. 2017. № 2. С. 244—269.
24. Подколзин М. М. Особенности озеленения крупных городов Н. Поволжья в условиях техногенной нагрузки: на примере г. Волжского : дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2011. 255 с.
25. Попова В. Т., Дорофеева В. Д., Чекменева Ю. В., Попова А. А., Шипицина В. А. Видовой состав дендрофлоры и состояние интродуцентов парка Победы г. Воронежа // Лесотехнический журнал. 2019. № 2 (34). С. 74—89. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/9.
26. Потапова Е. В. Озелененные территории поселений: структура, состояние, проблемы, риски, трансформация, индикаторы развития : дис. ... д-ра биол. наук. Иркутск, 2017. 363 с.
27. Правила создания, охраны и содержания зеленых насаждений в городах Российской Федерации, утвержденные приказом Госстроя России от 15.12.1999 № 153. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=49758&ysclid=lt0giu5g6e40074261> (дата обращения: 25.02.2024).

28. Правила создания, охраны и содержания зеленых насаждений на территории города Брянска. Приняты решением Брянского городского Совета народных депутатов от 29.06.2007 № 742. URL: <https://docs.cntd.ru/document/974009459?ysclid=lt0goes5l6573927838> (дата обращения: 25.02.2024).
29. Природные ресурсы и окружающая среда субъектов Российской Федерации: Центральный Федеральный округ: Брянская область / под ред. Н. Г. Рыбальского, Е. Д. Самотесова, А. Г. Митюкова. М. : НИИ-Природа, 2007. 1143 с.
30. Прокопенко В. В. Совершенствование методов оценки показателя комфортности объектов общего пользования системы озеленения крупнейших городов (на примере Волгограда) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 22 с.
31. Тарабрин В. П. Водный режим и устойчивость древесных растений к промышленным газам // Газоустойчивость растений : сб. ст. / отв. ред. В. С. Николаевский. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1980. С. 18—29.
32. Троценко Г. В. Синантропизация флоры г. Лабытнанги // Структура, продуктивность и динамика растительного покрова. Свердловск : Ин-т экологии растений и животных, 1990. С. 101—110.
33. Узлова Е. В., Зиматкин С. М. АТФ-синтаза митохондрий // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2020. Т. 18, № 6. С. 648—654. DOI: 10.25298/2221-8785-2020-18-6-648-654.
34. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/?ysclid=lt0gudpnkr759921623 (дата обращения: 25.02.2024).
35. Цыбуля Н. В. Методика определения фитонцидной активности интактных растений // Растительные ресурсы. 2001. № 2. С. 106—115.
36. Шергина О. В., Михайлова Т. А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск : Ин-т географии СО РАН, 2007. 200 с.
37. Alotaibi M. D., Alharbi B. H., Al-Shamsi M. A., Alshahrani T. S., Al-Namazi A. A., Alharbi S. F., Alotaibi F. S., Qian Y. Assessing the response of five tree species to air pollution in Riyadh City, Saudi Arabia, for potential green belt application // Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27. P. 29156—29170. DOI: 10.1007/s11356-020-09226-w.
38. Anishchenko L. N., Borzdyko E. V., Dolganova M. V., Moskalenko I. V., Avramenko M. V. Biochemical indicators of woody plants in the diagnosis of air condition // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 962. Art. 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/962/1/012005.
39. Heidarvand L., Millar A. H., Taylor N. L. Responses of the Mitochondrial Respiratory System to Low Temperature in Plants // Critical Reviews in Plant Sciences. 2017. Vol. 36, N 4. P. 1—24. DOI: 10.1080/07352689.2017.1375836.
40. Hrotko K., Gyeveki M., Sütörine D. M., Magyar L., Meszaros R., Honfi P., Kardos L. Foliar dust and heavy metal deposit on leaves of urban trees in Budapest (Hungary) // Environmental Geochemistry and Health. 2021. Vol. 43. P. 1927—1940. DOI: 10.1007/s10653-020-00769-y.
41. Kang B. W., Liu J. J., Wang D. X. [et al.] Study on dust catching properties of major afforestation tree species in Shaanxi // Shaanxi Forest Science and Technology. 2023. Vol. 4. P. 54—56.
42. Khan H., Hussain S., Uddin N., Azhar N., Asim M., Syed S., Ullah F., Tawab F., Inayat J. Biochemical and physiological changes of different plants species in response to heat and cold stress // Journal of Agricultural and Biological Science. 2015. Vol. 10, N 6. P. 213—216.
43. Lai H., Flies E. J., Weinstein Ph., Woodward A. The impact of green space and biodiversity on health // Frontiers in Ecology and the Environment. 2019. Vol. 17, is. 7. P. 383—390. DOI: 10.1002/fee.2077.
44. Li C., Du D., Gan Y., Ji S., Wang L., Chang M., Liu J. Foliar dust as a reliable environmental monitor of heavy metal pollution in comparison to plant leaves and soil in urban areas // Chemosphere. 2022. Vol. 287, part 3. P. 132—141. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.132341.
45. Mata L., Hahs A., Palma E., Backstrom A., Johnston N., King T., Olson A., Renowden C., Smith T., Vogel B., Ward S. Large positive ecological changes of small urban greening action. 2023. DOI: 10.5281/zenodo.8067529.
46. Nowak D. J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health // Urban Forestry & Urban Greening. 2018. Vol. 29. P. 40—48. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.10.019.
47. Ramakrishnan M., Zhang Z., Mullasserri S., Kalendar R., Ahmad Z., Sharma A., Liu G., Zhou M., Wei Q. Epigenetic stress memory: A new approach to study cold and heat stress responses in plants // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. DOI: 10.3389/fpls.2022.1075279.
48. Tak A. A., Kakde U. B. Evaluation of air pollution tolerance and performance index of plants growing in industrial areas // International Journal of Ecology and Environmental Sciences. 2020. Vol. 2, N 2. P. 1—9.
49. Urošević M. A., Jovanović G., Stević N., Deljanin I., Nikolić M., Tomašević M., Samson R. Leaves of common urban tree species (*Aesculus hippocastanum*, *Acer platanoides*, *Betula pendula* and *Tilia cordata*) as

a measure of particle and particle-bound pollution: a 4-year study // *Air Quality Atmosphere & Health*. 2019. Vol. 12. P. 1081—1090.

50. Viradia S., Kaneria M., Misan V. Comparative assessment of air pollution tolerance index (APTI) of selected plants from two different industrial sites of Rajkot // *Proceeding of the National Conference on Innovations in Biological Sciences (NCIBS)*. 2020. P. 109—117. DOI: 10.2139/ssrn.3559975.

References

1. Alekseev V. A. Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoev [Diagnostics of the vital state of trees and forest stands]. *Lesovedenie — Russian Journal of Forest Science*, 1989, no. 4, pp. 51—57. (In Russian)
2. Alekseev Yu. V., Somov G. Yu. *Gradostroitel'noe planirovanie poselenii* [Urban planning of settlements]. Moscow, AST-Press Publ., 2003. 336 p. (In Russian)
3. Andronova M. A. Prioritetnyi assortiment drevesnykh rastenii dlya ozeleneniya naseleennykh punktov Vologodskoi oblasti [Priority assortment of woody plants for landscaping settlements in the Vologda region]. *Uspekhi sovremennoi nauki*, 2017, vol. 2, no. 5, pp. 173—177. (In Russian)
4. Buldakova E. A. Problemy ozeleneniya gorodov. Chast' 1 [Problems of urban greening. Part 1]. *Livejournal: sait*. Available at: <https://greentown2020.livejournal.com/558017.html>. Accessed: 20.12.2023. (In Russian)
5. Vorona V. M. Kharakteristika biologicheskogo raznoobraziya gorodskikh lesov g. Bryanska [Characteristics of the biological diversity of urban forests in Bryansk]. *Vserossiiskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem i elementami nauchnoi shkoly dlya molodezhi "Ekotoksikologiya-2021"*, 7—8 okt. 2021 g.: materialy [All-Russia conference with International participation and elements of a scientific school for youth "Ecotoxicology-2021", Oct. 7—8, 2021. Materials]. Tula, TulGU Publ., 2021, pp. 34—35. (In Russian)
6. Gagarina E. S. Zelenaya infrastruktura i ekosistemnye uslugi v ustoichivom razvitii gorodov [Green infrastructure and ecosystem services in sustainable urban development]. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2023, no. 1 (16), pp. 228—247. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2023/1kvart23/PDF/14_gagarina.pdf. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-1-228-247. (In Russian)
7. *Gorodskie zelenye zony: kratkoe rukovodstvo k deistviyu. Vsemirnaya organizatsiya zdavoookhraneniya. Evropeiskoe regional'noe byuro* [Urban green spaces: a quick guide to action / World Health Organization. Regional Office for Europe]. 2017. 24 p. Available at: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344117/9789289052504-rus.pdf?sequence=1>. Accessed: 20.12.2023. (In Russian)
8. Grodzinskii A. M. *Ekspertimetal'naya allelopatiya* [Experimental allelopathy]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1987. 236 p. (In Russian)
9. Emel'yanova O. Yu., Firsov A. N. Analiz sostoyaniya i otsenka dekorativnosti fitontsidnykh i lekarstvennykh rastenii genofonda dendrariya VNIISPK [Analysis of the condition and evaluation of the decorativeness of phytoncide and medicinal plants of the gene pool of Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK) arboretum]. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2018, vol. 146, pp. 224—230. (In Russian)
10. Zubareva O. N., Prysov D. A., Bulanova O. S. Analiz sostoyaniya zelenykh nasazhdenii tsentral'nogo parka goroda Krasnoyarska [Analyzing the Health of Trees and Shrubs of Krasnoyarsk Central Park]. *Sibirskii lesnoi zhurnal — Siberian Journal of Forest Science*, 2021, no. 6, pp. 46—58. DOI: 10.15372/SJFS20210605. (In Russian)
11. Kotlyar M. Ya. *Ekologicheskie osobennosti ozeleneniya punktov Zapadnogo Zabaikal'ya: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Ecological features of landscaping in Western Trans-Baikal region. Abstr. Cand. Dis.]. Ulan-Ude, 2009. 24 p. (In Russian)
12. Kruglyak V. V., Kartashova P. P. *Urboekologiya i monitoring sredy* [Urban ecology and environmental monitoring]. Voronezh, Voronezh. gos. lesotekh. akad. Publ., 2004. 72 p. (In Russian)
13. Lakin G. F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 352 p. (In Russian)
14. Maevskii P. F. *Flora srednei polosy evropeiskoi chasti Rossii* [Flora of the central European part of Russia]. Moscow, T-vo nauch. izdaniy KMK Publ., 2014. 635 p. (In Russian)
15. *Metodika inventarizatsii gorodskikh zelenykh nasazhdenii* [Methodology for inventorying urban green spaces]. Moscow, 1997. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294815/4294815098.htm>. Accessed: 25.02.2024. (In Russian)
16. Mikheeva M. A., Fedorova A. I. Vliyanie vysokikh temperatur na ustoichivost' drevesnykh rastenii v gorodskoi srede [Effect of high temperatures on the stability of trees in urban environments]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya — Proceedings of Voronezh State University. Ser. Geography. Geoecology*, 2011, no. 2, pp. 166—175. (In Russian)
17. *Monitoring sostoyaniya zelenykh nasazhdenii* [Monitoring the condition of green spaces]. Voronezh, Voronezhskii un-t Publ., 2005. 116 p. (In Russian)

18. Moshchennikova N. B. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya zelenykh nasazhdenii Sankt-Peterburga: dis. ... kand. biol. nauk* [Assessment of the ecological state of green spaces in St. Petersburg. Cand. Dis.]. Moscow, 2011. 179 p. (In Russian)
19. Muracheva L. S. *Monitoring lesoparkovykh ekosistem na urbanizirovannykh territoriyakh Kaliningradskoi oblasti: dis. ... kand. biol. nauk* [Monitoring of forest park ecosystems in urbanized areas of the Kaliningrad region. Cand. Dis.]. Moscow, 2011. 311 p. (In Russian)
20. Nesterenko V. M. Shumozashchitnaya effektivnost' zelenykh nasazhdenii goroda Bryanska [Noise-protective efficiency of green spaces in the city of Bryansk]. *Problemy i perspektivy razvitiya sovremennoi nauki v stranakh Evropy i Azii: materialy XLIV Mezhdunar. nauch.-prakt. internet-konf.: sb. nauch. tr.* [Problems and prospects for the development of modern science in the countries of Europe and Asia. Proceed. of the XLIV Internat. sci.-pract. Internet conf.]. Pereyaslav, 2022, pp. 22—25. (In Russian)
21. Nesterenko V. M. Ekologicheskaya i esteticheskaya otsenka parkovykh territorii goroda Klintsy Bryanskoj oblasti [Ecological and aesthetic assessment of park areas in the city of Klintsy of the Bryansk region]. *GREEN-2022. Studencheskie issledovaniya v oblasti ekologii, inzhenerii i prirody = Graduate Research in Ecology, Engineering and Nature: sbornik nauch. trudov molodezhnoi nauch.-prakt. konf. Moskva, 28 noyabrya 2022 g.: v 2 ch.* [GREEN-2022. Student research in the field of ecology, engineering and nature = Graduate Research in Ecology, Engineering and Nature. Proceed. of youth sci. and pract. conf. Moscow, Nov. 28, 2022. In 2 parts]. Moscow, RUDN Publ., 2022, part 1, pp. 158—165. (In Russian)
22. Notov A. A., Meisurova A. F., Dement'eva S. M. Kompleksnyi biomonitoring prirodnykh ekosistem tsentral'noi chasti Kaspijsko-Baltiiskogo vodorazdela [Comprehensive biomonitoring of natural ecosystems of the central part of the Caspian-Baltic watershed]. *Fundamental'nye issledovaniya — Fundamental Research*, 2013, no. 10 (5), pp. 190—194. (In Russian)
23. Notov A. A., Meisurova A. F., Zueva L. V., Notov V. A., Andreeva E. A., Ivanova S. A. Nekotorye itogi realizatsii programmy kompleksnogo biomonitoringa ekosistem Verkhnevolzh'ya [Some results of integrated biomonitoring program of the Upper Volga ecosystems]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, no. 2, pp. 244—269. (In Russian)
24. Podkolzin M. M. *Osobennosti ozeleneniya krupnykh gorodov N. Povolzh'ya v usloviyakh tekhnogennoi nagruzki: na primere g. Volzhskogo: dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Features of landscaping in large cities of the Lower Volga region under conditions of technogenic load: on the example of the city of Volzhsky. Cand. Dis.]. Volgograd, 2011. 255 p. (In Russian)
25. Popova V. T., Dorofeeva V. D., Chekmeneva Yu. V., Popova A. A., Shipitsina V. A. Vidovoi sostav dendroflory i sostoyanie introdutsentov parka Pobedy g. Voronezha [Species composition of dendroflora and condition of the introduced species in Voronezh Victory park]. *Lesotekhnicheskii zhurnal — Forestry Engineering Journal*, 2019, no. 2 (34), pp. 74—89. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.2/9. (In Russian)
26. Potapova E. V. *Ozelenennyye territorii poselenii: struktura, sostoyanie, problemy, riski, transformatsiya, indikatory razvitiya: dis. ... d-ra biol. nauk* [Green areas of settlements: structure, condition, problems, risks, transformation, development indicators. Dr. Dis.]. Irkutsk, 2017. 363 p. (In Russian)
27. *Pravila sozdaniya, okhrany i soderzhaniya zelenykh nasazhdenii v gorodakh Rossiiskoi Federatsii, utverzhdennye prikazom Gosstroya Rossii ot 15.12.1999 № 153* [Rules for the creation, protection and maintenance of green spaces in the cities of the Russian Federation, approved by order of the State Construction Committee of Russia dated Dec. 15, 1999, no. 153]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=49758&ysclid=lt0giu5g6e40074261>. Accessed: 25.02.2024. (In Russian)
28. *Pravila sozdaniya, okhrany i soderzhaniya zelenykh nasazhdenii na territorii goroda Bryanska. Prinyaty resheniem Bryanskogo gorodskogo Soveta narodnykh deputatov ot 29.06.2007 № 742* [Rules for the creation, protection and maintenance of green spaces on the territory of the city of Bryansk. Adopted by decision of the Bryansk City Council of People's Deputies dated June 29, 2007, no. 742]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/974009459?ysclid=lt0goes516573927838>. Accessed: 25.02.2024. (In Russian)
29. *Prirodnye resursy i okruzhayushchaya sreda sub'ektov Rossiiskoi Federatsii: Tsentral'nyi Federal'nyi okrug: Bryanskaya oblast'* [Natural resources and environment of the constituent entities of the Russian Federation: Central Federal District: Bryansk Region]. Moscow, NIA-Priroda Publ., 2007. 1143 p. (In Russian)
30. Prokopenko V. V. *Sovershenstvovanie metodov otsenki pokazatelya komfortnosti ob'ektov obshchego pol'zovaniya sistemy ozeleneniya krupneishikh gorodov (na primere Volgograda): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improving methods for assessing the comfort indicator of public facilities, landscaping systems of the largest cities (using the example of Volgograd). Abstr. Cand. Dis.]. Moscow, 2015. 22 p. (In Russian)
31. Tarabrin V. P. Vodnyi rezhim i ustoichivost' drevesnykh rastenii k promyshlennym gazam [Water regime and resistance of woody plants to industrial gases]. *Gazoustoichivost' rastenii: sbornik statei* [Gas resistance of plants. Collect. of art.]. Novosibirsk, Nauka, Sib. otd-nie Publ., 1980, pp. 18—29. (In Russian)

32. Trotsenko G. V. Sinantropizatsiya flory g. Labytnangi [Synanthropization of the flora of Labytnangi]. *Struktura, produktivnost' i dinamika rastitel'nogo pokrova* [Structure, productivity and dynamics of vegetation cover]. Sverdlovsk, In-t ekologii rastenii i zhivotnykh Publ., 1990, pp. 101—110. (In Russian)
33. Uzlova E. V., Zimatkin S. M. ATF-sintaza mitokhondrii [Mitochondrial ATP synthase]. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta — Journal of the Grodno State Medical University*, 2020, vol. 18, no. 6, pp. 648—654. DOI: 10.25298/2221-8785-2020-18-6-648-654. (In Russian)
34. *Federal'nyi zakon "Ob okhrane okruzhayushchei sredy" ot 10.01.2002 № 7-FZ* [Federal Law "On Environmental Protection" dated Jan. 10, 2002, no. 7-FZ]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/?ysclid=lt0gudpnkr759921623. Accessed: 25.02.2024. (In Russian)
35. Tsybulya N. V. Metodika opredeleniya fitontsidnoi aktivnosti intaktnykh rastenii [Methodology for determining the phytoncidal activity of intact plants]. *Rastitel'nye resursy*, 2001, no. 2, pp. 106—115. (In Russian)
36. Shergina O. V., Mikhailova T. A. *Sostoyanie drevesnykh rastenii i pochvennogo pokrova parkovykh i lesoparkovykh zon g. Irkutsk* [The state of woody plants and soil cover in parks and forested areas of Irkutsk]. Irkutsk, In-t geografii SO RAN Publ., 2007. 200 p. (In Russian)
37. Alotaibi M. D., Alharbi B. H., Al-Shamsi M. A., Alshahrani T. S., Al-Namazi A. A., Alharbi S. F., Alotaibi F. S., Qian Y. Assessing the response of five tree species to air pollution in Riyadh City, Saudi Arabia, for potential green belt application. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27, pp. 29156—29170. DOI: 10.1007/s11356-020-09226-w.
38. Anishchenko L. N., Borzdyko E. V., Dolganova M. V., Moskalenko I. V., Avramenko M. V. Biochemical indicators of woody plants in the diagnosis of air condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 962. Art. 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/962/1/012005.
39. Heidarvand L., Millar A. H., Taylor N. L. Responses of the Mitochondrial Respiratory System to Low Temperature in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2017, vol. 36, no. 4, pp. 1—24. DOI: 10.1080/07352689.2017.1375836.
40. Hrotko K., Gyeveiki M., Sütörine D. M., Magyar L., Meszaros R., Honfi P., Kardos L. Foliar dust and heavy metal deposit on leaves of urban trees in Budapest (Hungary). *Environmental Geochemistry and Health*, 2021, vol. 43, pp. 1927—1940. DOI: 10.1007/s10653-020-00769-y.
41. Kang B. W., Liu J. J., Wang D. X. [et al.] Study on dust catching properties of major afforestation tree species in Shaanxi. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 2023, vol. 4, pp. 54—56.
42. Khan H., Hussain S., Uddin N., Azhar N., Asim M., Syed S., Ullah F., Tawab F., Inayat J. Biochemical and physiological changes of different plants species in response to heat and cold stress. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 2015, vol. 10, no. 6, pp. 213—216.
43. Lai H., Flies E. J., Weinstein Ph., Woodward A. The impact of green space and biodiversity on health. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2019, vol. 17, is. 7, pp. 383—390. DOI: 10.1002/fee.2077.
44. Li C., Du D., Gan Y., Ji S., Wang L., Chang M., Liu J. Foliar dust as a reliable environmental monitor of heavy metal pollution in comparison to plant leaves and soil in urban areas. *Chemosphere*, 2022, vol. 287, part 3, pp. 132—141. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.132341.
45. Mata L., Hahs A., Palma E., Backstrom A., Johnston N., King T., Olson A., Renowden C., Smith T., Vogel B., Ward S. *Large positive ecological changes of small urban greening action*. 2023. DOI: 10.5281/zenodo.8067529.
46. Nowak D. J., Hirabayashi S., Doyle M., McGovern M., Pasher J. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, vol. 29, pp. 40—48. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.10.019.
47. Ramakrishnan M., Zhang Z., Mullasserri S., Kalendar R., Ahmad Z., Sharma A., Liu G., Zhou M., Wei Q. Epigenetic stress memory: A new approach to study cold and heat stress responses in plants. *Frontiers in Plant Science*, 2022, vol. 13. DOI: 10.3389/fpls.2022.1075279.
48. Tak A. A., Kakde U. B. Evaluation of air pollution tolerance and performance index of plants growing in industrial areas. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 2020, vol. 2, no. 2, pp. 1—9.
49. Urošević M. A., Jovanović G., Stević N., Deljanin I., Nikolić M., Tomašević M., Samson R. Leaves of common urban tree species (*Aesculus hippocastanum*, *Acer platanoides*, *Betula pendula* and *Tilia cordata*) as a measure of particle and particle-bound pollution: a 4-year study. *Air Quality Atmosphere & Health*, 2019, vol. 12, pp. 1081—1090.
50. Viradia S., Kaneria M., Misan V. Comparative assessment of air pollution tolerance index (APTII) of selected plants from two different industrial sites of Rajkot. *Proceeding of the National Conference on Innovations in Biological Sciences (NCIBS)*, 2020, pp. 109—117. DOI: 10.2139/ssrn.3559975.

Информация об авторах

В. М. Нестеренко — аспирант

Е. В. Ноздрачева — кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors

V. M. Nesterenko — Postgraduate Student

E. V. Nozdracheva — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Статья поступила в редакцию 25.12.2023; одобрена после рецензирования 25.03.2024;
принята к публикации 20.05.2024

The article was submitted 25.12.2023; approved after reviewing 25.03.2024;
accepted for publication 20.05.2024