

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1571

EDN: KKGWYZ

УДК 581.5



Научная статья

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВИДОВ РОДА ACER L., ПРОИЗРАСТАЮЩИХ ВДОЛЬ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ

*В.О. Корниенко, А.О. Шкиренко, В.В. Реуцкая,
Д.А. Джедиров, В.Н. Шевченко, М.Ю. Одабашиян, С.В. Теплякова,
А.В. Вершинина, Д.С. Мангасарян*

Аннотация

Обоснование. На современном этапе развития городов Донбасса особую остроту приобрела проблема экологического состояния окружающей среды и оценки устойчивости экосистем, усугубляемая воздействием новых антропогенных и техногенных факторов. Одной из приоритетных задач региона является подбор видов и научное обоснование списка основных лесообразующих видов Донбасса.

Цель. Цель данного исследования заключается в оценке экологических и биологических свойств видов рода *Acer* L., произрастающих в условиях изменяющегося климата Донбасса и антропогенной нагрузки.

Материалы и методы. Полевые исследования и сбор материала осуществляли в период с 2023 по 2025 г. вдоль автомагистралей города Донецка и парковых зонах. В ходе исследования были оценены деревья шести видов рода *Acer* L. в условиях степной зоны Донбасса: *Acer campestre* L., *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Acer saccharinum* L., *Acer tataricum* L. Жизнеспособность деревьев оценивали с помощью интегральной шкалы Алексеева. Для оценки прочности и механической устойчивости древесных растений, произрастающих в условиях урбанизированного города, использовали следующие параметры: сопротивление изгибу, предельно допустимая нагрузка и масса, относительное сопротивление изгибу.

Результаты. В результате проведенных исследований описаны эколого-биологические свойства шести видов рода *Acer* L. Определена жизнеспособность, морфометрические параметры и возрастная структура насаждений *Acer* L. С позиций биомеханики живых систем виды с более высокой плотностью древесины и эластичностью волокон *A. campestre* и *A. platanoides*, демонстрируют повышенную устойчивость к механическим повреждениям, что позволяет им

выдерживать экстремальные погодные явления и сохранять свою структуру в условиях техногенного воздействия. Для растений *A. negundo* с позиций анатомических особенностей древесины и физико-механических свойств тканей в условиях городской среды уже после 35 лет происходит снижение механической устойчивости на ~60 %, что отражается на аварийности таких деревьев. *A. tataricum* сохраняет стабильные физико-механические характеристики как в условиях контроля, так и на территориях, подверженных антропогенному воздействию. Это обстоятельство указывает на потенциальную целесообразность его применения в проектах озеленения. Однако, учитывая его агрессивность, рекомендуется не масштабное, а выборочное использование, например, для формирования живых изгородей или аллейных посадок.

Заключение. Полученные результаты могут быть использованы для разработки стратегий озеленения городов с учетом устойчивости и адаптивности различных видов рода *Acer* L. Это позволит создать более устойчивые и функциональные городские экосистемы в условиях изменяющегося климата, а также способные выдерживать действие антропогенных факторов и обеспечивать благоприятные условия для жизни человека и животных.

Ключевые слова: *Acer* L.; экологические факторы; биомеханика живых систем; механическая устойчивость растений; адаптации; Донбасс

Для цитирования. Корниенко, В. О., Шкиренко, А. О., Реуцкая, В. В., Дзедиров, Д. А., Шевченко, В. Н., Одабашян, М. Ю., Теплякова, С. В., Вершинина, А. В., & Мангасарян, Д. С. (2025). Эколого-биологические особенности видов рода *Acer* L., произрастающих вдоль автомагистралей. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 17(6-2), 494-523. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1571>

Original article

ECOLOGICAL AND BIOLOGICAL FEATURES OF SPECIES OF THE GENUS ACER L. GROWING ALONG THE HIGHWAYS

V.O. Kornienko, A.O. Shkirenko, V.V. Reutskaya, D.A. Dzhedirov, V.N. Shevchenko, M.Yu. Odabashyan, S.V. Teplyakova, A.V. Vershinina, D.S. Mangasaryan

Abstract

Background. At the present stage of urban development in Donbass, the problem of the ecological state of the environment and the assessment of ecosystem

sustainability has become particularly acute, aggravated by the impact of new anthropogenic and manmade factors. One of the priority tasks of the region is the selection of species and the scientific substantiation of the list of the main forest-forming species of Donbass.

Purpose. The purpose of this study is to evaluate the ecological and biological properties of species of the genus *Acer* L., growing in the changing climate of Donbass and anthropogenic stress.

Materials and methods. Field research and material collection were carried out in the period from 2023 to 2025 along the highways of Donetsk city and park areas. During the study, trees of six species of the genus *Acer* L. were evaluated, in the conditions of the steppe zone of Donbass: *Acer campestre* L., *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Acer saccharinum* L., *Acer tataricum* L. The viability of the trees was assessed using the Alekseev integral scale. To assess the strength and mechanical stability of woody plants growing in an urbanized city, the following parameters were used: bending resistance, maximum permissible load and weight, relative bending resistance.

Results. As a result of the conducted research, the ecological and biological properties of six species of the genus *Acer* L. are described. The viability, morphometric parameters, and age structure of *Acer* L. plantings have been determined. From the standpoint of biomechanics of living systems, species with higher wood density and fiber elasticity, *A. campestre* and *A. platanoides*, demonstrate increased resistance to mechanical damage, which allows them to withstand extreme weather events and maintain their structure in conditions of anthropogenic impact. For plants *A. negundo*, from the standpoint of the anatomical features of wood and the physico-mechanical properties of tissues in an urban environment, after 35 years, mechanical stability decreases by ~60%, which affects the accident rate of such trees. *A. tataricum* retains stable physico-mechanical characteristics both under control conditions and in areas exposed to anthropogenic influences. This fact indicates the potential expediency of its use in landscaping projects. However, given its aggressiveness, selective rather than large-scale use is recommended, for example, for the formation of hedges or alley plantings.

Conclusion. The results obtained can be used to develop urban greening strategies, taking into account the sustainability and adaptability of various species of the genus *Acer* L. This will create more stable and functional urban ecosystems in a changing climate, as well as capable of withstanding anthropogenic factors and providing favorable conditions for human and animal life.

Keywords: *Acer* L.; ecological factors; biomechanics of living systems; mechanical stability of plants; adaptations; Donbass

For citation. Kornienko, V. O., Shkirenko, A. O., Reutskaya, V. V., Dzhedirov, D. A., Shevchenko, V. N., Odabashyan, M. Yu., Teplyakova, S. V., Vershinina, A. V., & Mangasaryan, D. S. (2025). Ecological and biological features of species of the genus *Acer* L. growing along the highways. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 17(6-2), 494-523. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1571>

Введение

На современном этапе развития городов Донбасса особую остроту приобрела проблема экологического состояния окружающей среды и оценки устойчивости экосистем, усугубляемая воздействием новых антропогенных и техногенных факторов [1-16]. Решение этой многоаспектной задачи требует консолидированных усилий Правительства Донецкой Народной Республики, соответствующих министерств и ведомств, Российской академии наук, ведущих высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов региона, направленных на разработку и внедрение эффективных стратегий экологической реабилитации и устойчивого развития.

Министерство природных ресурсов и экологии Донецкой Народной Республики в сфере охраны окружающей среды и лесного хозяйства определило перечень первоочередных экологических проблем и задач, требующих незамедлительного решения в 2025 году и на ближайшую пятилетнюю перспективу:

- подбор пород и научное обоснование списка основных лесообразующих пород для Донецкой Народной Республики;
- исследование причин массового усыхания хвойных пород на территории Донецкой Народной Республики и разработка эффективных мер для предотвращения данного процесса;
- комплексные обследования и оценка текущего состояния особо охраняемых природных территорий;
- состояние флоры, фауны и ландшафтов Донбасса;
- разработка первоочередных мер по обеспечению сохранности природных комплексов особо охраняемых природных территорий ДНР;
- подготовка перечня инвазивных видов растений и животных, представляющих угрозу для особо охраняемых природных территорий ДНР. Разработка первоочередных мер по борьбе с данными видами.

Поставленные задачи только подтверждают актуальность настоящих исследований по оценке флоры Донбасса, адаптивных способностях дре-

весных растений в условиях изменяющегося климата, новых антропогенных и техногенных факторов.

В условиях Донбасса, где экологическое равновесие подвержено постоянным испытаниям, механическая устойчивость древесных растений приобретает особое значение, дополняя классические эколого-биологические характеристики [2, 5, 7, 11, 13, 14, 17-23]. Принципы биомеханики становятся незаменимым инструментом при определении предельных нагрузок, которые способны выдержать скелетные ветви и стволы деревьев [2, 11, 13, 22, 23].

Устойчивость растений к механическим повреждениям определяется целым рядом взаимосвязанных факторов [2, 5, 7, 11, 20, 22, 23]:

- Направление нагрузки: в условиях современного Донецка, где нарушение целостности дендроценозов привело к формированию новых ветровых коридоров, учет направления нагрузки становится особенно актуальным. Возникновение этих «ветровых окон» изменяет привычные векторы воздействия на древесные насаждения.

- Физико-механические свойства древесины: модуль упругости (MOE), предел прочности при изгибе (MOR) и плотность древесины (ρ) являются ключевыми показателями, определяющими способность дерева сопротивляться деформации и разрушению.

- Влажность древесины: содержание влаги в древесине (MC, %) оказывает существенное влияние на ее механические свойства.

- Возраст растений: с возрастом структура древесины претерпевает изменения, что, в свою очередь, сказывается на ее механической устойчивости.

- Условия произрастания: факторы окружающей среды, включая уровень антропогенной нагрузки, оказывают непосредственное воздействие на развитие и механические свойства древесных растений.

Видоспецифичность биомеханических свойств растений обуславливает необходимость углубленных исследований для выявления наиболее адаптированных видов, способных не только выдерживать специфические нагрузки городской среды, но и демонстрировать устойчивость к ее неблагоприятным факторам. Учитывая ограниченность научных данных, преимущественно сосредоточенных на технической древесине или живых деревьях в узлокализированных ареалах, экстраполяция этих значений на городские насаждения сопряжена с риском значительных погрешностей. Чувствительность физико-механических параметров древесины к условиям произрастания и экологическим факторам требует осторожного подхода к оценке механической устойчивости городских деревьев [2, 5, 7,

11, 13]. В условиях антропогенного загрязнения и под воздействием природно-климатических факторов влияние биомеханики тканей древесных растений на формирование устойчивых насаждений остается областью, требующей дальнейшего изучения.

В контексте изменяющегося климата Донбасса и высокого уровня техногенной нагрузки комплексная оценка экосистем и их компонентов представляет собой сложную задачу. Изменения физических и механических характеристик древесных растений являются адаптивной реакцией на экологические факторы [24], включая повреждения, наносимые паразитами и травоядными животными [25]. Следовательно, жизнеспособность древесных растений в условиях антропогенного загрязнения во многом определяется физико-механическими свойствами их тканей, подвергающимися интенсивному давлению естественного отбора [25]. Механические свойства древесины играют определяющую роль в выполнении экологических функций деревьев в городской среде [5, 7, 22, 23, 26-30].

The aim of the work is to present the ecological and biological characteristics of species of the genus *Acer* L. under anthropogenic load.

Материалы и методы

Предмет исследования. В ходе проведения мониторинговых исследований комплексно проанализировали шесть видов рода *Acer* L.: *Acer campestre* L., *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Acer saccharinum* L., *Acer tataricum* L. Общее количество растений, произрастающих на территории с повышенным уровнем антропогенной нагрузки, составило 1798 ед., на контрольной территории была сформирована группа из 300 деревьев.

Область исследования. Полевые исследования и сбор материала осуществляли в период с 2023 по 2025 г. вдоль автомагистралей города Донецка (Fig. 1, позиция 1-5). Дополнительно были изучены растения, произрастающие в условиях относительного контроля на территории Донецкого ботанического сада (северный и южный массивы), а также парковых зон (центральный парк культуры и отдыха имени А.С. Щербакова, парк культуры и отдыха имени Ленинского комсомола, бульвар Пушкина, парк кованых фигур) (Рис. 1, позиция 6 и 7). Дальнейшую камеральную обработку первичного материала и анализ данных осуществляли на базе научно-исследовательской лаборатории мониторинга и прогнозирования экосистем Донбасса.

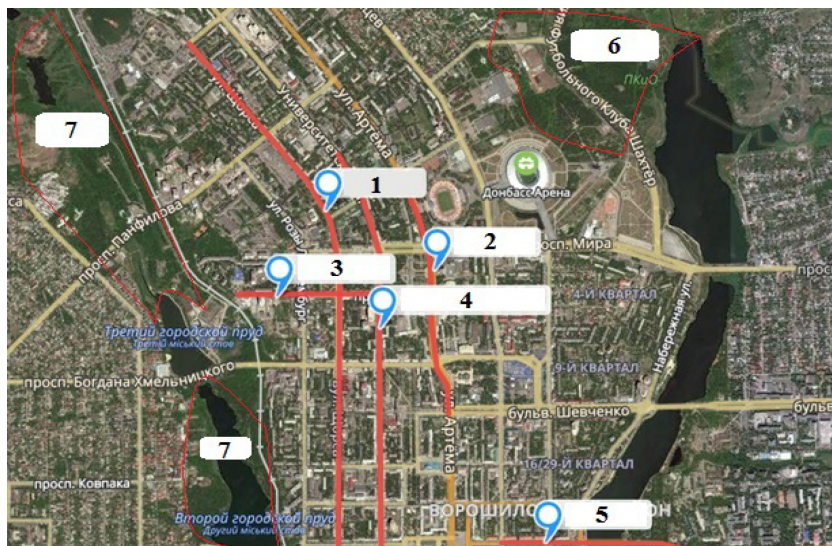


Рис. 1. Область исследований *Acer L.*, произрастающего вдоль автомобильных дорог города Донецка (1-5) и растущего в контрольных условиях (6-7).

Обозначения: 1 – ул. Скорса; 2 – ул. Артема; 3 – пр. Ватутина; 4 – ул. Университетская; 5 – пр. Ильича; 6 – Парк культуры и отдыха имени Ленинского комсомола; 7 – Парк культуры и отдыха имени Щербакова.

Анализ антропогенной нагрузки на исследуемую территорию. Интенсивность движения транспортных средств на исследуемых участках оценивалась путем подсчета количества точек измерения, проходимых конкретными типами транспортных средств за единицу времени (ГОСТ 20444-85 «Шум»).

Уровни шума измерялись с помощью портативного шумомера Benetech (точность ± 1 дБА). Оценка нормирования уровней зашумления вдоль автомагистралей проводилась по SP 51.13330.2011: Noise Protection (Updated SNiP 23-03-2003), согласно которому уровень звука в течение дня не должен превышать 55 дБА (в дневное время), а максимальный уровень звука не более 70 дБА.

Дендрологические исследования. Оценку жизнеспособности проводили с использованием интегрированной шкалы Алексева с модификациями для оценки повреждений ствола и кроны [31]: 1 балл – здоровое растение; 2 – ослабленное; 3 – сильно ослабленное; 4 – отмирающее; 5 – сухостой. При этом учитывали состояние кроны (оценка листового аппарата, формы, плотности, механических повреждений, общей архитек-

тоники), состояние ствола (оценка повреждений и дефектов, поражений различными заболеваниями и вредителями).

Данные визуального осмотра изучаемых деревьев были задокументированы с помощью камеры Nikon Coolpix S2600 (Япония). Последующая офисная обработка и анализ изображений были выполнены в программном обеспечении AxioVision Rel. 4.8 с эталонным масштабированием. Было проанализировано более 1700 цифровых изображений для изучения архитектуры кроны и дефектов ствола. Диаметр ствола измеряли с помощью штангенциркуля Haglöf Mantax (Швеция).

Биомеханические методы исследования. Для оценки прочности и механической устойчивости древесных растений, произрастающих в условиях урбанизированного города, использовали следующие параметры:

P_{cr} и m_{cr} – предельно допустимая нагрузка и масса, при действии которой происходит необратимая деформация скелетной ветви или ствола, начало разрыва (микроразрывы) тканей и даже облом скелетной ветви или ствола растения [32, 33]:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{2l^2}, \quad (1),$$

$$m_{cr} = \frac{P_{cr}}{g}, \quad (2),$$

где I – момент инерции сечения, l – длина ствола или скелетной ветви, g – ускорение силы тяжести.

RRB – относительное сопротивление изгибу [33]:

$$RRB = \frac{r^2 E}{4\rho}, \quad (3),$$

где, r – радиус основания ствола или скелетной ветви, E – модуль упругости тканей древесины, ρ – плотность древесины.

В частности, способность сопротивляться изгибу определяется как произведение модуля упругости (E) и второго момента сечения (I) ствола (5). [34]:

$$\text{Сопротивление изгибу} = E \cdot I \quad (4),$$

где, $I = \frac{\pi D^4}{4}$, (5); d – диаметр ствола или скелетной ветви.

Модуль упругости (модуль Юнга) определяли по величине изгиба цилиндра обрезанной ветви, горизонтально закреплённой в тисках, в ответ на приложение силы на её свободном конце по формуле [32]:

$$E = \frac{64Cl^3}{3\pi d^4} \quad (6),$$

где C – жёсткость цилиндра, l – его длина, d – диаметр.

Жёсткость защемлённого одним концом цилиндра рассчитывали как:

$$C = \frac{m \cdot g}{x} \quad (7).$$

где m – масса приложенного груза, g – ускорение силы тяжести, x – смещение свободного конца цилиндра.

Погрешность измерения модуля упругости для различных образцов варьировала от ~5 до ~12% от измеренного значения.

The Microsoft® Excel® LTSC MSO (version 2505, Assembling 16.0.18827.20102) (Microsoft Corporation) был использован для статистической обработки данных. Зависимость критической массы (m_{cr}), сопротивления изгибу (EI) и RRB от коэффициента d/l и диаметра ствола для исследуемых растений была установлена с использованием степенной регрессионной модели.

Результаты исследования

Результаты анализа антропогенной нагрузки на исследуемую территорию. Результаты оценки антропогенной нагрузки на пробных площадях представлены в таблице 1-2. Интенсивность транспортного потока отражает высокий (ул. Артема, пр. Ильича, ул. Университетская) и средний (пр. Ватутина, ул. Щорса) уровень нагрузки на зелёные насаждения, произрастающие вдоль автомагистралей. В среднем, на всех изученных участках, преобладающим видом транспорта являются легковые автомобили. Доля иностранных авто составляет около 70 %. На долю легковых внедорожников приходится до 15%. На долю транспорта, вызывающего критическое зашумление территории (~90 дБА) приходится до 7 %.

Таблица 1.

Средние значения интенсивности транспортного потока в будние дни вдоль центральных автомагистралей г. Донецка

№	Вид транспорта				Итого, ед./час*
	Грузовой*		Пассажирский*		
	Легкий	Тяжелый	Легковой	Автобусы	
1	7±2	10±1	625±71	0	642±74
2	15±3	5±2	1209±225	12	1241±242
3	17±6	38±14	409±34	0	465±54
4	70±31	18±14	1140±599	92±8	1330±686
5	77±5	17±9	1268±87	63±5	1424±60

Примечания: 1 – ул. Скорса.; 2 – ул. Артема; 3 – пр. Ватутина; 4 – ул. Университетская.; 5 – пр. Ильича; * стандартное отклонение зависело от квартала (участка) и особенностей проезда на территории.

Анализ нормирования шума на участках показал значительные превышения, как по эквивалентному значению, так и по максимумам (Таблица 2).

Таблица 2.

**Вибрационно-акустическое зашумление в будние дни
вдоль центральных автомагистралей г. Донецка**

Номер	max	min	Среднее значение \pm SD
1	81,7 \pm 3	61,6 \pm 2	73,7 \pm 2
2	88,9 \pm 6	69,4 \pm 3	80,7 \pm 2
3	78,8 \pm 1	62,8 \pm 2	72,5 \pm 3
4	87,1 \pm 3	58,4 \pm 3	75,5 \pm 3
5	85,4 \pm 3	68,8 \pm 1	77,1 \pm 4

Примечания: 1 – ул. Скорса.; 2 – ул. Артема; 3 – пр. Ватутина; 4 – ул. Университетская.; 5 – пр. Ильича.

В среднем на участках с высокой интенсивностью движения зашумление по эквивалентному значению превысило 40%, по максимумам 24,5%, а для территорий со средней загруженностью транспортными средствами эквивалентное значение шума было превышено на 31-34%, по максимумам превышение составило в среднем не более 14 %.

Эколого-биологическое описание объектов исследования. *Acer campestre* L. – вид аборигенной флоры Донбасса [35]. Представленность в современном городе Донецке низкая, в совокупности с *A. saccharinum* и *A. tataricum* в обследованных насаждениях составила менее 1%. Если взять более широкую территорию Донбасса, вид чаще встречается в зеленых насаждениях Макеевки, Харцызска, Красноармейска, Славянска, Авдеевки и др. [36]. Снижение жизнеспособности наблюдается после 45-50 лет, что является отличным показателем для урбанизированных территорий. *Acer negundo* L. – клён ясенелистный одним из первых использовался в озеленении Юзовки, эти следы до сих пор присутствуют в зелёных насаждениях современного города. Представленность *A. negundo* составляет около 3 % от общего количества древесных пород [37, 38]. Расценивается как агрессивный, инвазивный вид-трансформер, представляющий угрозу аборигенным растительным сообществам. В условиях Донбасса старение и ухудшение жизнеспособности деревьев клена ясенелистного наблюдается после 30-35 лет. Плотность тканей снижается (в том числе из-за дендрофильных насекомых), древесина становится рыхлой,

что отражается на аварийности деревьев и не редко в Донецке наблюдается выпадение растений данного вида после ветровалов, снежных и ледяных бурь. Особенно опасными считаются температурные флуктуации внутри сезона вследствие изменения климата в регионе. *Acer platanoides* L. – входит в состав аборигенной фракции местной флоры [39]. Репрезентативность в насаждениях составила ~9 %. Относительно устойчив к комплексному воздействию транспортного потока как основного источника антропогенной нагрузки в возрасте 30 лет и более. Молодые саженцы, произрастающие вдоль центральных автомагистралей, испытывают серьёзный антропопрессинг и по результатам биоиндикационных исследований находятся в стрессе (ул. Университетская (особенно район АВ «Южный»), пр. Ильича (особенно территория Макеевского шоссе), ул. Артема (стадион «Олимпийский»)). Вид в целом пригоден для посадки в первом ряду вдоль автомагистралей, однако перспективнее его использовать во втором ряду при удалении на 4-5 метров от источника загрязнения, а также при формировании лесозащитных полос. Декоративен в течение всего периода вегетации. В условиях ветровалов и зимних природных аномалий (снежные и ледяные бури) Донецка, вид устойчив к действию механических нагрузок. *Acer pseudoplatanus* L. – один из наиболее многочисленных видов в зелёных насаждениях Донецка, его представленность составляет чуть более 6 % в дендроценозах центральных автомагистралей города и около 2% от всех видов древесных растений Донецка. При недостатке влаги и механических повреждениях снижаются прочность древесины и механическая устойчивость дерева, в связи, с чем растения требуют регулярной обрезки сухих и поврежденных побегов. Высокие температуры могут отражаться на физиологическом состоянии растений (некроз и преждевременное опадание листьев, усыхание отдельных побегов), особенно в летний период для растений 1 ряда вдоль автомагистралей. *Acer saccharinum* L. – в насаждениях современного Донецка составляет около 0,3% от всех видов древесных растений. С позиций биомеханики вид является среднеустойчивым в условиях сухой степи, т.к. в нем сочетаются древесина с низкими значениями физико-механических свойств тканей (Е, ρ) и высокими морфометрическими показателями ствола и кроны (Рис. А, В, D). При достижении критического возраста в условиях города Донецка становится аварийным, а с учетом повреждения древесины вредителями, часто выпадает даже при незначительных ветровалах (Рис. 2 В-D).



Рис. 2. Состояние старовозрастных деревьев *Acer saccharinum* L. в Донецке. Обозначения: А – старовозрастной экземпляр (73-75 лет) в парке кованных фигур; В-С – выпавшее старовозрастное дерево достигшее критического возраста на бул. Пушкина; D – спил с текстурой тканей растения из ксилотеки научно-исследовательской лаборатории мониторинга и прогнозирования экосистем Донбасса (ДонГУ).

Acer tataricum L. – вид аборигенной флоры Донбасса. В условиях города это дерево до 7 метров высотой с густой кроной. Выдерживает морозы и

весенние перепады температуры характерные в условиях изменяющегося климата, декоративен, засухоустойчив, что особенно ценно в сухой степи Донбасса, устойчив к промышленным выбросам.

По результатам экоморфного анализа *A. negundo* по отношению к свету является Heliosciophytes, виды *A. campestre*, *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus* и *A. tataricum* – Sciophytes, а вид *A. saccharinum* – Heliophytes [36]. Что важно в понимании устойчивости экосистем (или конкретных дендроценозов, состоящих из данных видов) в условиях Донбасса.

Дендрологические исследования. По результатам полевых исследований и дальнейшей камеральной обработки данных провели обобщение средних дендрометрических показателей *Acer* L. (Таблица 3). Установили, что диаметр ствола у основания достоверно ($p < 0.05$) был выше на территории с высокой антропогенной нагрузкой на 11 % для *Acer campestre* L. и на 26 % для *A. pseudoplatanus*. В условиях относительного контроля деревья *A. saccharinum* значительно (на 70% по высоте и в 3 раза по диаметру) превосходят в размерах растения, произрастающие под влиянием антропогенной нагрузки. Для аборигенного вида *A. tataricum* превышение морфометрических параметров составляло 50% (высота) и 24 % (диаметр основания).

Возрастная структура насаждений *Acer* L. неравномерна по всему городу, в том числе и на выбранных модельных территориях. Например, при создании парка имени А.С. Щербакова в первые годы для массового озеленения территории степи использовали виды *Acer* L. и *Robinia* L., а уже с 50-х годов при озеленении автомагистралей Донецка чаще использовали виды рода *Populus* L. [22]. В Донецком ботаническом саду произрастают растения как под контролем сотрудников сада (северный массив) с учетом омоложения коллекций, так и исторически сложившиеся коллекции (без ухода, произрастают в естественных условиях степной зоны) на территории дендрария (южный массив). Оценивая спелые насаждения, ценные с точки зрения экологической безопасности региона, можно сделать вывод о доминировании аборигенных видов *Acer campestre* L., *Acer platanoides* L. и *Acer tataricum* L. с точки зрения жизнеспособности. Растения себя отлично чувствуют в дендроценозах парков и относительного контроля, но также и в условиях антропогенного загрязнения.

С позиции экологии интересен вид *A. saccharinum*. Он единственный из видов рода *Acer* L. представлен в перечне выдающихся видов Донецка (возраст, размеры, состояние). Однако он и несет наибольшую опасность в условиях изменяющегося климата (участвовавшие ветровалы, пылевые бури, перепады температуры внутри сезона и т.д.). Растение имеет значительные размеры: до

25 метров в высоты с диаметром около 60 см. При дополнительном уходе, такие растения являются украшением дендрофлоры города, однако всё чаще при повреждении тканей вредителями становятся аварийными и падают в условиях высокой рекреационной нагрузки (например, бульвары, парки).

Таблица 3.

Лесоводственно таксационная характеристика спелых насаждений *Acer L.* в возрасте 40-60 лет в городе Донецке

Вид	Высота \pm SD, ь	$D_{base} \pm$ SD, ь	% от вы- борки	Оценка жизне- способности дерева \pm SD
В условиях антропогенного загрязнения				
<i>Acer campestre</i> L.	12,0 \pm 1,0	0,35 \pm 0,05	54	2 \pm 1
<i>Acer negundo</i> L.	14 \pm 2,8	0,39 \pm 0,13	40	4 \pm 1
<i>Acer platanoides</i> L.	15,0 \pm 3,1	0,27 \pm 0,11	39	2 \pm 1
<i>Acer pseudopla-</i> <i>tanus</i> L.	13,3 \pm 4,0	0,35 \pm 0,04	13	3 \pm 1
<i>Acer saccharinum</i> L.	13,8 \pm 1,2	0,17 \pm 0,02	41	3 \pm 1
<i>Acer tataricum</i> L.	3,0 \pm 0,5	0,17 \pm 0,05	2	2 \pm 1
В условиях относительного контроля				
<i>Acer campestre</i> L.	11 \pm 1,1	0,31 \pm 0,03	38	2 \pm 1
<i>Acer negundo</i> L.	14,4 \pm 0,9	0,41 \pm 0,07	16	3 \pm 1
<i>Acer platanoides</i> L.	21,9 \pm 1,3	0,28 \pm 0,05	21	2 \pm 1
<i>Acer pseudopla-</i> <i>tanus</i> L.	12,9 \pm 0,6	0,26 \pm 0,02	11	2 \pm 1
<i>Acer saccharinum</i> L.	23,5 \pm 1,5	0,59 \pm 0,15	51	3 \pm 1
<i>Acer tataricum</i> L.	4,5 \pm 0,5	0,21 \pm 0,05	1	2 \pm 1

Результаты биомеханического исследования. Необходимость изучения биомеханических свойств древесины городских насаждений обусловлена их значительным влиянием на устойчивость к ветровым нагрузкам и снегопадам, особенно в регионах с нестабильными климатическими условиями, таких как Донбасс. Биомеханические исследования видов рода *Acer L.* показали, что виды с более высокой плотностью древесины и эластичностью волокон *A. campestre*, *A. platanoides*, демонстрируют повышенную устойчивость к механическим повреждениям, что позволяет им выдерживать экстремальные погодные явления и сохранять свою структуру в условиях техногенного воздействия (Рис. 3, 4, 5). У молодых особей клёна остролистного, в период до достижения 25-летнего возраста, наблюдается повышенная восприимчивость к механическим напряжениям. В это

время, адаптивные механизмы растения ориентированы на обеспечение большей гибкости, нежели жёсткости структуры. Однако, по мере достижения зрелости, функциональность растительного организма претерпевает изменения, направленные на повышение устойчивости к деформациям, обусловленным динамическими нагрузками. Отмечается, что прочность ствола и крупных ветвей клёна характеризуется последовательным увеличением, которое пропорционально возрастает с увеличением статической и динамической нагрузки, действующей на дерево по мере его старения.

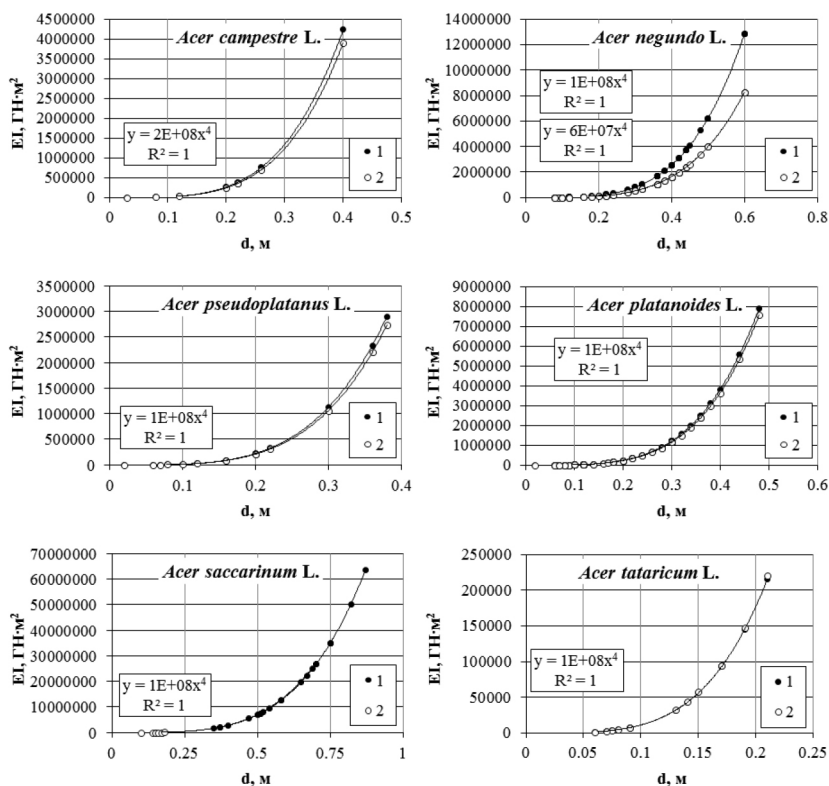


Рис. 3. Зависимость жёсткости на изгиб от диаметра ствола для видов рода *Acer* L.

Для деревьев *A. negundo* произрастающих в условиях относительного контроля зависимость жёсткости на изгиб устойчива и имеет высокие показатели, однако в условиях городской среды уже после 35 лет (с учетом повреждения

тканей дереворазрушающими вредителями) механическая устойчивость снижается (на ~60 %), что отражается на аварийности таких деревьев.

Анатомические особенности древесины *A. negundo* характеризуется более рыхлой структурой древесины и крупными сосудами, что делает его более уязвимым к воздействию патогенов и механическим повреждениям. Полученные данные свидетельствуют об исключении использования данного вида в урбоэкосистемах.

A. tataricum демонстрирует постоянство своих физико-механических свойств как в условиях контроля, так и на антропогенно нарушенных территориях (Рис. 3, 4, 5). Этот показатель может быть использован в качестве маркера устойчивости при подборе видов для озеленения.

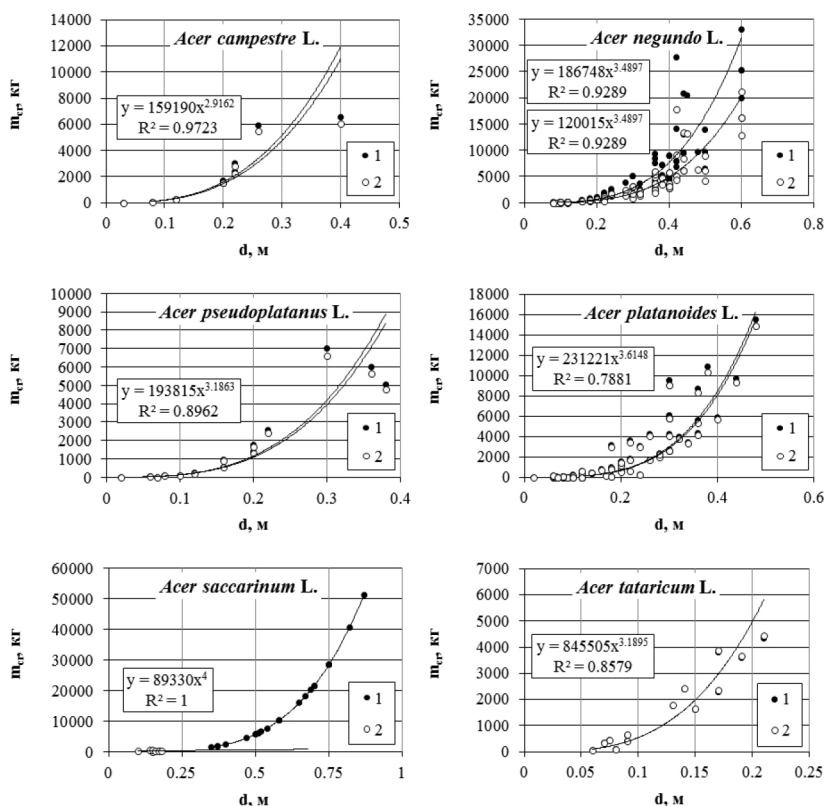


Рис. 4. Зависимость критической массы от диаметра ствола для видов рода *Acer* L.

В условиях относительного контроля деревья *A. saccharinum* компенсируют недостатки физико-механических свойств внушительными размерами ствола и кроны (Рис. 3-5). Регрессионная зависимость носит степенной характер, демонстрируя кратное увеличение критической массы на каждые 10 сантиметров диаметра, особенно выраженное после достижения $d = 0,5$ м (Рис. 4). Однако в условиях антропогенного загрязнения устойчивость этих растений снижается (после 30 лет), усугубляясь значительными повреждениями тканей, вызванными дендрофильными насекомыми. Полученные данные свидетельствуют об ограничении целесообразности использования данного вида в урбоэкосистемах.

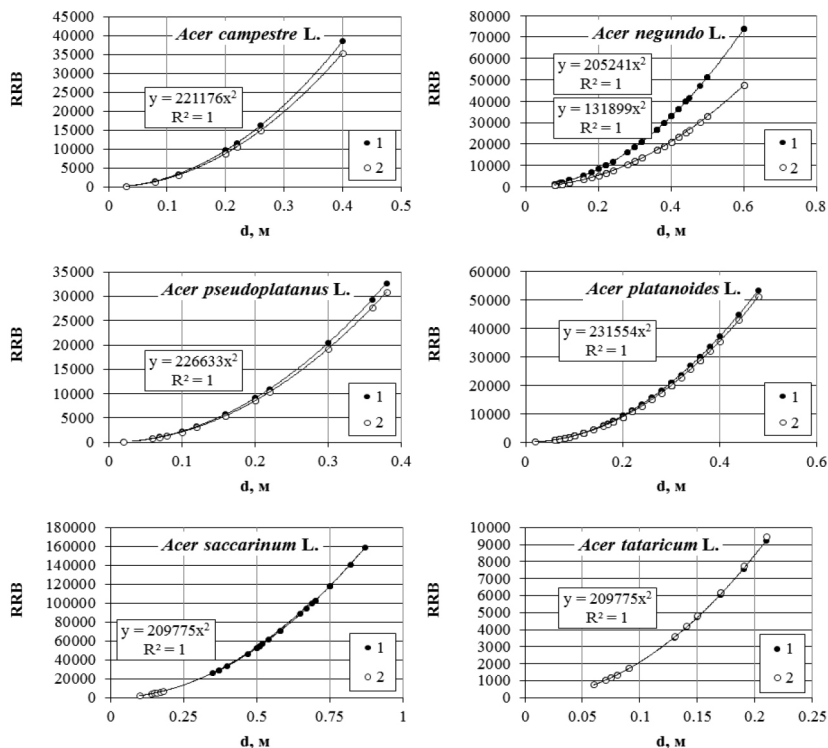


Рис. 5. Зависимость относительного сопротивления изгибу от диаметра ствола для видов рода *Acer* L.

Механическая устойчивость *A. pseudoplatanus* в степных условиях существенно зависит от действия экологических факторов, таких как высокие

летние температуры и уровень влажности почвы, а также от аутоэкологических особенностей явора. Древесина этого вида восприимчива к поражению грибом *Cryptostroma corticale* (Ellis & Everh., 1889), что влечет за собой значительное снижение физико-механических свойств живых тканей растения, ослабляя его общую структуру и сопротивляемость внешним воздействиям. Развитие корневой системы явора происходит преимущественно в горизонтальной плоскости, вблизи поверхности почвы. Следовательно, при посадке в ограниченные по площади лунки корневая система не имеет возможности полноценного развития и функционирования, что негативно сказывается на стабильности и жизнеспособности дерева.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки стратегий озеленения городов с учетом устойчивости и адаптивности различных видов рода *Acer* L. Это позволит создать более устойчивые и функциональные городские экосистемы в условиях изменяющегося климата, а также способные выдерживать действие антропогенных факторов и обеспечивать благоприятные условия для жизни человека и животных.

Заключение

Определена антропогенная нагрузка изученных территорий Донецка, где произрастают различные виды рода *Acer* L. Интенсивность транспортного потока отражает высокий (более 1200 ед./час – ул. Артема, пр. Ильича, ул. Университетская) и умеренный (400-700 ед./час – пр. Ватутина, ул. Щорса) уровень нагрузки на зелёные насаждения, произрастающие вдоль автомагистралей. На участках с высокой интенсивностью движения зашумление по эквивалентному значению превысило 40 % от предельного уровня, по максимумам 24,5 %. Для зон с умеренной транспортной нагрузкой зафиксировано превышение эквивалентного уровня шума на 31-34%, при этом максимальные значения превышают норму в среднем не более чем на 14%.

Описаны эколого-биологические свойства шести видов рода *Acer* L. в условиях степной зоны Донбасса: *Acer campestre* L., *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Acer saccharinum* L., *Acer tataricum* L. Определены морфометрические параметры спелых насаждений *Acer* L. Установили, что диаметр ствола у основания достоверно ($p < 0.05$) был выше на территории с высокой антропогенной нагрузкой на 11 % для *A. campestre* и на 26 % для *A. pseudoplatanus*. В условиях относительного контроля деревья *A. saccharinum* значительно (на 70% по высоте и в 3 раза по диаметру) превосходят в размерах растения, произрастающие под влиянием антропогенной нагрузки. Для аборигенного вида *A. tataricum* пре-

вышение морфометрических параметров составляло 50% (высота) и 24% (диаметр основания).

Распределение возрастных групп в древостоях, образованных кленами рода *Acer* L., характеризуется неоднородностью. Анализ, проведенный с учётом представленности и жизнеспособности спелых насаждений в регионе, указывает на доминирование аборигенных видов *A. campestre*, *A. platanoides* и *A. tataricum* (2 ± 1 балл). Указанные виды кленов демонстрируют высокую адаптивность и успешно развиваются в условиях относительного контроля, а также в условиях повышенного антропогенного загрязнения.

С позиций биомеханики живых систем виды с более высокой плотностью древесины и эластичностью волокон *A. campestre* и *A. platanoides*, демонстрируют повышенную устойчивость к механическим повреждениям, что позволяет им выдерживать экстремальные погодные явления и сохранять свою структуру в условиях техногенного воздействия. Для растений *A. negundo* с позиций анатомических особенностей древесины и физико-механических свойств тканей в условиях городской среды уже после 35 лет происходит снижение механической устойчивости на ~60%, что отражается на аварийности таких деревьев. Полученные данные свидетельствуют об исключении использования данного вида в урбоэкосистемах. Исследования показали, что *A. tataricum* сохраняет стабильные физико-механические характеристики как в условиях контроля, так и на территориях, подверженных антропогенному воздействию. Это обстоятельство указывает на потенциальную целесообразность его применения в проектах озеленения. Однако, учитывая его агрессивность, рекомендуется не масштабное, а выборочное использование, например, для формирования живых изгородей или аллейных посадок.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки стратегий озеленения городов с учетом устойчивости и адаптивности различных видов рода *Acer* L. Это позволит создать более устойчивые и функциональные городские экосистемы в условиях изменяющегося климата, а также способные выдерживать действие антропогенных факторов и обеспечивать благоприятные условия для жизни человека и животных.

Информация о конфликте интересов. Авторы не выразили конфликт интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания 124051400023-4 «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса».

Список литературы

1. Гермонова, Е. А., & Сафонов, А. И. (2023). Геоинформационная визуализация данных по атипичному морфогенезу растений экотопов Донбасса. Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, (1–2), 13–22. EDN: <https://elibrary.ru/QECLTU>
2. Корниенко, В. О., & Яицкий, А. С. (2024). Онтогенетические изменения механической устойчивости основных видов древесных растений в экосистемах города Донецка. Самарский научный вестник, 13(1), 30–38. <https://doi.org/10.55355/snv2024131104>. EDN: <https://elibrary.ru/LYEGSZ>
3. Safonov, A. I., Alemasova, A. S., Zinikovscaia, I. I., et al. (2023). Morphogenetic abnormalities of bryobionts in geochemically contrasting conditions of Donbass. *Geochemistry International*, 61(10), 1036–1047. <https://doi.org/10.1134/S0016702923100117>. EDN: <https://elibrary.ru/FICFYS>
4. Зиньковская, И. И., Сафонов, А. И., Юшин, Н. С. и др. (2024). Ингредиентный фитомониторинг в Донбассе для идентификации новых геохимических аномалий. *Экологическая химия*, 33(1), 19–32. EDN: <https://elibrary.ru/DSDGFO>
5. Korniyenko, V. O., & Kalaev, V. N. (2022). Impact of natural climate factors on mechanical stability and failure rate in silver birch trees in the city of Donetsk. *Contemporary Problems of Ecology*, 15(7), 806–816. <https://doi.org/10.1134/s1995425522070150>. EDN: <https://elibrary.ru/EUVZMY>
6. Сафонов, А. И., Догадкин, Д. Н., & Неспирный, В. Н. (2024). Фитогеохимические особенности некоторых отвалов угольных шахт в Донбассе. Вестник ДонНУ. Серия А: Естественные науки, (3). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13758560>. EDN: <https://elibrary.ru/OZLOUB>
7. Корниенко, В. О., & Калаев, В. Н. (2024). Жизнеспособность дуба черешчатого в условиях города Донецка. *Сибирский лесной журнал*, (4), 95–106. <https://doi.org/10.15372/SJFS20240409>. EDN: <https://elibrary.ru/SPLUNB>
8. Сафонов, А. И., Калинина, Ю. С., & Палагута, А. П. (2024). Тераогенные эффекты как индикаторные свойства цветковых растений урбанизированных территорий Донецкой агломерации. Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона, (2), 20–30. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13949289>. EDN: <https://elibrary.ru/CZPYKY>
9. Bespalova, S. V., Romanchuk, S. M., Chufitskiy, S. V., et al. (2020). Fluorimetric analysis of the impact of coal sludge pollution on phytoplankton. *Biophysics*, 65(5), 850–857. <https://doi.org/10.1134/S0006350920050024>. EDN: <https://elibrary.ru/KQNZPP>
10. Чуфицкий, С. В., Беспалова, С. В., & Романчук, С. М. (2024). Биомониторинг состояния поверхностных вод Волынцевского водохранилища с

- применением метода флуориметрии. Самарский научный вестник, 13(1), 67–74. <https://doi.org/10.55355/snv2024131109>. EDN: <https://elibrary.ru/BPCWJI>
11. Корниенко, В. О., & Калаев, В. Н. (2024). Механическая устойчивость можжевельника виргинского в условиях степной зоны Восточно-Европейской равнины. Лесоведение, (1), 70–78. <https://doi.org/10.31857/S0024114824010084>
 12. Zinicovscaia, I., Safonov, A., Kravtsova, A., et al. (2024). Neutron activation analysis of rare earth elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the diagnosis of ecosystems of Donbass. Physics of Particles and Nuclei Letters, 21(2), 186–200. <https://doi.org/10.1134/S1547477124020158>. EDN: <https://elibrary.ru/XTYWUI>
 13. Корниенко, В. О., & Калаев, В. Н. (2022). Влияние природно-климатических факторов на механическую устойчивость и аварийность деревьев берёзы повислой в г. Донецке. Лесоведение, (3), 321–334. <https://doi.org/10.31857/S0024114822020073>. EDN: <https://elibrary.ru/KDUHDW>
 14. Корниенко, В. О. (2024). Ретроспективный анализ антропогенного загрязнения города Донецка. Вибрационно-акустическое зашумление. Вестник ДонНУ. Серия А: Естественные науки, (1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.12532574>. EDN: <https://elibrary.ru/TSWEOI>
 15. Федоркина, И. А., Ерофеева, В. В., Аникина, Е. В., & Сафонов, А. И. (2025). Обзор основных тенденций и динамики загрязнения воздуха и почв в регионах Российской Федерации в период 1993–2023 годов. Проблемы региональной экологии, (1), 17–21. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2025-1-17-21>. EDN: <https://elibrary.ru/WZHRFT>
 16. Сафонов, А. И. (2025). Опыт фитоиндикационной оценки антропогенных экотопов Донбасса (обзор). Теоретическая и прикладная экология, (2), 16–29. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2025-2-016-029>. EDN: <https://elibrary.ru/YOFKTG>
 17. Dahle, G. A., & Grabosky, J. C. (2010). Variation in modulus of elasticity (E) along *Acer platanoides* L. (Aceraceae) branches. Urban Forestry & Urban Greening, 3(9), 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.01.004>
 18. James, K. R., Dahle, G. A., Grabosky, J., Kane, B. C., & Detter, A. (2014). Tree biomechanics literature review: Dynamics. Arboriculture & Urban Forestry, 40(1), 1–15. <https://doi.org/10.48044/jauf.2014.001>
 19. Chen, R., Ran, J., Hu, W., et al. (2021). Effects of biotic and abiotic factors on forest biomass fractions. National Science Review, 8(10), nwab025. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab025>. EDN: <https://elibrary.ru/LPNXAI>

20. Dahle, G. A., James, K. R., Kane, B., et al. (2017). A review of factors that affect the static load-bearing capacity of urban trees. *Arboriculture and Urban Forestry*, 43(3), 89–106. EDN: <https://elibrary.ru/YFHYIS>
21. Jelonek, T., Tomczak, A., Jakubowski, M., et al. (2019). The biomechanical formation of trees. *Drewno*, 62(204). <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.318.05>. EDN: <https://elibrary.ru/APSKPF>
22. Kornienko, V., Reuckaya, V., Shkirenko, A., et al. (2025). Silvicultural and ecological characteristics of *Populus bolleana* Lauche as a key introduced species in the urban dendroflora of industrial cities. *Plants*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/plants14132052>. EDN: <https://elibrary.ru/DRDBQF>
23. Kornienko, V., Shkirenko, A., Reuckaya, V., et al. (2025). *Taxus baccata* L. under changing climate conditions in the steppe zone of the East European Plain. *Plants*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/plants14131970>. EDN: <https://elibrary.ru/UTZUUC>
24. Нецветов, М. В., & Суслова, Е. П. (2009). Механическая устойчивость деревьев и кустарников к вибрационным нагрузкам. *Промышленная ботаника*, (9), 60–67.
25. Netsvetov, M. V., Khizhenkov, P. K., & Suslova, E. P. (2009). Introduction to vibration ecology. Donetsk: Weber. 164 p.
26. Rebar, D., & Rodríguez, R. L. (2015). Insect mating signal and mate preference phenotypes covary among host plant genotypes. *Evolution*, 69(3), 602–610. <https://doi.org/10.1111/evo.12604>
27. Rebar, D., & Rodríguez, R. L. (2014). Trees to treehoppers: genetic variation in host plants contributes to variation in the mating signals of a plant-feeding insect. *Ecology Letters*, 17(2), 203–210. <https://doi.org/10.1111/ele.12220>
28. Netsvetov, M., & Nikulina, V. (2010). Seasonal variations of oscillation and vibration parameters of *Acer platanoides*. *Dendrobiology*, (64), 37–42.
29. Корниенко, В. О., & Калаев, В. Н. (2018). Экологическое значение биомеханических свойств древесных растений на примере *Juniperus virginiana* L. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*, (1), 97–103. EDN: <https://elibrary.ru/UORZMG>
30. Netsvetov, M., Prokopuk, Y., Sergeyev, M., et al. (2017). The climate to growth relationships of pedunculate oak in steppe. *Dendrochronologia*, (44), 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.004>. EDN: <https://elibrary.ru/YVEMDP>
31. Алексеев, В. А. (1989). Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. *Лесоведение*, (4), 51–57.
32. Niklas, K. J. (1997). Mechanical properties of black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood: correlations among elastic and rupture moduli, proportional limit, and tissue density and specific gravity. *Annals of Botany*, (79), 473–478.

33. Niklas, K. J., & Spatz, H.-C. (2010). Worldwide correlations of mechanical properties and green wood density. *American Journal of Botany*, 97(10), 1587–1594. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000150>
34. Niklas, K. J. (2016). Tree biomechanics with special reference to tropical trees. In: Goldstein, G., & Santiago, L. S. (Eds.), *Tropical Tree Physiology* (Vol. 6, pp. 413–435). Cham, Switzerland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27422-5>
35. Митина, Л. В., Виноградова, Е. Н., & Хархота, Л. В. (2017). Древесные растения Кавказа в Донецком ботаническом саду. *Hortus Botanicus*, (12), 339–347. <https://doi.org/10.15393/j4.art.2017.4406>. EDN: <https://elibrary.ru/YUTIYL>
36. Suslova, Ye. P. (2018). Formation of urban green areas. 15(1), 244–252.
37. Глухов, А. З., Хархота, Л. В., Пастернак, Г. А., & Лихацкая, Е. Н. (2016). Современное состояние дендрофлоры города Донецка. *Самарский научный вестник*, 5(2), 20–24. <https://doi.org/10.17816/snv20162104>
38. Корниенко, В. О., & Хархота, Л. В. (2023). Мониторинг состояния древесных растений центральной части города Донецка. *Самарский научный вестник*, 12(2), 46–51. <https://doi.org/10.55355/snv2023122107>
39. Ostapko, V. M., Boyko, A. V., & Mosyakin, S. L. (2010). *Vascular plants of the south-east of Ukraine*. Donetsk: Knowledge Publ. 247 p. ISBN: 978-617-579-074-8

References

1. Germonova, E. A., & Safonov, A. I. (2023). Geoinformation visualization of data on atypical morphogenesis of plants in Donbas ecotopes. *Problems of Ecology and Nature Protection in Technogenic Regions*, (1–2), 13–22. EDN: <https://elibrary.ru/QECLTU>
2. Korniyenko, V. O., & Yaitskiy, A. S. (2024). Ontogenetic changes in mechanical stability of main tree species in urban ecosystems of the city of Donetsk. *Samara Scientific Bulletin*, 13(1), 30–38. <https://doi.org/10.55355/snv2024131104>. EDN: <https://elibrary.ru/LYEGSZ>
3. Safonov, A. I., Alemasova, A. S., Ziniovscaya, I. I., et al. (2023). Morphogenetic abnormalities of bryobionts in geochemically contrasting conditions of Donbass. *Geochemistry International*, 61(10), 1036–1047. <https://doi.org/10.1134/S0016702923100117>. EDN: <https://elibrary.ru/FICFYS>
4. Zinkovskaya, I. I., Safonov, A. I., Yushin, N. S., et al. (2024). Ingredient phytomonitoring in Donbas for identification of new geochemical anomalies. *Ecological Chemistry*, 33(1), 19–32. EDN: <https://elibrary.ru/DSDGFO>
5. Korniyenko, V. O., & Kalaev, V. N. (2022). Impact of natural climate factors on mechanical stability and failure rate in silver birch trees in the city of Donetsk.

- Contemporary Problems of Ecology, 15(7), 806–816. <https://doi.org/10.1134/s1995425522070150>. EDN: <https://elibrary.ru/EUVZMY>
6. Safonov, A. I., Dogadkin, D. N., & Nesporny, V. N. (2024). Phytogeochemical features of some coal mine dumps in Donbass. Bulletin of Donetsk National University. Series A: Natural Sciences, (3). <https://doi.org/10.5281/zenodo.13758560>. EDN: <https://elibrary.ru/OZLOUB>
 7. Korniyenko, V. O., & Kalaev, V. N. (2024). Viability of pedunculate oak in urban conditions of Donetsk. Siberian Journal of Forest Science, (4), 95–106. <https://doi.org/10.15372/SJFS20240409>. EDN: <https://elibrary.ru/SPLUNB>
 8. Safonov, A. I., Kalinina, Yu. S., & Palaguta, A. P. (2024). Teratogenic effects as indicator properties of flowering plants in urbanized territories of the Donetsk agglomeration. Problems of Ecology and Nature Protection in Technogenic Regions, (2), 20–30. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13949289>. EDN: <https://elibrary.ru/CZPYKY>
 9. Bepalova, S. V., Romanchuk, S. M., Chufitskiy, S. V., et al. (2020). Fluorimetric analysis of the impact of coal sludge pollution on phytoplankton. Biophysics, 65(5), 850–857. <https://doi.org/10.1134/S0006350920050024>. EDN: <https://elibrary.ru/KQNZPP>
 10. Chufitskiy, S. V., Bepalova, S. V., & Romanchuk, S. M. (2024). Biomonitoring of surface water quality in the Volynsevskoye reservoir using fluorimetry. Samara Scientific Bulletin, 13(1), 67–74. <https://doi.org/10.55355/snv2024131109>. EDN: <https://elibrary.ru/BPCWJI>
 11. Korniyenko, V. O., & Kalaev, V. N. (2024). Mechanical stability of *Juniperus virginiana* in the steppe zone of the East European Plain. Forest Science, (1), 70–78. <https://doi.org/10.31857/S0024114824010084>
 12. Zinivovskaia, I., Safonov, A., Kravtsova, A., et al. (2024). Neutron activation analysis of rare earth elements (Sc, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Dy, Yb) in the diagnosis ecosystems of Donbass. Physics of Particles and Nuclei Letters, 21(2), 186–200. <https://doi.org/10.1134/S1547477124020158>. EDN: <https://elibrary.ru/XTYWUI>
 13. Korniyenko, V. O., & Kalaev, V. N. (2022). Influence of natural climatic factors on mechanical stability and accident rate of silver birch trees in Donetsk. Forest Science, (3), 321–334. <https://doi.org/10.31857/S0024114822020073>. EDN: <https://elibrary.ru/KDUHDW>
 14. Korniyenko, V. O. (2024). Retrospective analysis of anthropogenic pollution in Donetsk: vibration-acoustic noise. Bulletin of Donetsk National University. Series A: Natural Sciences, (1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.12532574>. EDN: <https://elibrary.ru/TSWEOI>

15. Fedorkina, I. A., Erofeeva, V. V., Anikina, E. V., & Safonov, A. I. (2025). Review of main trends and dynamics of air and soil pollution in Russian regions in 1993–2023. *Regional Environmental Issues*, (1), 17–21. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2025-1-17-21>. EDN: <https://elibrary.ru/WZHRFT>
16. Safonov, A. I. (2025). Experience in phytoindication assessment of anthropogenic ecotopes of Donbass (review). *Theoretical and Applied Ecology*, (2), 16–29. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2025-2-016-029>. EDN: <https://elibrary.ru/YOFKTG>
17. Dahle, G. A., & Grabosky, J. C. (2010). Variation in modulus of elasticity (E) along *Acer platanoides* L. (Aceraceae) branches. *Urban Forestry & Urban Greening*, 3(9), 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.01.004>
18. James, K. R., Dahle, G. A., Grabosky, J., Kane, B. C., & Detter, A. (2014). Tree biomechanics literature review: Dynamics. *Arboriculture & Urban Forestry*, 40(1), 1–15. <https://doi.org/10.48044/jauf.2014.001>
19. Chen, R., Ran, J., Hu, W., et al. (2021). Effects of biotic and abiotic factors on forest biomass fractions. *National Science Review*, 8(10), nwab025. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab025>. EDN: <https://elibrary.ru/LPNXAI>
20. Dahle, G. A., James, K. R., Kane, B., et al. (2017). A review of factors that affect the static load bearing capacity of urban trees. *Arboriculture and Urban Forestry*, 43(3), 89–106. EDN: <https://elibrary.ru/YFHYIS>
21. Jelonek, T., Tomczak, A., Jakubowski, M., et al. (2019). The biomechanical formation of trees. *Drewno*, 62(204). <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.318.05>. EDN: <https://elibrary.ru/APSKPF>
22. Kornienko, V., Reuckaya, V., Shkirenko, A., et al. (2025). Silvicultural and ecological characteristics of *Populus bolleana* Lauche as a key introduced species in the urban dendroflora of industrial cities. *Plants*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/plants14132052>. EDN: <https://elibrary.ru/DRDBQF>
23. Kornienko, V., Shkirenko, A., Reuckaya, V., et al. (2025). *Taxus baccata* L. under changing climate conditions in the steppe zone of the East European Plain. *Plants*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/plants14131970>. EDN: <https://elibrary.ru/UTZUUC>
24. Netsvetov, M. V., & Suslova, E. P. (2009). Mechanical stability of trees and shrubs to vibration loads. *Industrial Botany [Promyshlennaya botanika]*, (9), 60–67.
25. Netsvetov, M. V., Khizhenkov, P. K., & Suslova, E. P. (2009). Introduction to vibration ecology. Donetsk: Weber. 164 p.
26. Rebar, D., & Rodríguez, R. L. (2015). Insect mating signal and mate preference phenotypes covary among host plant genotypes. *Evolution*, 69(3), 602–610. <https://doi.org/10.1111/evo.12604>

27. Rebar, D., & Rodríguez, R. L. (2014). Trees to treehoppers: genetic variation in host plants contributes to variation in the mating signals of a plant feeding insect. *Ecology Letters*, 17(2), 203–210. <https://doi.org/10.1111/ele.12220>
28. Netsvetov, M., & Nikulina, V. (2010). Seasonal variations of oscillation and vibration parameters of *Acer platanoides*. *Dendrobiology*, (64), 37–42.
29. Korniyenko, V. O., & Kalaev, V. N. (2018). Ecological significance of biomechanical properties of woody plants: a case study of *Juniperus virginiana* L. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy* [Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya], (1), 97–103. EDN: <https://elibrary.ru/UORZMG>
30. Netsvetov, M., Prokopuk, Y., Sergeyev, M., et al. (2017). The climate to growth relationships of pedunculate oak in steppe. *Dendrochronologia*, (44), 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.004>. EDN: <https://elibrary.ru/YVEMDP>
31. Alekseev, V. A. (1989). Diagnostics of the vital state of trees and stands. *Forest Science*, (4), 51–57.
32. Niklas, K. J. (1997). Mechanical properties of black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood: correlations among elastic and rupture moduli, proportional limit, and tissue density and specific gravity. *Annals of Botany*, (79), 473–478.
33. Niklas, K. J., & Spatz, H. C. (2010). Worldwide correlations of mechanical properties and green wood density. *American Journal of Botany*, 97(10), 1587–1594. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000150>
34. Niklas, K. J. (2016). Tree biomechanics with special reference to tropical trees. In: Goldstein, G., & Santiago, L. S. (Eds.), *Tropical Tree Physiology* (Vol. 6, pp. 413–435). Cham, Switzerland: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27422-5>
35. Mitina, L. V., Vinogradova, E. N., & Kharkhota, L. V. (2017). Caucasian woody plants in the Donetsk Botanical Garden. *Hortus Botanicus*, (12), 339–347. <https://doi.org/10.15393/j4.art.2017.4406>. EDN: <https://elibrary.ru/YUTIYL>
36. Suslova, Ye. P. (2018). Formation of urban green areas. 15(1), 244–252.
37. Glukhov, A. Z., Kharkhota, L. V., Pasternak, G. A., & Likhatskaya, E. N. (2016). Current state of the dendroflora in Donetsk. *Samara Scientific Bulletin*, 5(2), 20–24. <https://doi.org/10.17816/snv20162104>
38. Korniyenko, V. O., & Kharkhota, L. V. (2023). Monitoring the state of woody plants in the central part of Donetsk. *Samara Scientific Bulletin*, 12(2), 46–51. <https://doi.org/10.55355/snv2023122107>
39. Ostapko, V. M., Boyko, A. V., & Mosyakin, S. L. (2010). *Vascular plants of the south east of Ukraine*. Donetsk: Knowledge Publ. 247 p. ISBN: 978-617-579-074-8

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Корниенко Владимир Олегович, кандидат биологических наук, заведующий научно-исследовательской части, заведующий научно-исследовательской лаборатории мониторинга и прогнозирования экосистем Донбасса, доцент кафедры физиологии и биофизики
Донецкий государственный университет
ул. Университетская, 24, г. Донецк, Донецкая Народная Республика,
283001, Российская Федерация
kornienkovo@mail.ru

Шкиренко Алена Олеговна, стажер-исследователь научно-исследовательской лаборатории мониторинга и прогнозирования экосистем Донбасса
Донецкий государственный университет
ул. Университетская, 24, г. Донецк, Донецкая Народная Республика,
283001, Российская Федерация
alyona.shkirenko@mail.ru

Реуцкая Валерия Вячеславовна, лаборант научно-исследовательской лаборатории мониторинга и прогнозирования экосистем Донбасса
Донецкий государственный университет
ул. Университетская, 24, г. Донецк, Донецкая Народная Республика,
283001, Российская Федерация
reutskaya_valeria@mail.ru

Джедиров Дмитрий Александрович, и.о. проректора по общим вопросам
Донской государственный технический университет
пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
ddjedirov@donstu.ru

Шевченко Виктория Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Центр агробиотехнологии»

*Донской государственный технический университет
пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
vikakhorosheltseva@gmail.com*

Одабашян Мэри Юрьевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра агробιοинженерии эфиромасличных и лекарственных растений, доцент кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса», научный наставник студенческого научного общества «Сельское хозяйство»
*Донской государственный технический университет
пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
modabashyan@donstu.ru*

Теплякова Светлана Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса», старший научный сотрудник Центра развития территориального кластера «Долина Дона»
*Донской государственный технический университет
пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
teplyakova.sv@gs.donstu.ru*

Вершинина Анна Владимировна, ассистент кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса», менеджер Центра развития территориального кластера «Долина Дона»
*Донской государственный технический университет
пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
vershinina.anna2016@yandex.ru*

Мангасарян Джульетта Славиковна, инженер Центра развития территориального кластера «Долина Дона», преподаватель кафедры «Техника и технологии пищевых производств»
*Донской государственный технический университет
пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
juliasarkisyan16@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Vladimir O. Kornienko, Candidate of Biological Sciences, Head of Research Department, Associate Professor of «Physiology and biophysics» Department

Donetsk State University

*25, Universitetskiy Str., Donetsk, Donetsk People's Republic, 283001,
Russian Federation*

kornienkovo@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7728-8116>

Scopus Author ID: 57368367800

Alyona O. Shkirenko, Intern Researcher

Donetsk State University

*25, Universitetskiy Str., Donetsk, Donetsk People's Republic, 283001,
Russian Federation*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7469-784X>

Valeriya V. Reutskaya, Intern Researcher

Donetsk State University

*25, Universitetskiy Str., Donetsk, Donetsk People's Republic, 283001,
Russian Federation*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4031-7764>

Dmitry A. Djedirov, Acting Vice-Rector for General Affairs

Don State Technical University

1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation

ddjedirov@donstu.ru

Victoria N. Shevchenko, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
of the Research laboratory "Agrobiotechnology Center"

Don State Technical University

1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation

vikakhorosheltseva@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5001-4959>

Mary Yu. Odabashyan, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
of the Center for Agrobioengineering of Essential Oil and Medicinal
Plants, Associate Professor of the Department "Technologies and
Equipment for Processing Agricultural Products", Scientific Leader of
the Students' scientific society "Agriculture"

Don State Technical University

1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation

modabashyan@donstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3371-0098>

Scopus Author ID: 58078886200

Svetlana V. Teplyakova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department “Technologies and Equipment for Processing Agricultural Products”, Senior Researcher of the Development center of the territorial cluster “Dolina Dona”

Don State Technical University

1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation

teplyakova.sv@gs.donstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4245-1523>

Scopus Author ID: 57214222442

Anna V. Vershinina, Assistant of the Department “Technologies and Equipment for Processing Agricultural Products”, Manager of the Development center of the territorial cluster “Dolina Dona”

Don State Technical University

1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation

vershinina.anna2016@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8024-7377>

Dzhuletta S. Mangasaryan, Engineer of the Development center of the territorial cluster “Dolina Dona”, Lecturer of the Department “Food Production Equipment and Technologies”

Don State Technical University

1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation

juliasarkisyan16@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6491-2656>

Scopus Author ID: 57220954111

Поступила 01.07.2025

После рецензирования 29.08.2025

Принята 01.12.2025

Received 01.07.2025

Revised 29.08.2025

Accepted 01.12.2025