

На правах рукописи

Богущ Иван Сергеевич

**ПЕРСПЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЛЬМОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ
В ОЗЕЛЕНЕНИИ АГЛОМЕРАЦИИ САРАТОВ-ЭНГЕЛЬС**

4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация,
озеленение, лесная пирология и таксация

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Саратов 2025

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»

Научный руководитель: **Сокольская Ольга Борисовна,**
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор
кафедры «Лесное хозяйство и ландшафтное строительство»

Официальные оппоненты: **Подковыров Игорь Юрьевич,**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заведующий центром фитопатологии интродуцентов
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт фитопатологии»

Кайзер Наталия Владимировна,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, и.о. зав.
кафедрой ландшафтного строительства ФГБОУ ВО
«Уральский государственный лесотехнический университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
агротехнологический университет им. Л.Я. Флорентьева »

Защита состоится 26 декабря 2025 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.035.06, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410012, г. Саратов, ул. Советская, д. 60, ауд.325 им. А.В. Дружкина.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Вавиловский университет и на сайте www.vavilovsar.ru

Отзывы на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г. Саратов, пр-т им. П. Столыпина, зд. 4, стр. 3. E-mail: dissovet01@vavilovsar.ru

Автореферат разослан «_____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Татьяна Анатольевна Панкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современные российские города сталкиваются с серьезной проблемой: молодые деревья, призванные заменить старые или погибшие от болезней и вредителей, часто не приживаются. Однако, многолетний опыт городского озеленения показал, что существуют виды растений, прекрасно адаптирующиеся к городской среде, отличающиеся быстрым ростом и эстетической привлекательностью. К таким растениям относятся ильмовые (род *Ulmus*), демонстрирующие высокую устойчивость в ряде регионов России. В некоторых из них ильмовые составляют значительную долю городского зелёного фонда – до 25-30%.

Учитывая этот потенциал, для эффективного озеленения Саратовско-Энгельсской агломерации крайне важно детально изучить декоративные, экологические и биологические особенности ильмовых культур именно в условиях данного региона. Особое внимание следует уделить разработке оптимальных методов проращивания семян ильмовых. Необходимо провести эксперименты, варьируя условия обработки семян различными препаратами и режимы освещения, чтобы определить наиболее эффективные способы достижения высокой всхожести. Это позволит наладить массовое разведение ильмовых для озеленения населенных пунктов Саратовского Поволжья. Кроме того, требуется провести оценку способности листьев ильмовых поглощать пыль и удерживать влагу на улицах с интенсивным движением транспорта и в рекреационных зонах. Важно также определить их устойчивость к засухе. Это особенно актуально, поскольку некоторые интродуцированные виды ильмовых, например, гибриды голландского вяза, уже в середине июля демонстрируют признаки усыхания на территориях Саратова и Энгельса.

Таким образом, тема исследования имеет актуальность: высокую практическую значимость и требует научного обоснования. Это обоснование должно быть подкреплено статистическими данными и результатами целенаправленных экспериментов по изучению ильмовых насаждений, с особым акцентом на интродуцированные виды, такие как, например, вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), который был завезен в Россию из Средней Азии в 1930-х годах.

Степень разработанности темы. По разным оценкам род *Ulmus* (*Ulmaceae*) насчитывает 20-45 видов. В разное время, изучением видов рода *Ulmus* занимались следующие ученые: А. П. Шиманюк, 1974; Ю. В. Синадский, 1977; Л. М. Грудзинская, 1977; А. В. Алексеев и др., 1997; А. А. Кожевников, 1998; Г. А. Булыгин, Н. Г. Ярмишко, 2000; В. И. Василевич, Т. Н. Бибикова, 2002; А. И. Невидомов, 2003; О. И. Евстигнеев, 2004; П. В. Прудников и др., 2004; Л. Д. Яницкая, 2008; З. Н. Рябинина, Е. В. Никитина, 2009; Е. В. Афанасьева, 2011; И. Ю. Подковыров, 2001, 2002, 2007; 2014, 2021; С. А. Масловатая, 2014; Е. А. Крюкова, 2018; С. А. Холбоева, 2018; М. Н. Белицкая, И. Р. Грибуст, О. С. Филимонова, 2019;

А. П. Иозус, А. А. Завьялов, С.Н. Крючков, 2022; О. Б. Сокольская, 2021-2024; Г. Н. Заигралова, Г. Н. и С. В. Кабанов, 2021-2023; J. S. Hans, 1981; Mitterpergher, La Porta, 1991; Wiegrefe et al., 1994; Parker et al., 2002; Mackenthun, 2004; Myking, G. P. Yakovlev, 2006; Michael Hassell, 2006, 2007; Hipp et al., 2008; Barbour, Brinkman, 2008; Dat JF, parent C. 2012; M. Martin, 2017; L. Liu, 2020-2024 и др.

Анализ опубликованных материалов показал, что в последнее время отечественной и зарубежной наукой решались локальные биологические, экологические и некоторые эстетические задачи по отдельным видам рода *Ulmus*, но проблема решена не комплексно, а фрагментами, особенно для городов Саратов и Энгельс.

Цель исследования – научно обосновать перспективы применения видов рода *Ulmus* в городском озеленении агломерации Саратов-Энгельс для повышения качества жизни населения, путем оценки их декоративных свойств и устойчивости в условиях урбанизированной среды.

Объект исследования – виды рода *Ulmus*.

Предмет исследования – декоративные качества, особенности проращивания, а также адаптация вязовых насаждений к некоторым экологическим условиям Саратовско-Энгельсской агломерации, включая пылеулавливающую, водоудерживающую, засухоустойчивую способности.

Задачи исследования:

1. Разработка методики оценки декоративных качеств зеленых насаждений, включая вязовых культур с математическим моделированием, на урбанизированных территориях Саратовско-Энгельсской агломерации.
2. Особенности влияния предпосевной обработки семян препаратами и интенсивности освещения на их проращивание устойчивых видов ильмовых насаждений.
3. Оценка некоторых экологических факторов различных видов ильма для использования в озеленении агломерации Саратов-Энгельс.
4. Создание эко-моделей из видов рода *Ulmus* для озеленения территорий Саратовско-Энгельсской агломерации.

Научная новизна. В рамках исследования впервые: 1) разработан новый методологический подход для оценки декоративных качеств зеленых насаждений, адаптированный для ильмовых культур в городской среде и предложена количественная математическая модель декоративности зеленых насаждений; 2) проанализированы особенности проращивания семян наиболее устойчивого вида рода *Ulmus*, включая сравнение предпосевной обработки и различных режимов освещения, для успешного разведения вязовых насаждений в агломерации Саратов-Энгельс; 3) проведен сравнительный анализ функциональных свойств ильмовых культур (пылеулавливание, водоудержание, засухоустойчивость) в Саратове и Энгельсе в зависимости от интенсивности транспортных потоков; 4) созданы эко-модели на основе видов рода *Ulmus* для их перспективного применения в

исследуемом регионе.

Теоретическая и практическая значимость работы. *Теоретическая значимость:* 1) расширение знаний: результаты исследования углубляют теоретические основы городского садово-паркового строительства, предоставляя новые данные о развитии декоративного озеленения с применением ильмовых; 2) новые перспективы в понимании роли ильмовых в формировании эстетически привлекательных и экологически устойчивых городских ландшафтов. *Практическая значимость:* 1) образовательный потенциал: исследование обогащает учебные программы по ландшафтной архитектуре и озеленению населенных пунктов, предлагая студентам и специалистам новые знания и методики; 2) экологические решения: работа демонстрирует, как ильмовые могут быть эффективно использованы для создания живописных пейзажей и улучшения экологической обстановки в городах; 3) региональное применение: разработанные рекомендации по применению ильмовых в конкретном регионе (Саратов и Энгельс) могут быть непосредственно использованы организациями, занимающимися озеленением, благоустройством, охраной окружающей среды и лесохозяйственной деятельностью. *Перспективы применения в Саратове и Энгельсе:* 1) увеличение зеленых зон: применение ильмовых насаждений позволит увеличить площадь зеленых зон в Саратове и Энгельсе, что положительно скажется на качестве городской среды; 2) ильмовые деревья могут стать важным элементом для поддержания биоразнообразия в городских условиях, привлекая птиц для борьбы с насекомыми-вредителями; 3) декоративные свойства ильмовых деревьев, такие как живописная крона и осенняя окраска листвы, способны значительно улучшить эстетический облик городских улиц, скверов, садов, набережных и парков; 4) внедрение вязовых приведет к увеличению площади озеленения в Саратове и Энгельсе на 5-10% в течение ближайших 5-10 лет; 5) снижение уровня загрязнения газонов и тротуаров от пыли: ильмовые деревья способны удерживать значительное количество пыли с проезжей части, что может привести к снижению уровня загрязнения в районах их произрастания на 15-20%; 6) увеличение количества зеленых насаждений, в том числе ильмовых, может способствовать повышению привлекательности городов для жителей и туристов, что, в свою очередь, приведет к росту рекреации на 3-5%.

Методология и методы исследования. Исследование базировалось на комплексном подходе, сравнивающем реальное освоение природной среды с теоретическими и практическими аспектами озеленения городов. Были изучены литературные источники, проектная документация, проведены натурные обследования городских территорий (улиц, набережных, парков) с фотофиксацией, уделяя особое внимание деревьям и кустарникам рода *Ulmus*. Измерялись ключевые параметры ильмовых культур, проводилось их выращивание из семян с использованием предпосевных препаратов и различных режимов освещения. Методика основывалась на принципах сравнительной хронологии и развития,

натурных обследований, лабораторных наблюдений и испытаний. Эксперименты соответствовали международным стандартам. Для оценки декоративных качеств городских ильмовых культур была разработана и применена авторская методика. Обработка и анализ данных проводились с помощью статистических методов (включая методику Б.А. Доспехова) и программного обеспечения Statistica 10.0, MS Office Excel. Для работы с пространственными данными использовались AutoCAD 2012, CorelDRAW, Paint.NET, Google Maps и Realtime landscaping architect 2018.

Положения, выносимые на защиту:

- комплексная оценка декоративных качеств различных видов рода *Ulmus* для использования в озеленении населенных пунктов и математическая модель декоративности зеленых насаждений в урбанизированной среде;
- оптимизация размножения ильмовых: особенностей прорастания семян ильмовых культур с их предпосевной обработкой и светового режима;
- оценка устойчивости видов рода *Ulmus* в городской среде Саратова и Энгельса;
- эко-модели на основе вязовых насаждений для озеленения территорий Саратовско-Энгельсской агломерации.

Степень достоверности и апробация результатов. Обоснованность и достоверность полученных результатов исследований обеспечена, подтверждена комплексными экспериментальными обоснованиями с использованием современных методов компьютерной обработки данных биометрических, физиологических и других наблюдений с применением компьютерных программ, выступлений на научно-практических конференциях, публикаций в открытой печати, актом о внедрении результатов исследований. Материалы диссертационной работы изложены на международных научно-практических конференциях: Саратов (2022-2025), Екатеринбург (2022), Волгоград (2024), Красноярск (2024) и ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов Вавиловского университета (Саратов, 2022-2025).

Публикации. По материалам исследований опубликовано 11 научных работ, из них – 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ (1,5 п.л. (общий объем статьи)/ 0,43 п.л. (личное участие)), 4 статьи в международных сборниках научных трудов – 1,66 п.л./0,9 п.л., 4 статьи во всероссийских сборниках научных трудов – 1,84 п.л./0,91 п.л. Общий объем публикаций – 5,0 п.л., в том числе лично автора – 2,24 п.л.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, рекомендаций, списка литературы, приложений. Текстовая часть изложена на 269 страницах и включает 17 таблиц, 40 рисунков, 8 приложений, акт внедрения. Список литературы представлен 210 источниками, включая 105 публикации на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение обосновывает актуальность исследования, определяет его цель и задачи. В нем раскрываются научная новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность и апробация результатов, положения, выносимые на защиту.

Глава 1 «Современное состояние вопроса», где проанализированы отечественные и зарубежные научные публикации, что свидетельствует о преобладании биологических исследований ильмовых, особенно в области ботаники и экологии. В последние годы возрос интерес к фитопатологии вяза. Недостаточная изученность видов рода *Ulmus* в районе городов Саратова и Энгельса определяет актуальность настоящего исследования.

Глава 2 «Объекты, методика исследования и природно-климатические условия района». Изучались древесные и кустарниковые виды рода *Ulmus*, произрастающие на экспериментальных участках в городах Саратов и Энгельс с разной интенсивностью движения (таблица 1, рисунок 1, а, б).

Таблица 1 – Экспериментальные участки с разной интенсивностью движения

Название экспериментальных участков исследования с видом вяза	Категория интенсивности	Интенсивность (авт./мин)	Интенсивность (авт./час)	Площадь участка, га Кол-во видов ильма, шт.	Название экспериментальных участков исследования с видом вяза	Категория интенсивности	Интенсивность (авт./мин)	Интенсивность (авт./час)	Площадь участка, га Кол-во видов ильма, шт.
г. Саратов					г. Энгельс				
ул. им. В.Г. Рахова (С2)	I	21	1262	13,7/95	ул. Тельмана (Э5)	I	21	1223	21/55
ул. Астраханская (С1)	I	19	1143	20,4/85	ул. Площадь Свободы (Э4)	I	18	1081	2,4/50
ул. Рабочая (С3)	I	20	1201	4,9/90	ул. Коммунистическая (Э3)	I	17	1021	2,0/60
ул. им. П.Н. Яблочкова (С6)	II	9	543	0,9/75	ул. Театральная (Э7)	II	8	484	0,6/40
ул. им. Н.В. Гоголя (С5)	II	8	512	2,7/100	ул. Халтурина (Э6)	II	7	425	1,3/65
ул. Челюскинцев (С4)	II	7	421	3,2/80	Набережная им. ген.-лейт. М.М. Рудченко (С1)	III	0	0	7,3/70
Набережная Космонавтов (С9)	III	0	1,5	8,2/120	Городской парк «Покровский» (Э2)	III	0	0	7,7/126
Детский парк (С8)	III	0	0,5	6,1/106		Эксперим. участки с max движением			
Городской сад «Липки» (С7)	III	0	0,5	6/60		Эксперим. участки с min движением			
Проспект им. Петра Столыпина	III	1	5	3,1/39		Рекреационные зоны			



а)

Объекты исследования в г. Саратове – С№



б)

Объекты исследования в г. Энгельсе – Э№

Рисунок 1, а, б – Схема районов исследований: а) экспериментальные участки в г. Саратове; б) экспериментальные участки в г. Энгельсе

Исследования ильмовых культур проводились в период с 2021 по 2024 гг. В ходе работы было обследовано 1362 вязовых дерева, из которых 896 деревьев исследовано в г. Саратове и 466 деревьев – в г. Энгельсе.

Материалами исследования являлись следующие зеленые насаждения: вяз приземистый *Ulmus pumila* L., вяз шершавый *Ulmus glabra* Mill., вяз граболистный *Ulmus carpinifolia* 'Gled', вяз мелколистный *Ulmus parvifolia* Jacq., вяз лопастный *Ulmus laciniata* Mayr., вяз гибридный голландский ('Dodoens' *Ulmus* × *hollandica* Mill.), вяз гладкий *Ulmus laevis* Pall.

Методика исследований предусматривала совокупность методов: изучены проектные документы по благоустройству и озеленению, отчеты о создании и реконструкции насаждений, а также данные инвентаризации приживаемости растений. В работе применялись определители древесных растений (А.В. Андронов и А.А. Богданов, 1974; С.Я. Попов, 2020), методики мониторинга и оценки состояния зеленых насаждений г. Санкт-Петербурга (№99-р от 22.06.2010; №17-р от 03.02.2021), а также научная литература по биоэкологии видов (А.Е. Завьялов, А.А. Крючков, 2018 и др.). Изучение насаждений проводилось с использованием методов лесной таксации, опирающихся на работы Н.П. Анучина (1971) и методические рекомендации Е.С. Павловского, М.О. Долгиловича (1985), Б.А. Доспехова (2012), В.Н. Минаева, Л.Л. Леонтьева, В.Ф. Ковязина (2022). Использовалась методика полевых исследований, соответствующих требованиям ГОСТ Р 55935-2013, а также методы изучения зеленых насаждений следующих ученых: Т.Б. Дубяго (1940), Н.Н. Лунева (2018), Г.Ф. Морозова (1912); Г.Н. Высоцкого (1915); подготовка и проращивание семян (ИСА, 2021), А. И. Губанова и др., (2022), В.Н. Ворошилову (1960), П.Ф. Кононкову (1970-е) Л.И. Сергеевой (1980), стандарты ISTA (1992), С.А. Мамаева (2020), А.М. Носову (2011), Ф.В. Ерошенко, И.Г. Сторчак и И.В. Черновой (2019), П.Д. Воронину, М.А. Глазовской (1970-1980-е), Н.В. Белову и Е.А. Смирновой (2005), Т.А. Соколовой (1998), А.С. Литвинову и Ю.В. Новикову (2001), Г.Н. Еремееву (1976), И. Ю. Подковырову (2004), П.Г. Костылеву (2015) и О.К. Ланге (2007), Н.В. Богдановой (2012), Е.Н. Голубевой (2014); А.А. Вергуновой (2021, 2024),

О.Б. Сокольской (2013, 2021, 2025), Н.В. Богдановой (2012), Е.Н. Голубевой, Л.А. Смирновой (2015); П.И. Лапину (2008) и П.Г. Костылеву (2014). Интенсивность движения транспорта определялась методом прямого инструментального подсчета Я.В. Васильева (1985). Оценка декоративности ильмовых насаждений проведена по авторской методике с использованием фундаментальных работ по жизненному состоянию зеленых насаждений В.Н. Алексеева (2003), В.И. Шубина (1970). Диагностика повреждений и болезней проведена с использованием рекомендаций Н.С. Нестерова (1933) и В.Я. Добровлянского (1910). Для статистической обработки данных применен коэффициент корреляции К. Пирсона (1896), коэффициент надежности Л. Д. Кронбаха (1951), метод локтя по Л. Р. Торндайку (1953), метод медианного разбиения по Т. Хоару (1960) и метод скользящего окна по А. Лемпелю и Я. Зив (1977). Оценка качества аттрактивности территорий с зелеными насаждениями для рекреационных целей в балльной системе, проведена по методикам О.Б. Сокольской (2013-2024), А.А. Вергуновой (2021-2024), на основе которых разработана авторская методика по определению декоративности древесных культур в среде, в т.ч. ильмовых насаждений в условиях городской среды. Таким образом, в исследованиях использован комплексный подход, базирующийся на методах по озеленению, лесомелиорации, таксации, почвоведению, опубликованных в трудах российских и зарубежных авторов, нормативных и методических документах.

Природно-климатические и ландшафтные условия агломерации были проанализированы на основе данных о температуре, относительной влажности, количестве осадков и высоте снежного покрова за последние четыре года. Источником информации послужили данные Приволжского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ, Саратовский филиал). Результаты анализа, проведенного с использованием дисперсионного и корреляционного методов (по методике Б.А. Доспехова, 1985, 2012), свидетельствуют о благоприятном влиянии климатических факторов на посадку и рост ильмовых деревьев в исследуемом регионе.

Глава 3 «Декоративные особенности и ростовой потенциал видов рода *Ulmus* в агломерации Саратов-Энгельс». Был проведен мониторинг территорий Саратова и Энгельса, где произрастают виды рода *Ulmus* – выявлены основные места их распространения: 1) во дворах; 2) на набережных; 3) на бульварах; 4) на улицах; 5) в скверах, садах и парках; 6) в палисадах и придомовых территориях, а также распределены объекты исследования по интенсивности движения транспортных средств. Определены типы посадок данных растений: солитерные, групповые, рядовые, живые изгороди и топиарные формы. Сделана оценка влияния городской среды на декоративные характеристики ильмовых насаждений. На декоративно-эстетические качества *Ulmus spp.* влияют следующие индексы: экологические условия (22%) и уход за деревом (20%). Важную роль играют биологическое состояние (18%) и ландшафтная гармония (17%). Социальные факторы (12%) и культурная

инновационность (11%) оказывают меньшее, но всё же заметное воздействие. Регулярное обслуживание растений способствует поддержанию устойчивости экосистемы. Разработана методика определения декоративности ЗН, включая ильмовые культуры. Декоративность растений определяется биологическими, экологическими, ландшафтными и культурно-историческими факторами, оцениваемыми визуально или с использованием онлайн-ресурсов. Введен корректирующий коэффициент (К) для учета динамики состояния деревьев в зависимости от возраста и уровня антропогенного воздействия, который рассчитывался по формуле (1):

$$K = \min(5, 1 + 0,1 \cdot A - 0,05 \cdot S), \quad (1)$$

где A – возраст дерева в годах, S – уровень стресса (0-100 баллов).

Уровень стресса S рассчитывается как взвешенная сумма двух компонентов (без учета почвенных показателей) (2):

$$S = 0,7 \cdot S_{air} + 0,3 \cdot S_{damage}, \quad (2)$$

где S_{air} – уровень стресса от загрязнения воздуха, S_{damage} – от механических повреждений.

Для комплексной оценки воздушного стресса используется формула (3):

$$S_{air} = \frac{w_{NO_2} \cdot S_{NO_2} + w_{PM_{2.5}} \cdot S_{PM_{2.5}} + w_{SO_2} \cdot S_{SO_2} + w_{CO} \cdot S_{CO}}{w_{NO_2} + w_{PM_{2.5}} + w_{SO_2} + w_{CO}}, \quad (3)$$

где весовые коэффициенты фактора (w_i) определены через корреляционный анализ: $w_{NO_2}=0,45$, $w_{PM_{2.5}}=0,35$, $w_{SO_2}=0,15$, $w_{CO}=0,05$.

Стресс от механических повреждений определяется через соотношение поврежденных элементов кроны (4):

$$S_{damage} = \frac{N_{damaged}}{N_{total}} \cdot 100, \quad (4)$$

где $N_{damaged}$ – количество поврежденных ветвей, N_{total} – общее количество ветвей.

Экспериментальные данные показали максимальное значение $K = 5$ достигается у деревьев возрастом около 40 лет в идеальных условиях ($S = 0$), что соответствует пределу устойчивости вяза в городских условиях. Минимальное значение $K=0$ присваивается деревьям в аварийном состоянии при $K<0$, что наблюдается при высоком уровне стресса ($S>60$) и отсутствии компенсирующего возраста. Для каждого параметра рассчитан коэффициент корреляции Карла Пирсона (1896) с

интегральным показателем декоративности, что позволило определить относительную значимость каждого фактора (5):

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)(D_j - \bar{D})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^n (D_j - \bar{D})^2}}, \quad (5)$$

где r_i – коэффициент корреляции для i -го параметра, x_{ij} – значение i -го параметра для j -го дерева, D_j – интегральный показатель декоративности для j -го дерева.

Для перевода коэффициентов корреляции в весовые коэффициенты (w_i) нами использована нормализация (6):

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_{k=1}^6 r_k}, \quad (6)$$

где w_i – весовой коэффициент фактора, r_i – коэффициент корреляции для i -го параметра, r_k – переменная, которая принимает значения, соответствующая параметрам модели 1-6.

Результаты нормализации представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты нормализации параметров на основе корреляционного анализа

Параметр	Коэффициент корреляции (r_i)	Нормализованное значение ($r_i / \sum r_k$)	Итоговый весовой коэффициент (w_i)
Биологическое состояние (x_1)	0,78	0,290	0,29
Экологические условия (x_2)	0,65	0,242	0,24
Ландшафтная гармония (x_3)	0,32	0,119	0,12
Уход за деревом (x_4)	0,41	0,152	0,15
Социальные факторы (x_5)	0,28	0,104	0,10
Культурная инновационность (x_6)	0,25	0,093	0,10
Сумма (Σ)	2,69	1,000	1,00

Разработаны математические модели для расчета каждого параметра x_i . Для биологического состояния (x_1) использован NDVI-анализ по формуле (7):

$$x_1 = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \cdot 100, \quad (7)$$

где $NDVI_{min} = 0,2$, $NDVI_{max} = 0,9$ минимальное и максимальное значения NDVI для здоровых деревьев

Для параметра экологических условий (x_2) использованы прямые измерения загрязнения воздуха (8):

$$x_2 = 100 - \frac{[NO_2] - [NO_2]_{min}}{[NO_2]_{max} - [NO_2]_{min}} \cdot 100, \quad (8)$$

где $[NO_2]$ – измеренная концентрация диоксида азота, $[NO_2]_{min} = 0$ мкг/м³, $[NO_2]_{max} = 120$ мкг/м³ (максимальное значение, зафиксированное в исследуемых районах).

Для ландшафтной гармонии (x_3) использован ГИС-анализ по данным OpenStreetMap и Google Earth Engine с расчетом гармоничности через соотношение золотого сечения (9):

$$x_3 = 100 - \left| \frac{H}{W} - \phi \right| \cdot k, \quad (9)$$

где H – высота дерева (м), W – ширина кроны (м), $\phi = 1,618$ – золотое сечение, $k = 150$ – коэффициент масштабирования, подобранный эмпирически.

Для ухода за деревом (x_4) использована формула, основанная на временных интервалах между работами (10):

$$x_4 = 100 \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \quad (10)$$

где t – время с момента последнего ухода, λ – коэффициент ухудшения состояния

Социальные факторы (x_5) оценивались через объективные показатели антропогенного воздействия (11):

$$x_5 = 100 - \frac{N_{damage}}{N_{total}} \cdot 100, \quad (11)$$

где N_{damage} – количество повреждений, N_{total} – общее количество возможных повреждений.

Культурная инновационность (x_6) оценивалась через исторические данные и участие в проектах (12):

$$x_6 = 100 \cdot \frac{Y_{heritage}}{Y_{total}}, \quad (12)$$

где $Y_{heritage}$ – продолжительность (в годах), в течение которой дерево является частью исторически значимого ландшафтного проекта, Y_{total} – возраст дерева (лет).

Создана общая математическая модель комплексной оценки декоративности зеленых насаждений, в том числе и вязовых культур (13):

$$D = K \cdot \sum_{i=1}^6 w_i \cdot x_i, \quad (13)$$

где K – корректирующий коэффициент, w_i – весовой коэффициент фактора, x_i – значение параметра.

Для адаптации методики к другим климатическим зонам нами рекомендуется ввести дополнительный корректирующий коэффициент (14):

$$K_{climate} = 1 - 0,005 \cdot |T - T_{opt}| - 0,01 \cdot |P - P_{opt}|, \quad (14)$$

где T – среднегодовая температура, $T_{opt}= 5,5^{\circ}C$ – оптимальная для вяза, P – годовое количество осадков, $P_{opt}= 550$ мм.

Оценка декоративности городских зеленых насаждений в условиях разной интенсивности трафика проведена с использованием разработанной математической модели. Результаты представлены для г. Саратова и г. Энгельса в таблице 3.

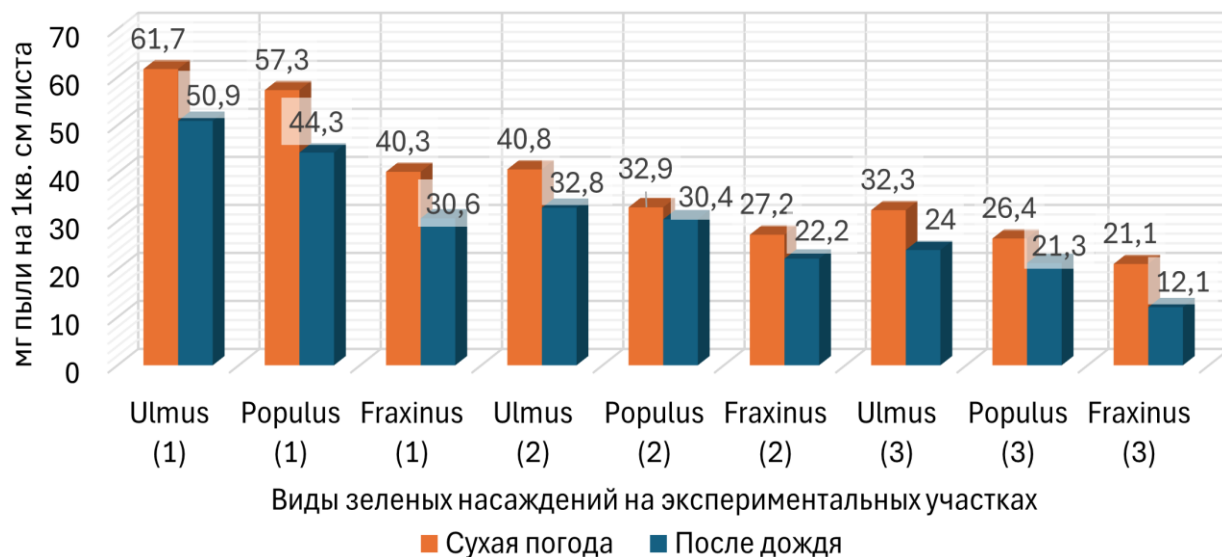
Таблица 3 – Результаты оценки декоративности ильмовых культур на экспериментальных участках в двух городах: Саратове и Энгельсе

Название экспериментальных участков	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	$\sum w_i x_i$	S_{air}	S_{damage}	S	K	D
г. Саратов												
ул. им. В.Г.Рахова	50	40	30	60	50	20	43,7	50	40	47,0	0,96	42,0
ул. им. Н.В. Гоголя	60	50	40	70	60	30	53,7	45	35	42,0	0,98	52,5
Детский парк	70	60	50	80	70	40	63,7	40	30	37,0	0,92	58,0
ул. Челюскинцев	55	45	35	65	55	25	48,7	48	38	45,0	1,00	48,5
ул. им. П.Н. Яблочкова	58	48	38	68	58	28	51,2	46	36	43,0	0,97	50,0
Астраханская ул.	52	42	32	62	52	22	45,7	49	39	46,0	1,00	46,5
ул. Рабочая	51	41	31	61	51	21	44,7	48	38	45,0	1,00	45,5
Набережная Космонавтов	85	75	65	95	85	45	83,7	30	20	27,0	0,98	82,0
Городской сад «Липки»	90	80	70	100	90	50	88,7	25	15	22,0	0,97	86,0
пр. им. Петра Столыпина	49	39	29	59	49	19	42,7	52	42	49,0	0,97	41,5
г. Энгельс												
Набережная им М.М.Рудченко	85	75	65	95	85	45	83,7	30	20	27,0	1,00	83,5
«Покровский» парк	80	70	60	90	80	40	78,7	35	25	32,0	1,00	78,5
ул. Тельмана	65	55	45	75	65	25	62,7	45	35	42,0	0,98	62,0
ул. Театральная	70	60	50	80	70	30	67,7	40	30	37,0	0,98	67,5
ул. Халтурина	69	59	49	79	69	29	66,7	41	31	38,0	0,98	66,5
ул. Коммунистическая	65	55	45	75	65	25	62,7	45	35	42,0	0,98	62,5
пл. Свободы	60	50	40	70	60	20	58,7	48	38	45,0	0,99	58,5

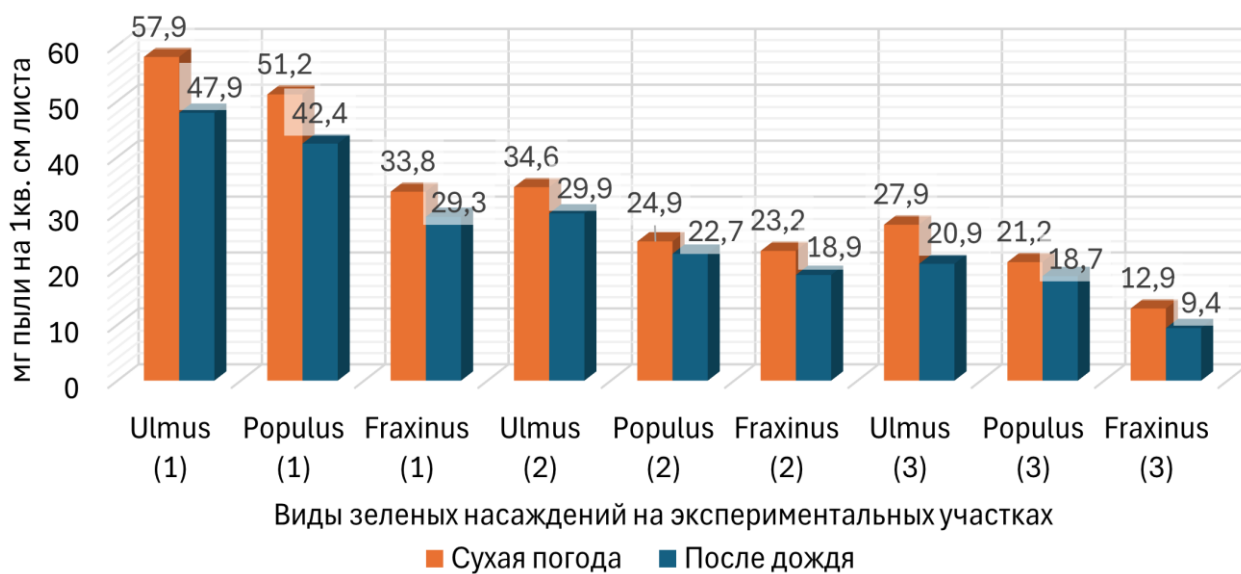
Среднее значение декоративности ильмовых насаждений в г. Саратове (55,3%) существенно ниже, чем в г. Энгельсе (68,4%), вероятно, из-за более высокой степени загрязнения в г. Саратове. Для повышения эффективности выращивания вяза приземистого в агломерации исследовали влияние стимуляторов роста на прорастание семян. Выяснилось, что необработанные семена *U. pumila* L. показали лучшую всхожесть, чем обработанные гормонами, сахарозой или водой. Замачивание в 3% растворе сахарозы не изменило всхожесть (80%), как и у контрольных, сухих семян. Обработка индолилмасляной кислотой (ИМК) снизила всхожесть вдвое (до 30%). Все обработки ускорили прорастание и повысили энергию прорастания. Влияние освещения и обработки на прорастание семян *U. pumila* L. При неизменных сроках (5-

7 дней) освещение значимо повышало только энергию прорастания: светодиодное освещение (красный:синий = 2:1) – 60% (наилучший результат); чередующийся свет/темнота (светодиоды, К:С = 4:1) – 40%; флуоресцентное освещение – 30% (наименьшая энергия прорастания); темнота – пять дней (быстрее, чем при любом освещении). Всхожесть: необработанные семена *U. pumila* L. – 83% (предполагаемая адаптация к засухе); замачивание в 3% сахарозе: увеличение всхожести в 2-2,5 раза (положительное влияние углеводов). Ключевой фактор адаптации *U. pumila* L. к городской среде – засухоустойчивость. Установлено жизненное состояние ильмовых насаждений на участках исследования: вдоль проезжих частей улиц вяз приземистый демонстрирует меньший процент повреждений (12%) по сравнению с ясенем ланцетным (19%), рябиной обыкновенной (24%) и березой повислой (32%). Эти результаты подтверждают целесообразность использования вяза приземистого для озеленения улиц. Дефекты вязовых культур (сухие ветви, трещины, спилы, механические повреждения) являются ключевыми диагностическими признаками ухудшения состояния деревьев в городской среде, способствуя развитию бактериальных инфекций и усыханию. Неправильная обрезка вызывает механические повреждения (25%), приводя к проникновению инфекций и хроническим заболеваниям (34%). Деревья на улицах и магистралях без защитных зон наиболее уязвимы (60%), что проявляется в повышенном образовании развилки и снижении декоративности. Основной фактор ослабления древостоя ($\mu=52\%$) – комплекс стрессов: абиотических (факторы неживой природы, оказывающие влияние на рост и развитие растений – освещенность, влажность, почвенный состав) и биотических (сосудистые микозы, корневые гнили, стигминеоз, тиростромоз и вредителей, что в совокупности приводит к общему ослаблению деревьев, развитию некрозов и увяданию).

Глава 4 «Экологическая устойчивость видов рода *Ulmus* в городских условиях и стратегии оптимизации их состояния». Вяз приземистый обладает высокой пылезадерживающей способностью в условиях агломерации Саратов-Энгельс, превосходя другие древесные породы, особенно на территориях с интенсивным движением транспорта. В ходе исследования были определены уровни содержания поллютантов в листьях древесных растений в г. Саратов и г. Энгельс. В Саратове зафиксированы на улицах с тах движением транспорта следующие значения (в сухую погоду/после дождя): вяз приземистый – 61,7/50,9 мг/кв.см листа, ясень ланцетный – 57,3/44,3 мг/кв.см листа, тополь чёрный – 40,3/30,6 мг/кв.см листа. В Энгельсе соответствующие показатели составили: вяз приземистый – 57,9/47,9 мг/кв.см листа, ясень ланцетный – 51,2/42,4 мг/кв.см листа, тополь чёрный – 33,8/29,3 мг/кв.см листа. Результаты исследований представлены на рисунках 2 и 3, подтверждают превосходство вяза приземистого в удержании пыли по сравнению с ясенем ланцетным и тополем чёрным.



1 – улицы с max движением транспорта; 2 – улицы с min движением транспорта; 3 – рекреационные зоны без транспорта
 Рисунок 2 – Сравнительные данные по пылезадержанию листьями разных древесных пород в г. Саратове



1 – улицы с max движением транспорта; 2 – улицы с min движением транспорта; 3 – рекреационные зоны без транспорта
 Рисунок 3 – Сравнительные данные по пылезадержанию листьями разных древесных пород в г. Энгельсе

Визуализация данных подтверждает более высокую эффективность вяза приземистый в улавливании пыли в городской среде по сравнению с ясенем ланцетным (примерно в 1,5 раза) и тополем черным (на 20%). Водоудерживающая способность листьев некоторых видов ильмовых приведена на рисунке 4.

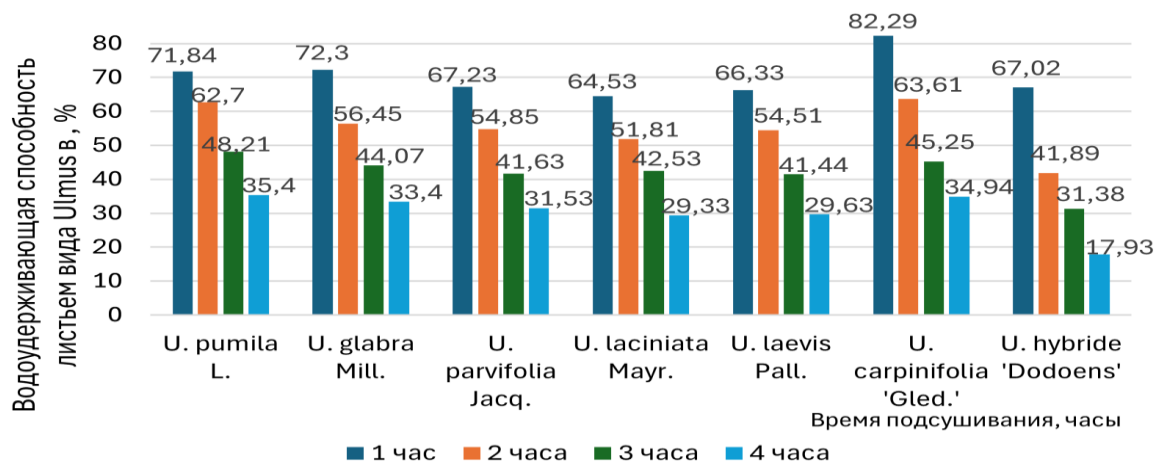


Рисунок 4 – Сравнение водоудерживающей способности листьев видов ильмовых в %, по времени подсушивания в часах

Согласно рисунку 4, *U. pumila* L. продемонстрировал наивысшую водоудерживающую способность (35,4%), лишь незначительно опередив *U. carpinifolia* 'Gled' (34,94%). Наименьшая водоудерживающая способность (17,93%) была зафиксирована у гибрида *U. hybride* 'Dodoens', что коррелирует с его низкой засухоустойчивостью.

Эксперимент по выращиванию 50 семян *U. pumila* L. и *U. hybride* 'Dodoens' выявил различия в росте. При поливе *U. pumila* L. рос на 20% медленнее, чем *U. hybride* 'Dodoens', но в засушливых условиях – в два раза быстрее. Разница в росте между поливом и засухой составила 5,2 см для *U. pumila* L. и 11,56 см для *U. hybride* 'Dodoens'.

Статистический анализ выявил существенные различия в росте видов рода *Ulmus* в условиях засушливого климата г. Саратова и г. Энгельса. Высокая засухоустойчивость: *U. pumila* L. (7,44 см) и *U. laevis* Pall. (9,40 см) показали наилучшие результаты роста без полива. Низкая засухоустойчивость: *U. hybride* 'Dodoens' (3,86 см) продемонстрировал замедление роста и высокую вариативность. Умеренная засухоустойчивость: *U. glabra* Mill. и *U. laciniata* Mayr. Слабая засухоустойчивость: *U. carpinifolia* 'Gled.' и *U. parvifolia* Jacq. Для озеленения г. Саратова и г. Энгельса предпочтительны местноадаптированные виды с высокой засухоустойчивостью, такие как *U. pumila* L. и *U. laevis* Pall. гибрид *U. hybride* 'Dodoens' не рекомендуется.

На основе проведенных исследований разработаны девять эко-моделей (ЭМ) с использованием ильмовых насаждений, адаптированных к городским условиям: ЭМ-1: живые изгороди (ограждения); ЭМ-2: солитеры (акцентные посадки); ЭМ-3: групповые посадки (укрепление грунта); ЭМ-4: группы/солитеры на склонах (укрепление, маскировка); ЭМ-5: топиарные формы (акценты, ритм); ЭМ-6: лабиринты (развлекательные объекты); ЭМ-7: смешанные группы (комбинации с другими деревьями и кустарниками); ЭМ-8: однопородные аллеи (линейные

посадки); ЭМ-9: арбоархитектура (инсталляции). Эко-модели учитывают декоративность, пыле-, влаго- и засухоустойчивость ильмовых.

Живая изгородь из *Ulmus pumila* L. (100 п.м.): экономически эффективна (окупаемость <14 мес., выгода 75 тыс. руб./год). Высокая декоративность, пылезащита и долговечность обеспечивают устойчивое городское озеленение с высокой социально-экологической отдачей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследования показали, что *Ulmus pumila* L. является преобладающим видом в районе исследования (г. Саратов – 30%, г. Энгельс – 32%). На основе полученных данных разработана комплексная методика оценки декоративных качеств зелёных насаждений, учитывающая как внешние (экологические), так и внутренние (биологические) факторы. Предложена математическая модель интегральной оценки декоративности ильмовых насаждений, обеспечивающая количественный анализ их состояния в городских условиях. Модель основана на шести параметрах/индексах: биологическое состояние (x_1), экологические условия (x_2), ландшафтная гармония (x_3), уход за деревом (x_4), социальные факторы (x_5), культурная инновационность (x_6), а также корректирующем коэффициенте, учитывающем возраст и экологическое напряжение. Эффективность разработанной математической модели подтверждена для объективной диагностики и прогнозирования динамики декоративности в зависимости от условий произрастания и агротехнических мероприятий.

2. Определено, что стимуляторы роста (ИМК, гиббереллин ГКЗ) негативно влияют на всхожесть семян *U. pumila* L. Наилучшие результаты прорастания наблюдаются в контрольной группе без обработки. Замачивание семян вяза приземистого (*U. pumila* L.) в 3% растворе сахарозы значительно (в 2-2,5 раза) повышает их всхожесть, вероятно, за счет дополнительного углеводного питания и рекомендуется для рассады. Для успешного разведения *U. pumila* L. и сохранения его жизнеспособности предпочтительно минимизировать использование химических стимуляторов. Прорастание семян определяется преимущественно гидратацией. Спектральный состав света модулирует энергию прорастания, причем высокое соотношение красного к синему свету оказывает ингибирующее действие. Оптимальные условия для прорастания – темнота и освещение с соотношением красного к синему 2:1, что указывает на роль фитохромов.

3. Отмечено, что листья вяза приземистого задерживают пыль значительно эффективнее, чем листья ясеня ланцетного (почти в 1,5 раза) и тополя (на 20%). Эффективность улавливания пыли деревьями наиболее высока вблизи дорог с интенсивным движением, где зафиксированы максимальные показатели. Минимальная пылеудерживающая способность отмечена у деревьев в рекреационных зонах в сухую погоду – 27,9-32,3 и после дождя – 20,4-29,9 (16,3 мкг/см²). Оценка

пригодности различных видов ильма для использования в системах озеленения агломерации Саратов-Энгельс показала, что такие виды, как *U. pumila* L. и *U. laevis* Pall., обладают высокой пылезадерживающей способностью, устойчивостью к засухе и жаре, а также декоративными характеристиками, что делает их действенными компонентами городских зелёных насаждений, направленных на снижение техногенной нагрузки и улучшение качества воздушной среды. *U. pumila* L. демонстрирует максимальную водоудерживающую способность (35,4%), незначительно превышая показатель *U. carpinifolia* 'Gled' (34,94%). *U. hybride* 'Dodoens' характеризуется минимальной водоудерживающей способностью (17,93%), что указывает на его низкую засухоустойчивость. В условиях засушливого климата агломерации Саратов-Энгельс выявлены статистически значимые различия в росте основных видов рода *Ulmus* ($d \geq 4,56 \geq 4,53$), что подтверждает гипотезу о влиянии климатических факторов.

4. Разработанные эко-модели озеленения на основе видов рода *Ulmus* предусматривают интеграцию данных древесных пород в структуру современного городского ландшафта с учетом их биоэкологических особенностей, декоративных свойств и устойчивости к факторам антропогенной среды, что позволяет повысить функциональную и эстетическую ценность зелёных зон.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Предлагается активно внедрять ильмовые насаждения в городскую среду, используя девять различных эко-моделей: 1. Живые изгороди: вдоль дорог для защиты от транспорта; 2. Солитеры: как акцентные элементы в парках; 3. Групповые посадки: из разных видов ильма для декоративного озеленения городских территорий (парки, набережные); 4. Укрепление склонов: одиночные и групповые посадки для предотвращения эрозии; 5. Топиарное искусство: для оформления архитектурных объектов и ландшафтного дизайна; 6. Лабиринты: как развлекательные элементы в парках; 7. Смешанные группы: для создания доминант и акцентов в ландшафтных композициях; 8. Аллеи: для формирования упорядоченного пейзажа, шумо- и ветрозащиты, зонирования пространства; 9. Арбоархитектура/инсталляции: для декоративного оформления и создания функциональных элементов (игровые зоны, беседки).
2. Использовать ильмы в качестве фоновых растений, чтобы смягчить яркость других элементов в растительных композициях с регулярной их санитарной и формовочной обрезкой.
3. Применять виды рода *Ulmus* в озеленении агломерации Саратов-Энгельс: 1) улицы с интенсивным движением: вяз приземистый (*U. pumila* L.) и вяз гладкий (*U. laevis* Pall.); 2) топиарное искусство: вяз мелколистный (*U. parvifolia* Jacq.) (для акцентов, живых изгородей); 3) аллеи: вяз приземистый (*U. pumila* L.) и вяз шершавый (*U.*

glabra Mill.); 4) биогруппы (скверы, парки, набережные): вяз приземистый (*U. pumila* L.), вяз шершавый (*U. glabra* Mill.), вяз граболистный (*U. carpinifolia* 'Gled.'), вяз мелколистный (*U. parvifolia* Jacq.), вяз лопастный (*U. laciniata* Mayr.), вяз гладкий (*U. laevis* Pall.); 5) вяз гибридный голландский (*U. laevis*. *Ulmus* × *hollandica* 'Dodoens') рекомендован только для парковых территорий из-за требований к влажности и чувствительности к загрязнению воздуха.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Оценка рекреационного потенциала городских и пригородных зон с засоленными почвами. Изучение устойчивости различных видов рода *Ulmus* к засолению для целей озеленения прибрежных территорий и иных. Разработка рекомендаций по созданию питомника декоративных вязов, адаптированных к засоленным почвам, для использования в садово-парковом строительстве.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. **Богущ, И. С.** Особенности проращивания семян *Ulmus pumila* L. в лабораторных условиях / **И. С. Богущ**, О. Б. Сокольская, Т. А. Андрушко // Научно-агрономический журнал. – 2023. – № 1(120). – С. 53-57. – (К3).
2. **Богущ, И. С.** Сравнительная оценка пылезадерживающей способности листьев зеленых насаждений в урбанизированной среде Саратовского Поволжья / **И. С. Богущ**, О. Б. Сокольская, Т. А. Андрушко // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2024. – № 1. – С. 45-55. – (К2).
3. **Богущ, И. С.** Комплексная оценка декоративности ильмовых насаждений в городской среде / **И. С. Богущ**, О. Б. Сокольская, В. В. Кругляк, А. А. Вергунова, Т. А. Андрушко // Природообустройство. – 2025 – № 3. – С.142-149. – (К1).

Статьи в научных сборниках и журналах:

4. **Богущ, И. С.** Мониторинг рода *Ulmus* L. в городском озеленении / **И. С. Богущ**, О. Б. Сокольская // Агрофорсайт. – 2021. – № 6(37). – С. 101-108.
5. **Богущ, И. С.** Особенности озеленения детских площадок видами *Ulmus* рода / **И. С. Богущ**, Е. В. Налимова, Т. Б. Можяева, О. Б. Сокольская // Ландшафтная архитектура: традиции и перспективы - 2022: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции, Екатеринбург, 15-16 декабря 2022 года. – Екатеринбург: ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2022. – С. 58-64.

6. **Богущ, И. С.** Роль зеленых насаждений рода *Ulmus* в условиях урбанизированной среды Саратова / **И. С. Богущ, О. Б. Сокольская** // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики - 2022: Материалы международной научно-практической конференции, Саратов, 07-08 апреля 2022 года / – С. 31-35.

7. **Богущ, И. С.** *Ulmus pumila L.* в озеленении населенных пунктов Саратовского Поволжья / **И. С. Богущ, О. Б. Сокольская, А. А. Вергунова [и др.]** // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики - 2024: Материалы XIII Международной научно-практической конференции, Саратов-Нижний Новгород, 04-05 апреля 2024 г. – С. 251-256.

8. **Богущ, И. С.** Воздействие различных обработок и качества освещения на всхожесть и рост *Ulmus pumila L.* в словиях Саратовской области / **И. С. Богущ** // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики - 2024: Материалы XIII Международной научно-практической конференции, Саратов-Нижний Новгород, 04–05 апреля 2024 года. – С. 196-203.

9. **Богущ, И. С.** Оценка роста *Ulmus pumila L.* и *Ulmus laevis Pall.* в прибрежных условиях затопления и сильного увлажнения на территориях Саратовской области / **И. С. Богущ, А. А. Вергунова, О. Б. Сокольская** // Аграрные конференции. – 2024. – № 4(46). – С. 10-16.

10. **Богущ, И. С.** Анализ зарубежного опыта озеленения городов ильмовыми культурами / **И. С. Богущ** // Беккеровские чтения: Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Волгоград, 30 октября 2024 года. – Волгоград: Волгоградский государственный университет, 2024. – С. 300-305.

11. **Богущ, И. С.** Эко-модели для организации ландшафтно-архитектурных пространств из ильмовых культур в населенных пунктах / **И. С. Богущ, О. Б. Сокольская, А. А. Вергунова** // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики: материалы XIV Международной научно-практической конференции, Саратов - Н.Новгород, 03-04 апреля 2025 года. – Саратов-Нижний Новгород: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2025. – С. 221-228.