

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

УДК 581.18:58.02

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ *BETULA PENDULA*
И *POPULUS BALSAMIFERA* В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ СРЕДЫ

© 2025 г. П. А. Кузьмин

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоград, Россия

e-mail: kuzmin-p@vafanc.ru

Поступила в редакцию 25.09.2024 г.

После доработки 06.10.2024 г.

Принята к публикации 15.11.2024 г.

Проведено исследование жизненного состояния и динамики содержания аскорбиновой кислоты и танинов в листьях *Betula pendula* Roth. и *Populus balsamifera* L., произрастающих в магистральных насаждениях городов Нижнего Прикамья Республики Татарстан — г. Елабуга и г. Набережные Челны. У исследуемых видов отмечается примерно одинаковое снижение жизненного состояния в условиях магистральных посадок по сравнению с контрольными насаждениями, что свидетельствует о сходном уровне негативного воздействия в г. Елабуга и Набережные Челны. По сравнению с контрольными насаждениями, в листьях исследуемых видов в условиях антропогенного стресса наблюдается возрастание содержания аскорбиновой кислоты на начальных этапах вегетации, а танины накапливаются к концу вегетации, что указывает на защитную роль последних ближе к концу вегетации. Отмечено более высокое содержание аскорбиновой кислоты в г. Набережные Челны по сравнению с г. Елабуга, что подтверждает более активную ответную реакцию растительного организма на воздействие более интенсивной антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: *Betula pendula*, *Populus balsamifera*, антропогенная среда, жизненное состояние, аскорбиновая кислота, танины, Нижнее Прикамье

DOI: 10.31857/S0033994625010073, **EDN:** EGORDP

В настоящее время происходит рост площади городских агломераций. Урбанизированная среда представляет особую искусственную систему, которая нуждается в мероприятиях, направленных на формирование экологического равновесия [1, 2]. Главными источниками загрязнителей в городской среде являются автотранспорт и объекты промышленного производства [3, 4]. Основная доля загрязняющих веществ, более 80% от общего количества выбросов, приходится на автотранспорт [5, 6]. Основными загрязнителями являются диоксиды углерода, азота, серы, фенол, формальдегид, углеводороды [7–9]. Актуальными остаются вопросы подбора адаптированного ассортимента растений, в первую очередь древесных, для создания благоприятных условий в урбаносреде [10–12]. Для решения данной задачи необходимо располагать экофизиологическими характеристиками видов растений, которые уже успешно произрастают на данной территории [13–15]. Исследования возможности адаптации живых организмов, в том числе

древесных растений, к условиям урбанизированной среды ведутся постоянно [16, 17].

В формировании адаптивных реакций у древесных растений в урбанизированной среде задействованы разнообразные вещества, различающиеся по химической природе, функциональной роли, месту локализации в растении, количественному содержанию, периоду максимального накопления в органах растений и др. [18, 19]. Важными метаболитами, принимающими участие в адаптационном процессе у растений, являются аскорбиновая кислота и танины [20]. Аскорбиновая кислота (АК) задействована в многочисленных процессах жизнедеятельности растительного организма [21].

Города Нижнего Прикамья — Елабуга и Набережные Челны, различаются по численности населения и погодным условиям. По данным на 2023 г. численность населения составляет: в Елабуге 74 961 человек, в Набережных Челнах 545 750 человек. Годовое количество осадков

в г. Елабуга составляет 430 мм, в г. Набережные Челны 550 мм. Средняя годовая температура атмосферного воздуха: в Елабуге +5.1 °С, в Набережных Челнах +4.0 °С.

Нижнее Прикамье является индустриально развитой территорией республики Татарстан. В г. Елабуге сосредоточены предприятия разной направленности, которые объединены на территории особой экономической зоны «Алабуга» (ОЭЗ ППТ «Алабуга»). Активно развивающаяся ОЭЗ «Алабуга» является основным источником загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду, в том числе в атмосферный воздух. Набережные Челны является крупным промышленным центром Камского региона республики, в котором развито машиностроение, строительство, перерабатывающая, пищевая промышленность, электроэнергетика. Крупнейшим градообразующим предприятием является автогигант мирового уровня ПАО «Камаз», представленный полным циклом производства грузовых автомобилей. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха города являются литейный и кузнечный заводы, а также активно развивающаяся автомобильная сеть, загруженная автотранспортом. На основании анализа Государственных докладов о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан [22] степень загрязнения атмосферного воздуха в местах отбора растительных образцов оценивается как высокая (г. Елабуга) и очень

высокая (г. Набережные Челны). Превышение в несколько раз предельно допустимых концентраций (ПДК) отмечается по оксидам углерода, азота, серы, формальдегиду, фенолам и бенз(а)пирену. Однако значение индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) в целом по городам Елабуга и Набережные Челны низкое – 3.4.

Цель исследования – изучение жизненного состояния, содержания аскорбиновой кислоты и танинов в листьях *Betula pendula* Roth. и *Populus balsamifera* L., произрастающих в городах Елабуга и Набережные Челны Республики Татарстан.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

B. pendula является аборигенным видом, который широко распространен на территории Республики Татарстан (встречается как в естественных, так и искусственных насаждениях). *P. balsamifera* – интродуцированный вид, широко представлен в городских насаждениях.

Исследования проведены в период с 2019 по 2023 гг. Температура атмосферного воздуха и количество выпавших осадков в период вегетации в годы исследований имели отклонения от средних многолетних значений (рис. 1). Вегетационный период 2019 г. в целом характеризовался пониженной температурой воздуха на 2 – 3.6 °С. Количество выпавших осадков в августе превышало среднее многолетнее значение почти в два раза. В 2020 г. температура атмосферного воздуха в июле была выше средних многолетних

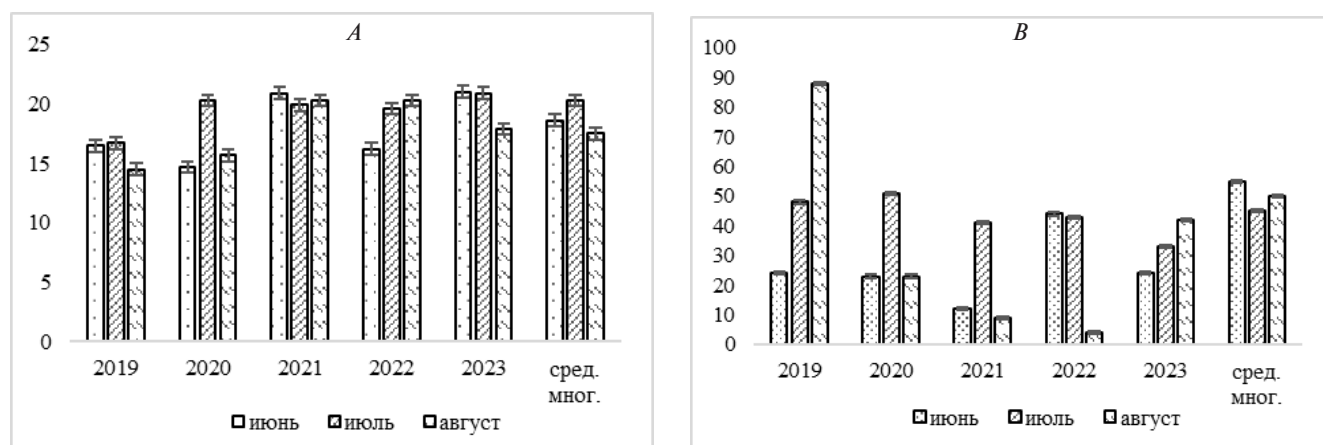


Рис. 1. Метеорологические условия в период исследования (по данным ФГБУ УГМС Республики Татарстан по г. Набережные Челны и г. Елабуга).

A – температура атмосферного воздуха, °С. *B* – количество осадков, мм. По горизонтали: год исследования; по вертикали: *A* – °С, *B* – мм.

Fig. 1. Meteorological conditions during the study period (data from the Republic of Tatarstan Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring for Naberezhnye Chelny and Yelabuga).

A – air temperature, °С. *B* – amount of precipitation, mm. Horizontally: years of research; y-axis: *A* – °С, *B* – mm.

температур на 3.2 °С. При этом в июне и августе отмечалось уменьшение количества выпавших осадков на 4 и 15 мм соответственно, а в июле — увеличение на 15 мм по сравнению со средними многолетними значениями. В 2021, 2022 и 2023 гг. наблюдались дефицит увлажнения в летний период и повышенный температурный режим, что указывает на более засушливые условия по сравнению с предыдущими годами и средними многолетними данными.

В г. Набережные Челны магистральные посадки исследуемых видов располагались вдоль центральных пр. Мира и ул. Машиностроителей, которые являются дорогами обычного типа с расчетной интенсивностью движения автотранспорта 14000 ед./сут. В г. Елабуга магистральные посадки располагались вдоль центральных пр. Мира и пр. Нефтяников, которые являются дорогами обычного типа с расчетной интенсивностью движения 3500 ед./сут. Для *B. pendula* в роли контрольного насаждения выбрана территория Челнинского лесничества и Танаевский лес, которая расположена в 15 км от городской черты. Для *P. balsamifera* контролем послужили парки ландшафтного типа: в г. Елабуга — Александровский сад, в г. Набережные Челны — парк Гренада. В контрольных насаждениях и магистральных посадках в г. Набережные Челны и г. Елабуга были

заложены по пять участков площадью не менее 0.25 га регулярным способом (рис. 2).

В пределах участка жизненное состояние всех древесных растений оценивали визуально по степени нарушения ассимиляционного аппарата и крон растений. Согласно методике [23], по десятибалльной шкале оценивали: количество живых ветвей в кронах деревьев (P1), степень облиственности крон (P2), количество живых (без некрозов) листьев в кронах (P3), среднее количество живой площади листа (P4). В итоге определяли суммарную оценку (максимально 40 баллов) состояния деревьев каждого вида и проводили распределение деревьев по шкале категорий (хорошее состояние — 38–40, удовлетворительное — 36–37, неудовлетворительное — 31–35, усыхающие деревья — менее 30 баллов).

Для определения содержания в листьях аскорбиновой кислоты (АК) и танинов были выбраны по 20 растений *B. pendula* и *P. balsamifera* с каждого участка, которые имели наилучшее жизненное состояние в насаждении. В период активной вегетации, т. е. в июне, июле и августе, у учетных особей проводили отбор проб листьев срединной формации на годичном вегетативном побеге (с нижней трети участка кроны южной экспозиции). В магистральных

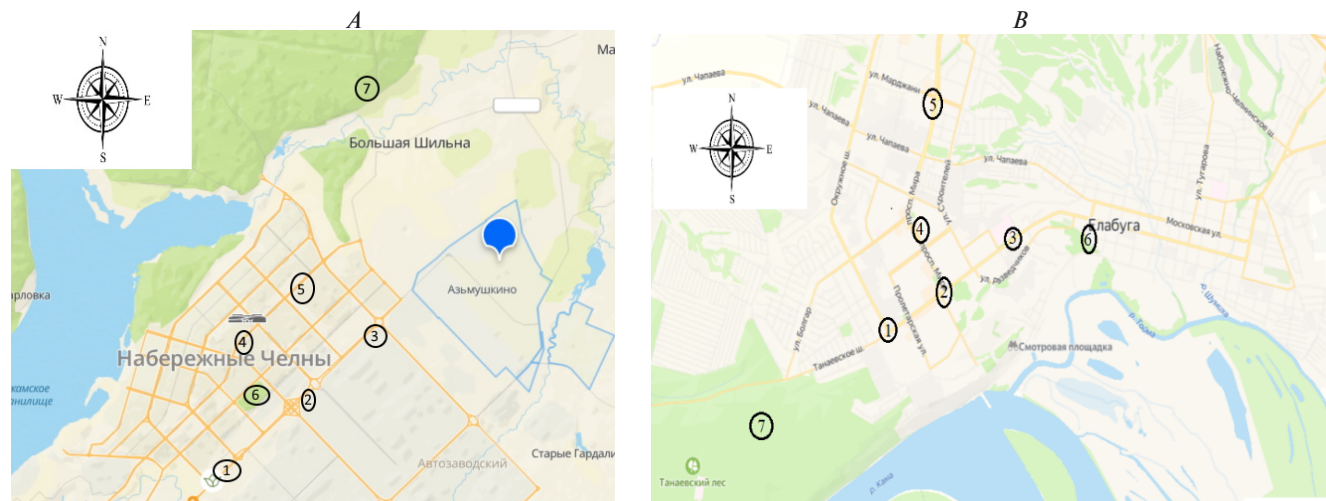


Рис. 2. Карта-схема закладки участков в г. Набережные Челны и г. Елабуга.

А — г. Набережные Челны: 1, 2, 3 — ул. Машиностроителей, 4, 5 — пр. Мира, 6 — Парк Гренада (контрольная зона), 7 — Челнинское участковое лесничество (контрольная зона). *В* — г. Елабуга: 1, 2, 3 — пр. Нефтяников, 4, 5 — пр. Мира, 6 — Александровский сад (контрольная зона), 7 — Танаевский лес (контрольная зона).

Масштаб 1 : 120000.

Fig. 2. Map of sample plots location in Naberezhnye Chelny and Yelabuga.

A — Naberezhnye Chelny: 1, 2, 3 — Mashinostroiteley Street, 4, 5 — Mira Avenue, 6 — Grenada Park (control zone), 7 — Chelny forest district (control zone). *B* — Yelabuga: 1, 2, 3 — Neftyanikov Avenue, 4, 5 — Mira Avenue, 6 — The Alexander's Garden (control zone), 7 — Tanaevsky forest (control zone).

Scale 1:120000.

насаждениях часть кроны южной экспозиции была обращена непосредственно к проспекту.

Относительное жизненное состояние древостоя (ОЖС) оценивали по методике В. А. Алексеева [1]. При значении относительного жизненного состояния от 100 до 80% древостой относили к «здоровому», при 79–50 – «ослабленному», при 49–20 – «сильно ослабленному», при 19% и ниже – «полностью разрушенному».

В лабораторных условиях определяли содержание аскорбиновой кислоты (АК) в листьях титриметрическим методом. Содержание конденсированных танинов определяли перманганатометрическим методом (метод Левенталья в модификации Курсанова) [24]. Для каждой особи анализы проводили в трех повторностях.

Статистическую обработку полученных данных провели в пакете «Statistica 12»

с использованием методов дисперсионного многофакторного анализа ANOVA (при последующей оценке различий методом TuKey HSD test и Scheffe test). Различия считали достоверными при уровне значимости $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате оценки относительного жизненного состояния древостоев выявлено: в зоне условного контроля (ЗУК) древостой обоих исследуемых видов относятся к здоровым (ОЖС в среднем 81%), а в магистральных посадках г. Елабуги и г. Набережные Челны – ослабленные (ОЖС = 73–75 и 68–71% соответственно). У особей, произрастающих в г. Набережные Челны, отмечено большее поражение фотосинтетического аппарата по сравнению с деревьями из г. Елабуга, что отразилось в уменьшении итоговых баллов жизненного состояния (рис. 3)

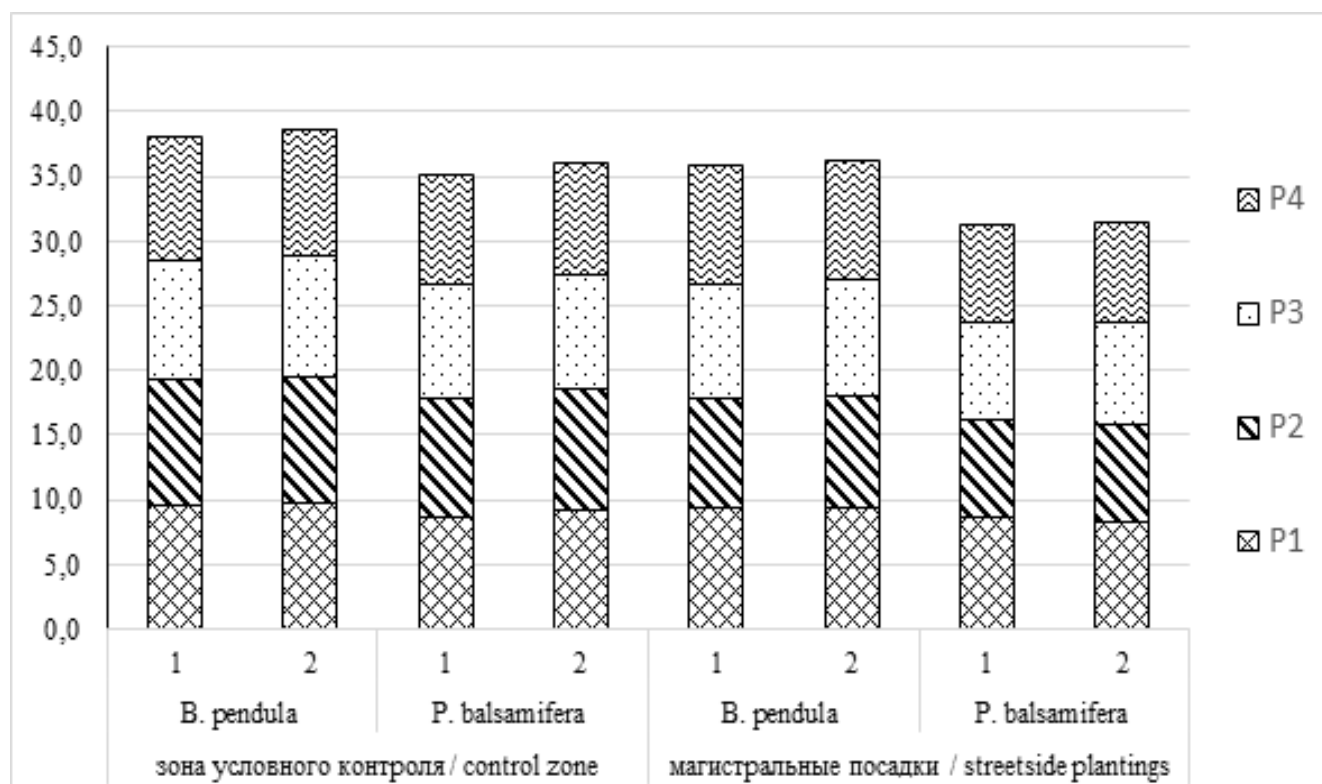


Рис. 3. Жизненное состояние *Betula pendula* и *Populus balsamifera* в различных насаждениях.

Примечание: P1 – количество живых ветвей в кронах деревьев; P2 – степень облиственности крон; P3 – количество живых (без некрозов) листьев в кронах; P4 – среднее количество живой площади листа; 1 – Набережные Челны, 2 – Елабуга. Статистически значимые различия между баллами жизненного состояния в контроле и магистральных посадках ($p < 0.05$). По вертикали: баллы; по горизонтали: город.

Fig. 3. Life status of *Betula pendula* and *Populus balsamifera* in different plantings.

Note: P1 – number of live branches in tree crowns; P2 – degree of crown foliation; P3 – number of live (without necrosis) leaves in crowns; P4 – average live leaf area; 1 – Naberezhnye Chelny, 2 – Yelabuga. Statistically significant differences between vitality scores in the control zone and streetside plantings ($p < 0.05$).

X-axis: score; y-axis: settlement.

и величине ОЖС. Таким образом, можно заключить, что в магистральных посадках как г. Елабуги, так и г. Набережные Челны, оба исследуемые вида *B. pendula* и *P. balsamifera* испытывают негативное воздействие урбано-среды различной интенсивности.

С целью компенсации негативного воздействия растения задействуют разнообразные механизмы, которые связаны с изменением метаболического состава, в частности, содержания аскорбиновой кислоты, являющейся мощным антиоксидантом. Проведенный дисперсионный анализ выявил существенные различия в содержании АК, связанные с видовыми особенностями растений ($p < 0.05$), комплексом условий места произрастания, периодом вегетации, годом проведения исследований и взаимодействием данных факторов.

В г. Набережные Челны в 2019–2023 гг. наибольшее количество АК в листьях обоих исследуемых видов наблюдалось в июне в магистральных посадках и значительно превышало контрольные значения: у *P. balsamifera* на 0.53, 0.45, 0.46, 0.51 и 0.35, а у *B. pendula* — на 0.27, 0.29, 0.26, 0.17 и 0.72 мг/г, соответственно (рис. 4). В июле у обоих видов отмечается резкое снижение содержания АК как в контроле, так и в МП, при этом различия в содержании АК в листьях *B. pendula* недостоверны между ЗУК и МП, а у *P. balsamifera* в МП наблюдается достоверно более высокое содержание данного метаболита. В августе картина меняется: в контроле наблюдается снижение содержания АК в листьях у обоих видов; в МП в период 2019–2023 гг. у *B. pendula* наблюдается увеличение АК на 0.40, 0.46, 0.47, 0.38, и 0.42 мг/г относительно контрольных величин, а у *P. balsamifera* — продолжается снижение содержания АК. Наблюдаемые закономерности в изменении содержания АК в листьях *B. pendula* и *P. balsamifera* в контроле и магистральных посадках г. Набережные Челны сохранялись на протяжении всего периода исследования, резких изменений не отмечалось. В г. Елабуга закономерности накопления и расходования АК в листьях *B. pendula* и *P. balsamifera* в контроле и МП имели сходные черты с таковыми у растений из г. Набережные Челны (рис. 5). Следует отметить, что в целом содержание АК в листовой пластинке *P. balsamifera* в исследуемых точках за весь период исследования было меньше по сравнению с листьями *B. pendula* (рис. 4, 5).

В условиях породных отвалов Кузбасса Е. Ю. Колмогоровой (2017) отмечено, что максимальное снижение АК в листьях *B. pendula* относительно контроля наблюдается в июне — на 30%, минимальное — в августе — на 13.6% [25]. В наших исследованиях, наоборот, отмечается повышение содержания АК в листьях *B. pendula* в магистральных посадках по отношению к ЗУК. В то же время наши результаты согласуются с данными И. Л. Бухариной и др. (2007) из Уральского региона. Авторы отмечают, что повышение степени техногенной нагрузки приводит к возрастанию содержания аскорбиновой кислоты в листьях изучаемых видов древесных растений в санитарно-защитных насаждениях промышленных предприятий [3].

Важную роль в формировании адаптивных реакций у древесных растений играют фенольные соединения, к которым относятся танины. Механизм действия танинов на растительный организм до конца неясен, но при этом отмечается их повышенное содержание в растениях в стрессовых условиях.

Проведенный дисперсионный анализ выявил существенные различия в содержании танинов в листьях исследуемых растений, связанные с видовыми особенностями ($p < 0.05$), комплексом условий места произрастания, периодом вегетации, годом проведения исследований и взаимодействием данных факторов.

Результаты исследований показали, что у *B. pendula* и *P. balsamifera* в контроле и МП содержание танинов в листьях возрастает в ходе вегетации, достигая максимальных значений в августе (рис. 6, 7). Содержание танинов в листьях *B. pendula* в условиях магистральных посадок г. Набережные Челны было достоверно ниже по сравнению с контролем: в июне на 0.58, 0.42, 0.31 (кроме 2022, 2023 гг.), в июле на 0.66, 0.69, 1.07 и 0.53 (кроме 2021 г.), в августе — 1.73, 1.38, 1.64, 0.78 и 1.06 мг/г соответственно в период 2019–2023 гг. В г. Елабуга отмечалась аналогичная закономерность снижения содержания танинов у *B. pendula* в магистральных посадках относительно контроля: в июне на 0.73, 0.34, 0.19 и 0.43 (кроме 2023 г.), в июле на 0.58, 0.26, 0.43, 0.52 и 0.22, в августе на 1.70, 1.37, 1.58, 1.48 и 1.37 мг/г. Таким образом, у *B. pendula*, произрастающей в магистральных посадках обоих городов, наблюдается меньшее содержание танинов в листьях во все сроки наблюдения

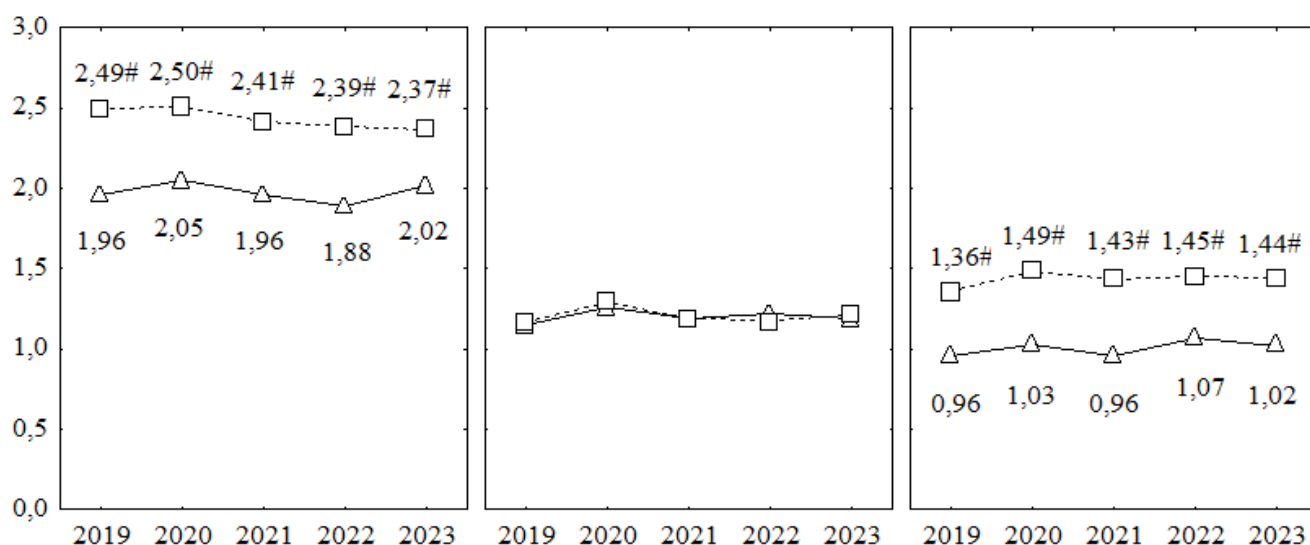
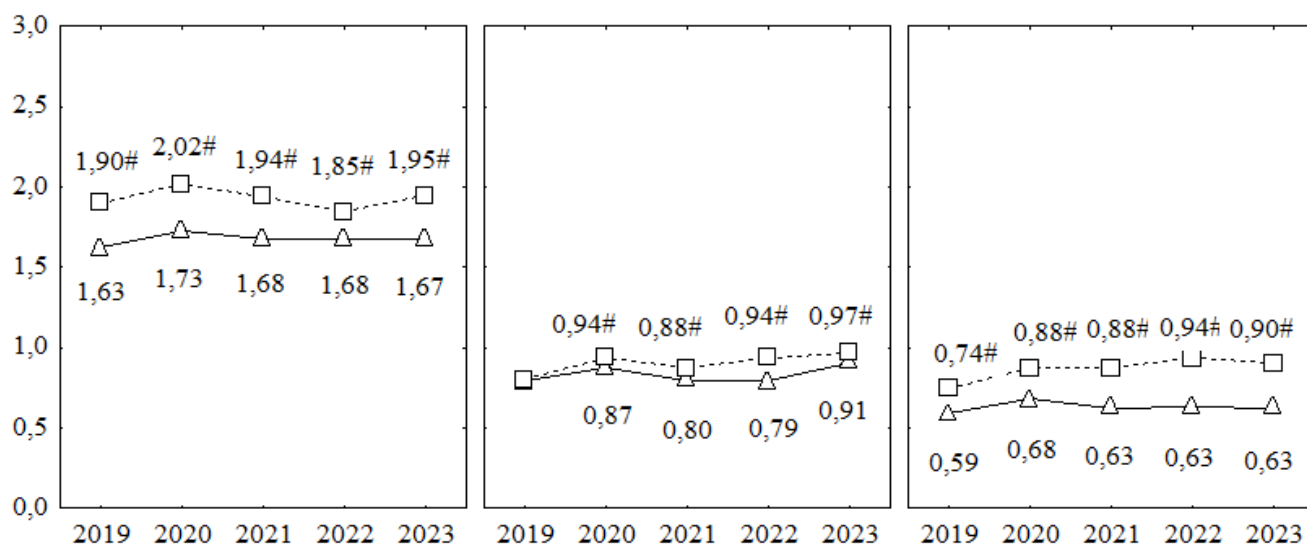
B. pendula*P. balsamifera*

Рис. 4. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях *Betula pendula* и *Populus balsamifera* (г. Набережные Челны).

Примечание: # — статистически значимые различия по сравнению с контролем ($p < 0.05$); -Δ- — зона контроля; -□- — магистральные посадки.

По вертикали: мг/г сух. в-ва; по горизонтали: А — июнь, В — июль, С — август.

Fig. 4. Ascorbic acid content in leaves of *Betula pendula* and *Populus balsamifera* (Naberezhnye Chelny).

Note: # — statistically significant differences compared to the control ($p < 0.05$); -Δ- — control zone; -□- — streetside plantings.

X-axis: mg/g dry matter; y-axis: A — June, B — July, C — August.

по сравнению с контрольными растениями, что может свидетельствовать об участии танинов в ответной реакции на воздействие стрессовых факторов.

Напротив, содержание танинов в листьях *P. balsamifera*, произрастающего в магистральных посадках обоих городов, было больше

контрольных величин (рис. 6, 7). В г. Набережных Челнах достоверные превышения составили в июне (кроме 2019 г.) 0.20, 0.53, 0.25, 0.41 мг/г, в июле 1.02, 1.15, 1.25, 1.15 и 0.69, в августе 0.41, 0.43, 0.20, 0.65 и 0.32 мг/г соответственно за период 2019–2023 гг. В г. Елабуга достоверные превышения отмечены в июне на 0.23 мг/г только

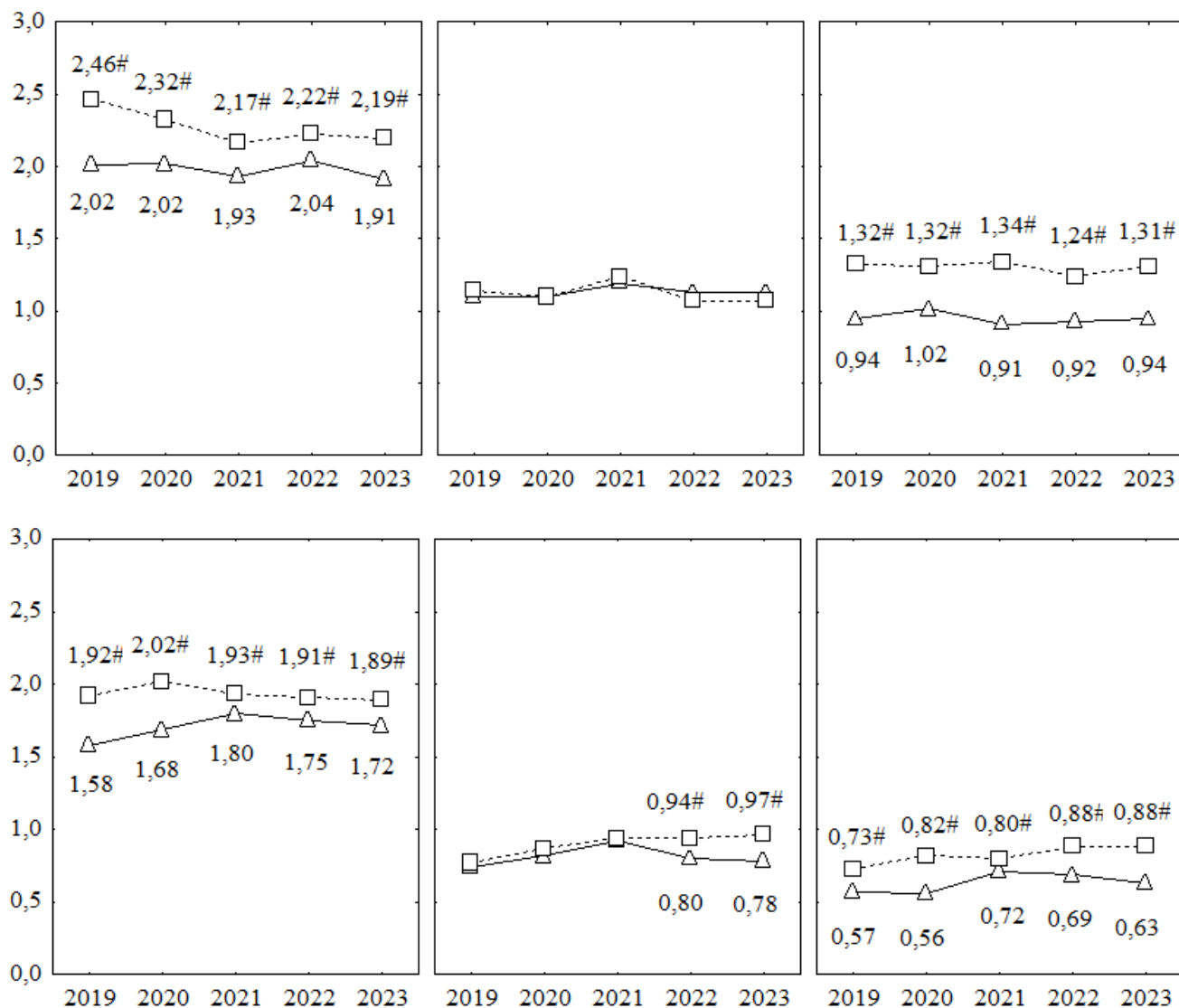
B. pendula

Рис. 5. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях *Betula pendula* и *Populus balsamifera* (г. Елабуга).

Примечание: # — статистически значимые различия по сравнению с контролем ($p < 0.05$); -Δ- — зона контроля; -□- — магистральные посадки.

По вертикали: мг/г сух. в-ва; по горизонтали: А — июнь, В — июль, С — август.

Fig. 5. Ascorbic acid content in leaves of *Betula pendula* and *Populus balsamifera* (Yelabuga).

Note: # — statistically significant differences compared to the control ($p < 0.05$); -Δ- — control zone; -□- — streetside plantings.

X-axis: mg/g dry matter; y-axis: A — June, B — July, C — August.

в 2023 г., в июле на 0.90, 0.52, 1.05, 0.78 и 0.75, в августе на 0.42, 0.09, 0.14, 0.29 и 0.39 соответственно в период исследования. Следовательно, можно заключить, что *P. balsamifera* проявляет специфическую реакцию в условиях магистральных посадок обоих городов, что связано с неблагоприятными условиями произрастания и активным участием данного метаболита в защитной реакции на неблагоприятные факторы городской среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное многолетнее (2019—2023 гг.) исследование жизненного состояния и динамики содержания аскорбиновой кислоты и танинов в листьях *Betula pendula* Roth. и *Populus balsamifera* L., произрастающих в условно фоновых зонах и магистральных насаждениях городов Нижнего Прикамья Республики Татарстан — г. Елабуга и г. Набережные Челны, позволяет сделать следующее заключение. У исследуемых видов

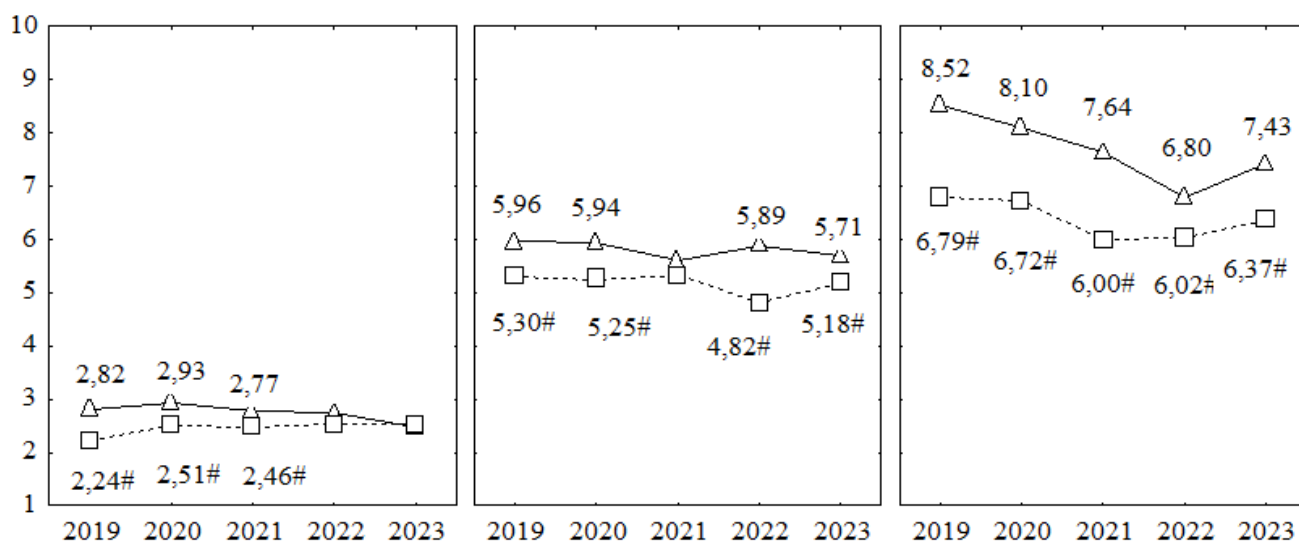
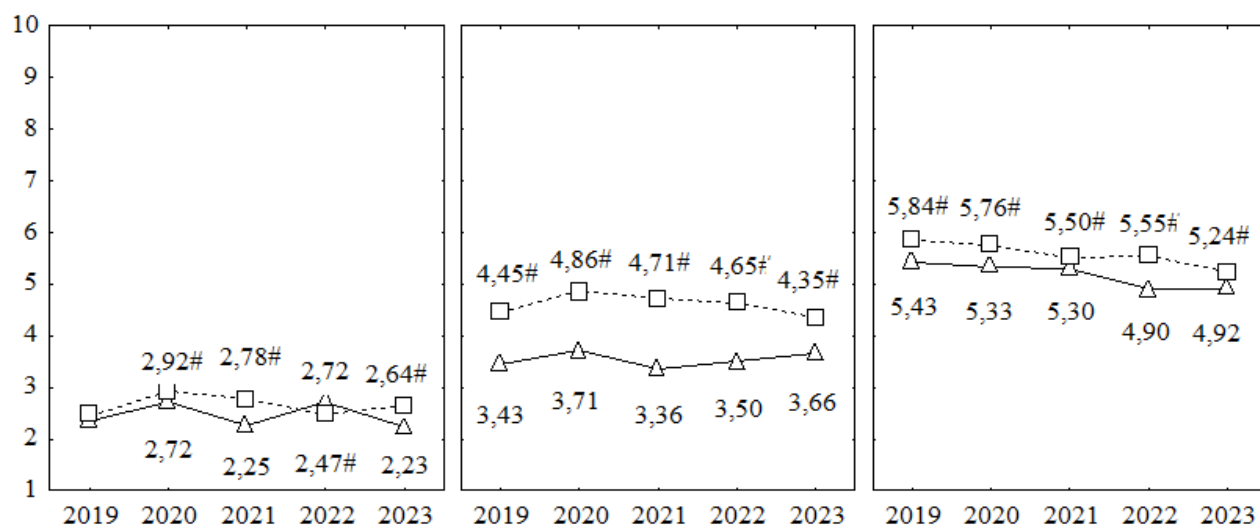
B. pendula*P. balsamifera*

Рис. 6. Содержание танинов в листьях *Betula pendula* и *Populus balsamifera* (г. Набережные Челны).

Примечание: # — статистически значимые различия по сравнению с контролем ($p < 0.05$); -Δ- — зона контроля; -□- — магистральные посадки.

По вертикали: мг/г сух. в-ва; по горизонтали: А — июнь, В — июль, С — август.

Fig. 6. Tannin content in the leaves of *Betula pendula* and *Populus balsamifera* (Naberezhnye Chelny).

Note: # — statistically significant differences compared to the control ($p < 0.05$); -Δ- — control zone; -□- — streetside plantings.

X-axis: mg/g dry matter; y-axis: A — June, B — July, C — August.

отмечается примерно равное снижение жизненного состояния в условиях магистральных посадок по сравнению с контрольными насаждениями, что свидетельствует о сходном уровне негативного воздействия в г. Елабуга и г. Набережные Челны. Выявлены общие закономерности и особенности в изменении содержания аскорбиновой кислоты и танинов в листьях *B. pendula* и *P. balsamifera*

в течение вегетационных сезонов 2019–2023 гг. на территории обоих городов. Аскорбиновая кислота выполняет защитную функцию для растений в начале вегетации, о чем свидетельствует ее максимальное содержание в листьях обоих исследуемых видов в июне, а к концу вегетации ее содержание уменьшается. Напротив, содержание танинов в листьях как *B. pendula*, так и *P. balsamifera*

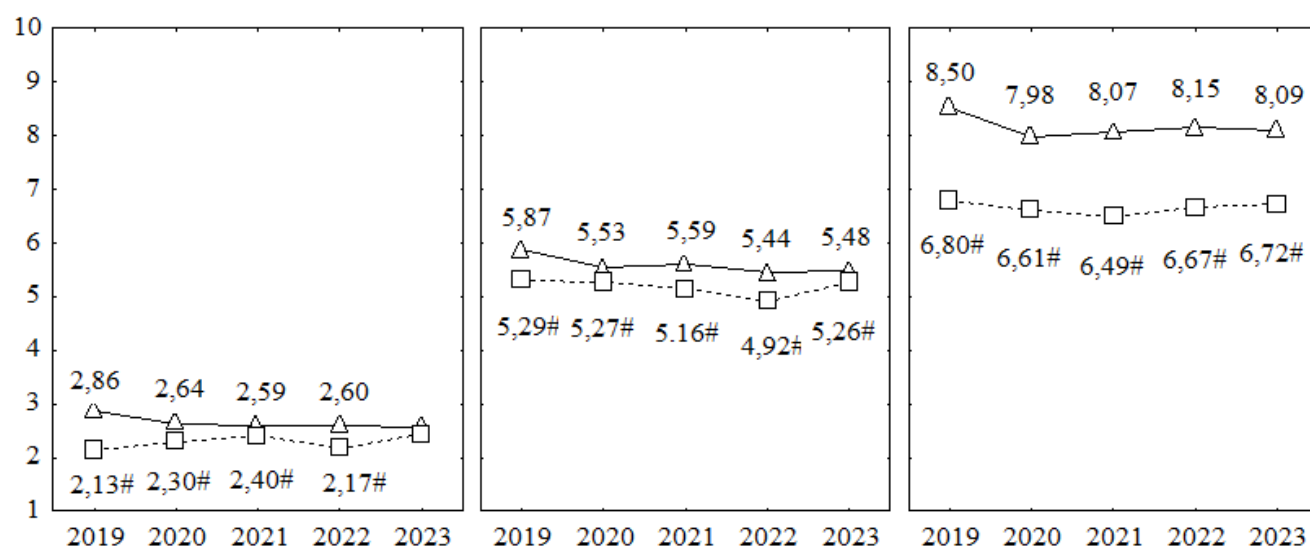
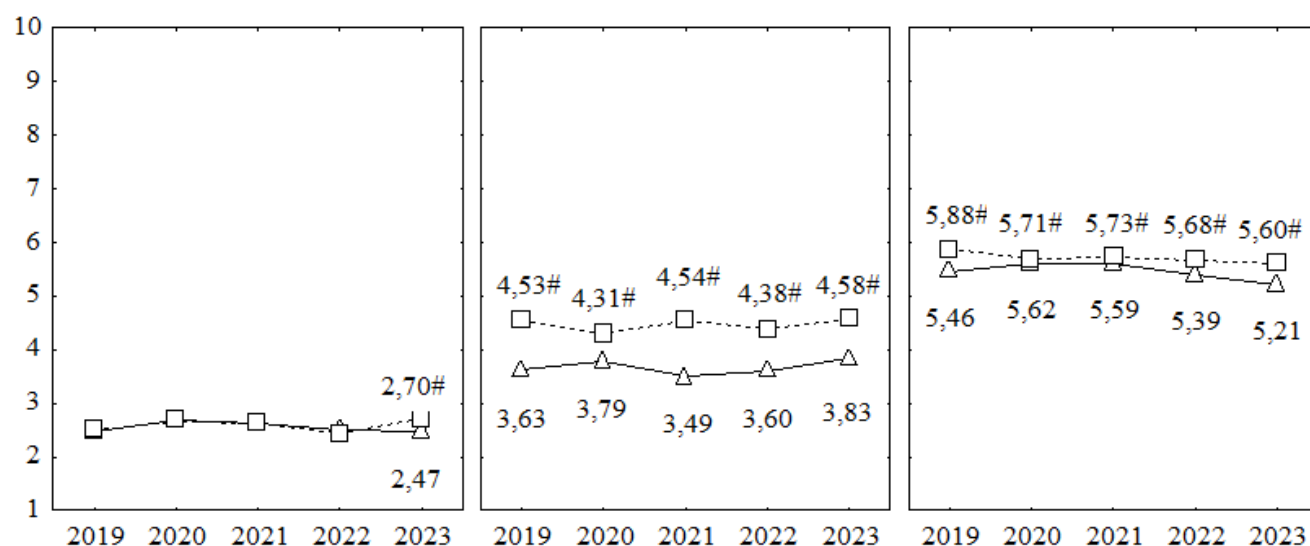
B. pendula*P. balsamifera*

Рис. 7. Содержание танинов в листьях *Betula pendula* и *Populus balsamifera* (г. Елабуга).

Примечание: # — статистически значимые различия по сравнению с контролем ($p < 0.05$); -Δ- — зона контроля; -□- — магистральные посадки.

По вертикали: мг/г сух. в-ва; по горизонтали: А — июнь, В — июль, С — август.

Fig. 7. Tannin content in leaves of *Betula pendula* and *Populus balsamifera* (Yelabuga).

Note: # — statistically significant differences compared to the control ($p < 0.05$); -Δ- — control zone; -□- — streetside plantings.

X-axis: mg/g dry matter; y-axis: A — June, B — July, C — August.

возрастает к концу вегетации, что указывает на их защитную роль ближе к концу вегетации. Содержание танинов в листьях *B. pendula* в магистральных посадках обоих городов меньше по сравнению с контрольными величинами. У *P. balsamifera*, напротив, накапливается больше танинов в листьях деревьев в магистральных посадках обоих городов по отношению к контрольным значениям.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по теме Государственного задания “Поиск селекционно-ценного генетического материала для создания новых генотипов древесно-кустарниковых пород методами молекулярной селекции” (№ FNFE-2022-0009).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цандекова О. Л., Седельникова Л. Л. 2022. Содержание аскорбиновой кислоты, танинов и общей золы в листьях декоративных многолетников рода *Hosta* Tratt. в условиях урбанизированной среды. — Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 7: 5–12.
<https://elibrary.ru/zcowaz>
2. Li C., Li J., Du X., Zhang J., Zou Y., Liu Y., Li Y., Lin H., Li H., Liu D., Lu H. 2020. Chloroplast thylakoidal ascorbate peroxidase, PtotAPX has enhanced resistance to oxidative stress in *Populus tomentosa*. — Int. J. Mol. Sci. 23(6): 3340.
<https://doi.org/10.3390/ijms23063340>
3. Бухарина И. Л., Поварнишина Т. М., Ведерников К. Е. 2007. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. Ижевск. 216 с.
<http://elibrary.udsu.ru/xmlui/handle/123456789/6336>
4. Singh H., Yadav M., Kumar N., Kumar A., Kumar M. 2020. Assessing adaptation and mitigation potential of roadside trees under the influence of vehicular emissions: A case study of *Grevillea robusta* and *Mangifera indica* planted in an urban city of India. — PLoS One. 15(1): e0227380.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227380>
5. Зиновьев В. В., Пестов С. В. 2021. Биоповреждения листьев деревьев в зеленых насаждениях г. Кирова. — Принципы экологии. 4(42): 38–48.
<https://elibrary.ru/vzdzm>
6. Иеронова В. В., Исламова Э. И. 2024. Оценка влияния урбанизированной среды на жизненное состояние древесных насаждений г. Тюмени. — Проблемы региональной экологии. 2: 48–51.
<https://doi.org/10.24412/1728-323X-2024-2-48-51>
7. Баландайкин М. Э. 2014. Коррелирование содержание аскорбиновой кислоты в ассимиляционном аппарате *Betula pendula* Roth. с действием патологического агента. — Химия растительного сырья. 1: 153–157.
<https://elibrary.ru/snnscz>
8. Стасова В. В., Скрипальщикова Л. Н., Астраханцева Н. В., Барченков А. П. 2023. Фотосинтетические пигменты в листьях березы повислой при техногенном воздействии. — Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 3: 35–47.
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-3-35-47>
9. Цветкова Н. В. 2023. Особенности роста тополя бальзамического *Populus balsamifera* L. в условиях городской среды. — Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 246: 141–151.
<https://elibrary.ru/bdqqkaz>
10. Догадина М. А., Игнатова Г. А., Степанова Е. И., Правдюк А. И., Криворотова Е. И. 2023. Декоративные кустарники в адаптивных системах озеленения урбоэкосреды Центрально-Черноземного района РФ (на примере Орловской области). — Journal of Agriculture and Environment. 11(39): 18.
<https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.20>
11. Ерофеева Е. А., Гелахвили Д. Б., Кузнецов М. Д., Лисицына О. С., Нижегородцев А. А., Савинов А. Б., Юнина В. П., Сидоренко М. В. 2023. Влияние автотранспортного загрязнения воздуха на физиолого-биохимические показатели листа *Tilia cordata* Mill. и *Betula pendula* Roth. — Экология урбанизированных территорий. 2: 55–60.
<https://doi.org/10.24412/1816-1863-2023-2-55-60>
12. Юст Н. А., Тимченко Н. А., Козлова А. Б., Пакулина А. П., Щербакова О. Н. 2022. Экологические особенности *Pinus sylvestris* L. и видов рода *Populus* L. в озеленении Благовещенска (Амурская область). — АгроЭкоИнфо. 6(54): 1–14.
<https://elibrary.ru/dnbdgi>
13. Андреева И. В., Морев Д. В., Таллер Е. Б., Васенев И. И. 2021. Сравнительная оценка экологического состояния лесопарковых зон Тимирязевского района города Москвы. — АгроЭкоИнфо. 6(48).
<https://doi.org/10.51419/20216630>
14. Захаров А. Б., Бессчетнов В. П. 2019. Аномалии ветвления березы (*Betula*) в защитных лесных полосах автомагистралей. — Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 5(371): 95–104.
<https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.5.95>
15. Клевцова М. А. 2022. Биоиндикационная оценка урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной нагрузки (на примере города Белгорода). — Астраханский вестник экологического образования. 5(71): 191–199.
<https://doi.org/10.36698/2304-5957-2022-5-191-199>

16. Турмухаметова Н. В. 2020. Оценка состояния среды Йошкар-Олы по морфометрическим показателям *Betula pendula* Roth. — Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2: 197–204.
<https://doi.org/10.31857/S0002332920020095>
17. Храмова Е. П., Сыева С. Я., Кукушкина Т. А., Шалдаева Т. М. 2023. Биологически активные вещества и антиоксидантная активность растений рода *Caragana* из Горного Алтая. — Химия растительного сырья. 1: 145–156.
<https://doi.org/10.14258/jcprm.20230111429>
18. Кузьмина А. М. 2024. Влияние условий произрастания на активность аскорбинатоксидазы и полифенолоксидазы в листьях древесных растений. — Принципы экологии. 2(52): 18–27.
<https://doi.org/10.15393/j1.art.2024.14602>
19. Овчинникова Е. С., Воскресенская О. Л. 2022. Морфометрические параметры представителей рода *Populus* в условиях города Йошкар-Олы. — Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2(42): 73–84.
<https://doi.org/10.32516/2303-9922.2022.42.7>
20. Николаевский В. С. Николаевский Н. Г., Козлова Е. А. 1999. Методы оценки состояния древесных растений и степени влияния на них неблагоприятных факторов. — Лесной вестник. 2(7): 76–77.
<https://elibrary.ru/hbglgp>
21. Панкова Т. И., Протасова М. В., Белова Т. А. 2019. Флуктуирующая асимметрия листовых пластинок *Betula pendula* Roth. в различных функциональных зонах г. Курска и ее изменение под влиянием тяжелых металлов. — Проблемы региональной экологии. 6: 21–26.
<https://elibrary.ru/urlzgb>
22. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2023 году». 2024. Казань. 402 с.
https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub_4211473.pdf
23. Алексеев В. А. 1990. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем. — В кн.: Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л. С. 38–53.
24. Бухарина И. Л., Любимова О. В. 2009. Биохимия растений: учебно-метод. пос. Ижевск. 51 с.
25. Колмогорова Е. Ю. 2017. Морфофизиологическая оценка состояния березы повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающей в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза. — Вестник КрасГАУ. 6(129): 135–140.
<https://elibrary.ru/ytnvtx>

Ecological and Physiological State of *Betula Pendula* and *Populus Balsamifera* in Anthropogenic Environment

© 2025. P. A. Kuzmin

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences,

Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

e-mail: kuzmin-p@vfanc.ru

Abstract. The vital state and the dynamics of ascorbic acid and tannins content in leaves of *Betula pendula* Roth. and *Populus balsamifera* L., growing in the streetside plantings of the Lower Kama region of the Republic of Tatarstan — the town of Yelabuga and the city of Naberezhnye Chelny were studied. In the streetside plantings of Yelabuga and Naberezhnye Chelny, the studied species showed a decrease in their vital state compared to the control, which indicates a similar level of negative impact. Under the anthropogenic stress in leaves of the studied species, an increase in the content of ascorbic acid is observed in the initial stages of vegetation, and of tannins - by its end, which indicates the protective role of the latter closer to the end of growing season. A higher content of ascorbic acid in the studied species was registered in the city of Naberezhnye Chelny, compared to the town of Yelabuga, which indicates a more active response against higher anthropogenic load in bigger city.

Keywords: *Betula pendula*, *Populus balsamifera*, anthropogenic environment, vital state, ascorbic acid, tannins, Lower Kama region

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the research program of the State assignment “Search for valuable breeding genetic material for the creation of new genotypes of tree and shrub species using molecular selection methods” (No. FNFE-2022-0009).

REFERENCES

1. Tsandekova O. L., Sedelnikova L. L. 2022. The content of ascorbic acid, tannins and total ash in the leaves of ornamental perennials of the genus *Hosta* Tratt. in an urbanized environment. — Transactions of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 7: 5–12.
<https://elibrary.ru/zcowaz> (In Russian)
2. Li C., Li J., Du X., Zhang J., Zou Y., Liu Y., Li Y., Lin H., Li H., Liu D., Lu H. 2020. Chloroplast thylakoidal ascorbate peroxidase, PtotAPX, has enhanced resistance to oxidative stress in *Populus tomentosa*. — Int. J. Mol. Sci. 23(6): 3340.
<https://doi.org/10.3390/ijms23063340>
3. Bukharina I. L., Povarnitsyna T. M., Vedernikov K. E. 2007. [Ecological and biological characteristics of woody plants in an urban environment]. Izhevsk. 216 p.
<http://elibrary.udsu.ru/xmlui/handle/123456789/6336> (In Russian)
4. Singh H., Yadav M., Kumar N., Kumar A., Kumar M. 2020. Assessing adaptation and mitigation potential of roadside trees under the influence of vehicular emissions: A case study of *Grevillea robusta* and *Mangifera indica* planted in an urban city of India. — PLoS One. 15(1): e0227380.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227380>
5. Zinoviev V. V., Pestov S. V. 2021. Biological damage to tree leaves in green spaces of Kirov. — Principy èkologii. 4(42): 38–48.
<https://elibrary.ru/vzdzmt> (In Russian)
6. Ieronova V. V., Islamova E. I. 2024. Assessment of the impact of the urbanized environment on the vital state of tree plantations in Tyumen. — Regional Environmental Issues. 2: 48–51.
<https://doi.org/10.24412/1728-323X-2024-2-48-51> (In Russian)
7. Balandaykin M. E. 2014. Correlation of content ascorbic acid in the assimilation apparatus *Betula pendula* Roth. with the agent by pathological. — Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 1: 153–157.
<https://elibrary.ru/snnecz> (In Russian)
8. Stasova V. V., Skripal'shchikova L. N., Astrakhantseva N. V., Barchenkov A. P. 2023. Photosynthetic pigments in silver birch leaves (*Betula pendula* Roth.) under technogenic load. — Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 3: 35–47.
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-3-35-47> (In Russian)
9. Tsvetkova N. V. 2023. Features of the growth of balsamic poplar *Populus balsamifera* L. in an urban environment. — Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii. 246: 141–151.
<https://elibrary.ru/bdqkaz> (In Russian)
10. Dogadina M. A., Ignatova G. A., Stepanova E. I., Pravdyuk A. I., Krivorotova Y. I. 2023. Ornamental shrubs in adaptive landscaping systems in the urban ecosystem of the Central Black Earth Region of the Russian Federation (on the example of Orel Oblast). — Journal of Agriculture and Environment. 11(39): 18.
<https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.20> (In Russian)
11. Erofeeva E. A., Gelashvili D. B., Kuznetsov M. D., Lisitsyna O. S., Nizhegorodtsev A. A., Savinov A. B., Yunina V. P., Sidorenko M. V. 2023. The effect of traffic-related air pollution on the physiological and biochemical parameters of *Tilia cordata* Mill. and *Betula pendula* Roth leaf. — Ecology of Urban Areas. 2: 55–60.
<https://doi.org/10.24412/1816-1863-2023-2-55-60> (In Russian)
12. Yust N. A., Timchenko N. A., Kozlova A. B., Pakusina A. P., Shcherbakova O. N. 2022. [Ecological features of *Pinus sylvestris* L. and species of the genus *Populus* L. in landscaping of Blagoveshchensk (Amur region)]. — AgroEcoInfo. 6(54).
<https://elibrary.ru/dnbdgi> (In Russian)
13. Andreeva I. V., Morev D. V., Taller E. B., Vasenev I. I. 2021. [Comparative assessment of the ecological state of the Timiryazevsky district forest park zones in Moscow]. — AgroEcoInfo. 6(48).
<https://doi.org/10.51419/20216630> (In Russian)

14. Zakharov A. B., Besschetnov V. P. 2019. Anomalies in birch (*Betula*) branching in protective forest belts of highways. — Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 5(371): 95–104.
<https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.5.95> (In Russian)
15. Klevtsova M. A. 2022. Bioindication assessment of urbanized territories with different degrees of anthropogenic loads (for example of the Belgorod city). — Astrakhan Bulletin of Ecological Education. 5(71): 191–199.
<https://doi.org/10.36698/2304-5957-2022-5-191-199> (In Russian)
16. Turmukhametova N. V. 2020. Evaluation of the state of the environment in Yoshkar-Ola using morphometric indicators of *Betula pendula* Roth. — Biology Bulletin. 47(2): 191–197.
<https://doi.org/10.1134/S1062359020020090>
17. Khramova E. P., Syeva S. Ya., Kukushkina T. A., Shaldaeva T. M. 2023. Biologically active compounds and anti-oxidant activity of the plants from the Mountain Altai of the *Caragana* genus. — Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya. 1: 145–156.
<https://doi.org/10.14258/jcprm.20230111429> (In Russian)
18. Kuzmina A. M. 2024. Influence of growing conditions on the activity of ascorbate oxidase and polyphenol oxidase in the leaves of woody plants. — Principles of Ecology. 2(52): 18–27.
<https://doi.org/10.15393/j1.art.2024.14602> (In Russian)
19. Ovchinnikova E. S., Voskresenskaya O. L. 2022. Morphometric parameters of some species of the *Populus* genus in the conditions of Yoshkar-Ola city. — Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal. 2(42): 73–84.
<https://doi.org/10.32516/2303-9922.2022.42.7> (In Russian)
20. Nikolaevsky V. S., Nikolaevsky N. G., Kozlova E. A. 1999. Methods for assessing the condition of woody plants and the degree of the impact of unfavorable factors. — Lesnoy Vestnik. 2(7): 76–77.
<https://elibrary.ru/hbglgp> (In Russian)
21. Pankova T. I., Protasova M. V., Belova T. A. 2019. Fluctuating asymmetry of *Betula pendula* Roth. leaf lamellas in different functional zones of Kursk and its change under the influence of heavy metals. — Regional Environment Issues. 6: 21–26.
<https://elibrary.ru/urlzgb> (In Russian)
22. State report «On the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2023». 2024. Kazan. 402 p.
https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub_4211473.pdf (In Russian)
23. Alekseev V. A. 1990. [Some aspects of diagnostics and classification of forest ecosystems damaged by pollution]. — In: [Forest ecosystems and atmospheric pollution]. P. 38–53. (In Russian)
24. Bukharina I. L., Lyubimova O. V. 2009. [Plant biochemistry: study guide]. Izhevsk. 51 p. (In Russian)
25. Kolmogorova E. Yu. 2017. Morphophysiological estimation of the state of the birch (*Betula pendula* Roth) growing in the conditions of the spoil dump Kedrovsky coal mine. — Bulletin of KrasGAU. 6(129): 135–140.
<https://elibrary.ru/ytnvtx> (In Russian)