



ИЗУЧЕНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЛИСТЬЕВ *TILIA CORDATA* MILL. В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

© 2025

Антропова Л.П., Чуфицкий С.В.

Донецкий государственный университет (г. Донецк, Россия)

Аннотация. В статье рассматривается влияние условий урбанизированной среды на фотосинтетическую активность липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.). Исследование проводилось на территории города Донецка, характеризующегося значительной техногенной нагрузкой. Целью работы была оценка функционального состояния фотосинтетического аппарата растений методом сканирующей импульсной флуориметрии. В ходе работы были отобраны листовые пластинки с деревьев, произрастающих в зонах с разной интенсивностью автотранспортной нагрузки, а также в контрольной группе на территории ботанического сада. Результаты исследования показали, что наибольшие изменения фотосинтетической активности наблюдались у растений в зонах с высокой транспортной загруженностью. Они проявлялись в достоверном снижении эффективного квантового выхода фотосистемы II и скорости электронного транспорта, а также в увеличении параметров нефотохимического тушения, что свидетельствует об адаптации фотосинтетического аппарата к стрессовым условиям. Растения в зонах с умеренной нагрузкой не показали значительных отклонений от контроля. Полученные данные демонстрируют эффективность метода импульсной флуориметрии для ранней диагностики стресса у древесных растений в условиях городской среды. Результаты работы могут быть использованы для разработки системы биоиндикации и мониторинга состояния городских зелёных насаждений в промышленных регионах.

Ключевые слова: городская среда; фотосинтетический аппарат; флуоресценция хлорофилла; липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.); липовый войлочный клещ (*Eriophyes tiliae* Nal.).

STUDY OF PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF *TILIA CORDATA* MILL. LEAVES IN CONDITIONS OF ANTHROPOGENIC LOAD

© 2025

Antropova L.P., Chufitsky S.V.

Donetsk State University (Donetsk, Russia)

Abstract. The article examines the influence of urban environment conditions on the photosynthetic activity of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.). The study was conducted on the territory of the city of Donetsk, which is characterized by a significant anthropogenic load. The aim of the work was to evaluate the functional state of the photosynthetic apparatus of plants by scanning pulse fluorometry. In the course of the work, leaf blades were selected from trees growing in areas with varying traffic intensity, as well as in the control group on the territory of the botanical garden. The results of the study showed that the greatest changes in photosynthetic activity were observed in plants in areas with high traffic congestion. They manifested themselves in a significant decrease in the effective quantum yield of photosystem II and the speed of electronic transport, as well as in an increase in the parameters of non-photochemical quenching, which indicates the adaptation of the photosynthetic apparatus to stressful conditions. Plants in areas with moderate load did not show significant deviations from the control. The data obtained demonstrate the effectiveness of the pulse fluorometry method for early diagnosis of stress in woody plants in an urban environment. The results of the work can be used to develop a bioindication system and monitor the state of urban green spaces in industrial regions.

Keywords: urban environment; photosynthetic apparatus; chlorophyll fluorescence; small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.); linden felt mite (*Eriophyes tiliae* Nal.).

Введение

Современный этап развития общества характеризуется активной урбанизацией, сопровождающейся ростом численности населения, увеличением транспортных потоков и интенсификацией промышленного производства. Эти факторы приводят к значительному загрязнению окружающей среды, негативно влияя на все компоненты экосистем [1–3].

Древесные растения, будучи неотъемлемой частью городской среды, первыми подвергаются воздействию техногенных загрязнителей. Это приводит к повреждению листового аппарата, накоплению токсичных веществ, снижению уровня хлорофилла и питательных элементов [4; 5]. В результате растения становятся более уязвимыми к фитопатогенам, вредителям и изменяющимся климатическим условиям, что в критических

случаях может вызвать их массовое усыхание и деградацию городских зелёных насаждений [6; 7]. Для биоиндикации загрязнения древесные растения обладают рядом преимуществ: они реагируют на широкий спектр загрязняющих веществ, отличаются высокой чувствительностью и пригодны для длительного мониторинга [8; 9]. Ключевым методом оценки состояния растений является изучение фотосинтетической активности, так как фотосинтетический аппарат первым реагирует на неблагоприятные факторы. Его изменения позволяют судить о механизмах адаптации и степени повреждения растений [10; 11]. Данный подход нашел свое применение в нескольких регионах России [12–16], однако исследования по влиянию антропогенного загрязнения на фотосинтетическую активность в Донецком регионе ранее не проводились.

Донецкий регион представляет собой промышленно развитую территорию с высокой концентрацией предприятий металлургической, химической и горнодобывающей отраслей. Анализ состояния атмосферного воздуха, почвы и водных объектов в городах региона выявил превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) по ряду опасных загрязняющих веществ: включая диоксид азота, сернистый ангидрид, угарный газ, бензапирен и т.д., что свидетельствует о значительном техногенном воздействии на природные компоненты городской среды [17–22]. В связи с этим одной из актуальных задач является разработка и внедрение объективных методов экологического мониторинга, позволяющих оперативно выявлять уровень антропогенного загрязнения и его влияние на биоту.

Целью работы являлось изучение фотосинтетической активности листовых пластинок липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.), произрастающей на территории города Донецка, с использованием метода сканирующей импульсной флуориметрии.

Материалы и методика исследования

В качестве объекта исследования был взят вид древесных растений – липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.). Использование липы мелколистной как индикатора обусловлено высокой чувствительностью фотосинтетического аппарата растения к токсическим веществам окружающей среды [23]. К тому же, липа является основной породой деревьев, широко используемой в озеленении городов в связи с высокой устойчивостью к агрессивной городской среде, теневыносливостью и ветроустойчивостью [24; 25]. Использование данного вида позволяет получить репрезентативные данные о состоянии окружающей среды в городской экосистеме [26; 27].

Исследования проводили с июля по сентябрь 2024 г. Листовые пластинки были отобраны с нижней, световой части кроны деревьев. Сбор листьев происходил в первой половине дня (09:00–11:00) для минимизации влияния суточных колебаний физиологических параметров. Все объекты исследования находились в примерно сходных климатических условиях произрастания. Размер выборки для каждой опытной и контрольной группы составлял не менее 15 листовых пластинок.

В качестве опытных групп рассматривали растения, произрастающие вдоль автомагистральных дорог г. Донецка с различной интенсивностью транспортного потока: 1) ул. Университетская; 2) просп. Гурова; 3) просп. Ильича, с двух сторон дорожного полотна. Также были рассмотрены растения, произрастающие в жилом квартале Будёновского района, отдалённого от автомагистралей, с меньшим уровнем антропогенной нагрузки (рис. 1). Возраст деревьев в городской среде составлял 10–20 лет.

В качестве контрольных групп были взяты растения территории дендрария ботанического сада. Выбор данной территории обусловлен её меньшей подверженностью воздействию антропогенных факторов по сравнению с придорожными насаждениями. Часть деревьев на исследуемом участке была поражена липовым войлочным клещом (*Eriophyes tiliae* var. *Leiosoma* Nal.). Контрольные группы в дендрарии отличались друг от друга степенью поражения листовых пластинок липовым войлочным клещом (*E. tiliae*) и возрастом деревьев. Поэтому контрольная группа была разделена на три отдельные: контроль 1 – старовозрастные (40–45 лет), пораженные клещом; контроль 2 – средневозрастные (20–25 лет), здоровые; контроль 3 – молодые (10–15 лет), пораженные клещом (рис. 1).

Параметры активности функционирования фотосинтетического аппарата определяли с помощью сканирующего импульсного флуориметра «Hexagon-Imaging-PAM» (Heinz Walz, Германия). Измерение параметров кинетики изменения амплитуды флуоресценции хлорофилла состояло из 15 последовательных насыщающих импульсов, между которыми листья освещались слабым измерительным светом 21 мкмоль фотонов $\text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Общая длительность измерения составляла около 5 минут. Измерения световых кривых различных параметров флуоресценции на свету проводили при последовательном увеличении интенсивности измерительного света от 0 до 701 мкмоль фотонов $\text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Каждое измерение длилось 4 минуты и состояло из 13 этапов постепенного повышения интенсивности действующего света. В ходе исследования изучали следующие параметры флуоресценции согласно [28]:

F – интенсивность флуоресценции в текущий момент времени;

F_0 – минимальная флуоресценция в темноте, когда все реакционные центры (РЦ) фотосистемы II (ФС II) открыты;

F_m – максимальная флуоресценция в темноте, когда все РЦ ФС II закрыты;

F'_m – максимальная флуоресценция хлорофилла на свету;

F'_0 – минимальная флуоресценция на свету;

$Y(II) = (F'_m - F) / F'_m$ – эффективный квантовый выход фотохимических реакций ФС II;

$Y(NO) = 1 / (NPQ + 1 + qL ((F_m / F_0) - 1))$ – квантовый выход нерегулируемого рассеяния поглощенной энергии в ФС II;

$Y(NPQ) = 1 - Y(II) - Y(NO)$ – квантовый выход регулируемой диссипации поглощенной энергии в ФС II;

$NPQ = F_m / F'_m - 1$ – уровень нефотохимического тушения флуоресценции;

$qN = 1 - (F'_m - F'_0) / (F_m - F_0)$ – коэффициент нефотохимического тушения;

$qP = (F'_m - F) / (F'_m - F'_0)$ – коэффициент фотохимического тушения;

$qL = qP \times F'_0 / F$ – коэффициент фотохимического тушения, являющийся показателем доли открытых РЦ ФС II;

$ETR = 0,5 \times Y(II) \times PAR \times 0,84$ – скорость фотосинтетического электронного транспорта, PAR (photosynthetically active radiation) – фотосинтетически активное излучение, мкмоль квант $m^{-2} \cdot c^{-1}$.

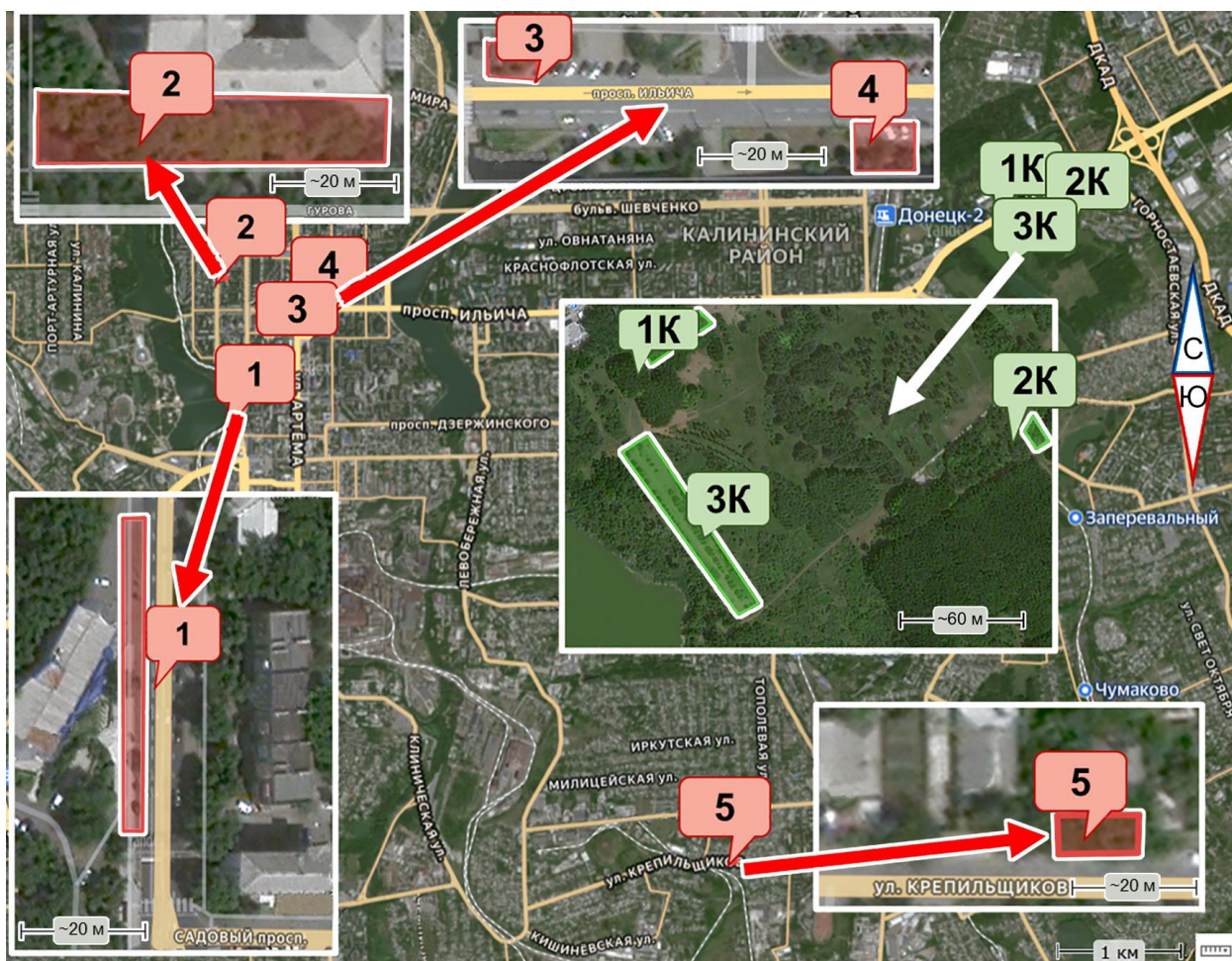


Рисунок 1 – Места сбора листовых пластинок опытных и контрольных групп липы мелколистной (*T. cordata*): 1 – ул. Университетская, 2 – просп. Гурова, 3 – просп. Ильича (1), 4 – просп. Ильича (2), 5 – жилой квартал (Будёновский район); дендрарий ботанического сада (1K – старовозрастные, пораженные, 2K – средневозрастные, здоровые, 3K – молодые, пораженные)

Результаты исследований и их обсуждение

Виды повреждений листовых пластинок липы мелколистной

Визуальная оценка состояния листового аппарата выявила наличие различных типов повреждений, обусловленных биотическим и абиотическим стрессовыми факторами. Для контрольных старовозрастных и молодых групп на нижней стороне листа было обнаружено образование коричневых плоских войлочных пятен разнообразной формы, а также темные пятна площадью 0,02–0,04 cm^2 на верхней стороне листа (рис. 2: В, Г). Это свидетельствует о повреждении листовых пластинок вредителем – липовым войлочным клещом (*E. tiliae*) [29]. Данный вид клещей может вызывать снижение содержания хлорофилла и оказывать влияние на размеры ассимиляционных органов, что проявляется в уменьшении длины и ширины листовых пластинок [30; 31].

Также для всех групп деревьев был обнаружен некроз краёв листовых пластинок (рис. 2: Б). Причиной развития краевого некроза могут служить высокие температуры от +28 до +35°C в течение всего лета и, как следствие, недостаток влаги.

Для растений из опытной группы по ул. Университетской видна сильная асимметрия листовых пластинок и неравномерная флуоресценция (рис. 3: А). Листовой материал на просп. Ильича собирался в осенний период из-за чего наблюдается деградация пигментов, происходит их локализация, что свидетельствует о естественных физиологических изменениях, связанных с сезонной перестройкой метаболизма (рис. 3: Д, Е). В летний период данного эффекта не было обнаружено.

Интенсивность флуоресценции опытных групп в среднем одинакова для всех листьев, тогда как для контрольных групп в зависимости от степени поражения листовых пластин войлочным клещом, наблюдалась различная степень фотосинтетической активности, что вносило дополнительную погрешность в измерения и может быть причиной отсутствия достоверных отличий для опытных групп в черте города.

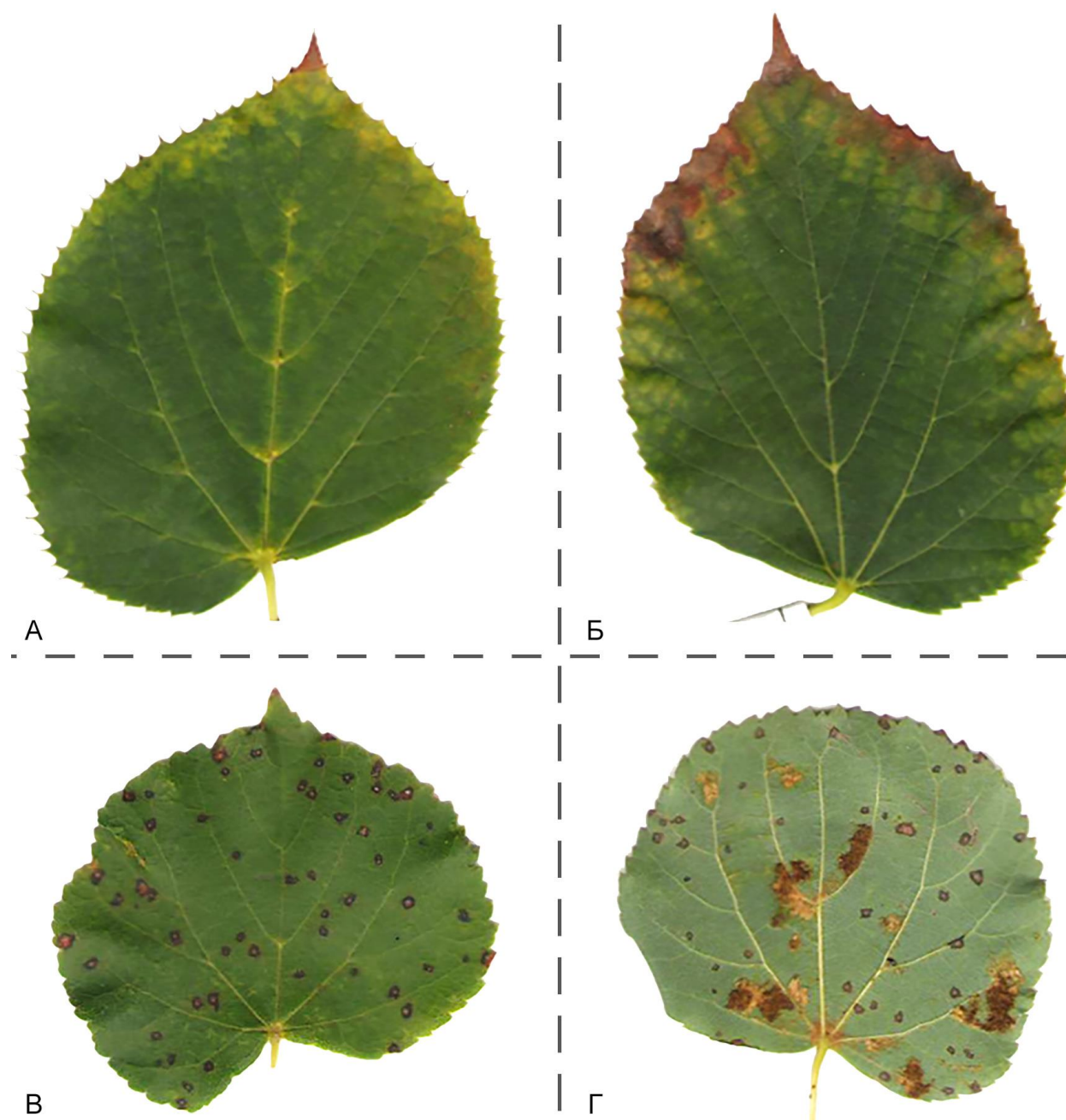


Рисунок 2 – Виды повреждений листовых пластинок липы мелколистной (*T. cordata*):

А – асимметрия листа (ул. Университетская);

Б – краевой некроз (ул. Университетская);

В, Г – повреждение липовым войлочным клещом *E. tiliae* (контроль 1)

*Оценка фотосинтетической активности листьев липы
методом регистрации световых кривых флуоресценции хлорофилла*

По результатам анализа параметров кинетики флуоресценции хлорофилла не выявлено статистически значимых различий между опытной группой 1 (ул. Университетская), и контрольной группой старовозрастных деревьев с признаками поражения клещом (контроль 1). В сравнении со средневозрастными здоровыми деревьями (контроль 2) наблюдались изменения в процессах тепловой диссипации поглощенной световой энергии – происходило увеличение квантового выхода регулируемой диссипации энергии в фотосистеме II ($Y(NPQ)$). Поскольку не было выявлено изменений квантового выхода фотохимии и снижения числа активных реакционных центров, то увеличение нефотохимического тушения можно связать с адаптацией деревьев к условиям произрастания в городской среде. Наблюдались отличия между параметрами флуоресценции контрольных групп пораженных деревьев дендрария. Интенсивность флуоресценции непораженных клещом участков листа у молодых растений (контроль 3) была выше, чем у старовозрастных (рис. 3: В, Г, соответственно). Это можно объяснить более высокой долей активных реакционных центров (РЦ) у молодых деревьев (qL).

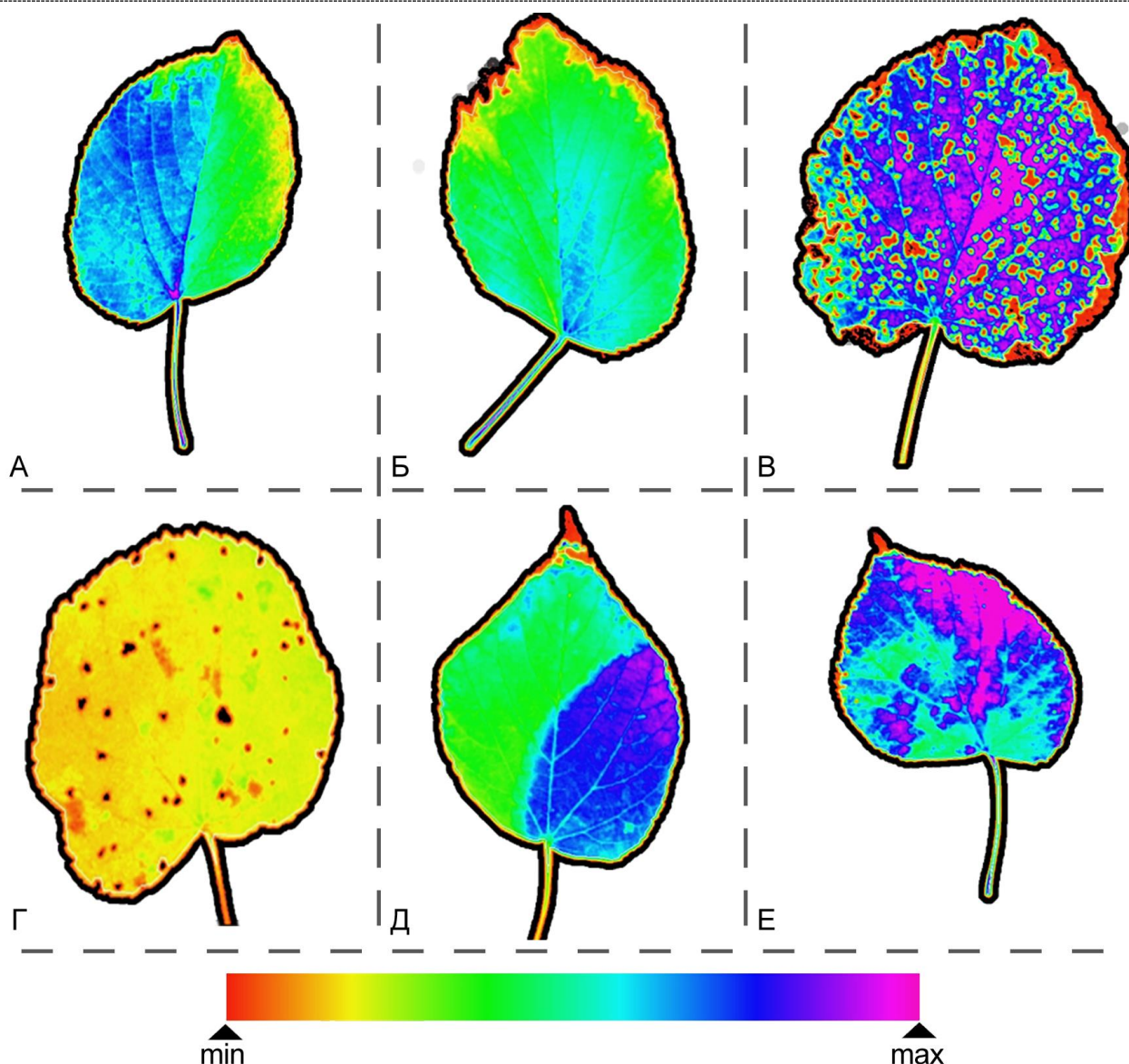


Рисунок 3 – Флуоресценция листовых пластинок липы мелколистной (*T. cordata*) с различными видами повреждений и отклонений:

А – асимметрия листа и неравномерность флуоресценции (ул. Университетская);

Б – краевой некроз (ул. Университетская);

В – краевой некроз и повреждение липовым войлочным клещом (контроль 3);

Г – повреждение липовым войлочным клещом (контроль 1);

Д – деградация пигментов, краевой некроз (просп. Ильича (1));

Е – деградация пигментов и краевой некроз (просп. Ильича (2))

У растений, произрастающих на просп. Гурова, достоверных отличий по параметрам флуоресценции в сравнении с контрольными группами старо- и средневозрастных растений не выявлено. Для опытной группы доля открытых РЦ (qL) была ниже по сравнению с молодыми растениями дендрария, что может свидетельствовать о частичном закрытии РЦ в результате избыточной световой нагрузки. Статистически значимых изменений других фотосинтетических параметров в опытной группе относительно контрольных групп не зафиксировано.

Эффективный квантовый выход фотохимических реакций фотосистемы II ($Y(II)$) в опытной группе, произрастающей на просп. Ильича (1), был достоверно ниже по сравнению с контрольными группами дендрария (рис. 4: А). Снижение $Y(II)$ указывает на ограничение фотохимического преобразования энергии в реакционных центрах фотосистемы II, при котором значительная часть поглощённых квантов света не участвует в разделении зарядов, а диссипирует посредством нефотохимических процессов (рис. 3: Б). Это согласуется с ростом коэффициента нефотохимического тушения (qN) в опытной группе относительно контрольных групп 2 и 3 (рис. 4: В) и снижением ETR относительно контроля 2 (рис. 4: Г). Изменение фотосинтетической активности опытной группы отличается от всех контрольных групп сходным образом, поэтому в качестве примера на рисунке 4 представлены кривые флуоресценции только для одного контроля.

Отсутствие изменений в $Y(NO)$ свидетельствует о сохранении стабильности фотосинтетического аппарата, а неизменность уровня хлорофилла – об отсутствии деградации пигментного комплекса. Полученные данные могут указывать на адаптацию растений опытной группы к чрезмерной интенсивности света в течение летнего периода за счёт активации механизмов регулируемого NPQ , которые минимизировали фотоокислительный стресс без нарушения базовых фотохимических процессов.

Установлено снижение квантового выхода фотосистемы II и ETR у деревьев, произрастающих на просп. Ильича (2), в сравнении с контрольной группой старо- и средневозрастных деревьев (рис. 5: B, Γ). Снижение данных параметров свидетельствует о нарушении процессов фотохимического преобразования энергии, что подтверждается усилением нефотохимического тушения избыточной энергии: снижении коэффициента qL в опытной группе относительно контролей 1 и 3 (рис. 5: D), увеличении $Y(NPQ)$ и NPQ относительно контрольной группы 2 (рис. 5: A, B). В то же время показатель $Y(NO)$ не отличался от значений контрольных групп, что указывает на отсутствие световых повреждений фотосинтетического аппарата.

Для опытной группы деревьев жилого квартала Будёновского района было обнаружено снижение доли открытых РЦ фотосистемы II относительно трёх контрольных групп, произрастающих в дендрарии ботанического сада. Для других параметров кинетики достоверных отличий от представленных контролей не выявлено.

Результаты измерения световых кривых параметров флуоресценции согласуются с данными, полученными при измерении параметров кинетики изменения амплитуды флуоресценции хлорофилла.

Заключение

Несмотря на повреждение листовых пластинок деревьев на территории дендрария липовым войлочным клещом, фотосинтетическая активность данной группы оставалась высокой в сравнении с деревьями липы городской черты. Наибольшие изменения в функциональном состоянии фотосинтетического аппарата выявлены для деревьев липы на территории с высокой автотранспортной загруженностью – на просп. Ильича и ул. Университетской. Группы деревьев, произрастающие с разных сторон дорожного полотна, имеют сходные черты изменения фотосинтетической активности. Для липы на ул. Университетской и просп. Ильича наблюдалось снижение интенсивности протекания фотохимических процессов и возрастание нефотохимического тушения флуоресценции, что проявлялось в повышении параметров $Y(NPQ)$ и NPQ , уменьшении числа открытых РЦ фотосистемы II и снижении концентрации хлорофилла в листовых пластинках.

Деревья, произрастающие на просп. Гурова и в жилом квартале Будёновского района, были менее подвержены антропогенной нагрузке, в следствие чего, их фотосинтетические показатели мало отличались от контрольных групп. Исключение составляли только некоторые параметры активности функционирования фотосинтетического аппарата, на основании которых нельзя обосновать какие-либо изменения в функциональном состоянии фотосистемы II.

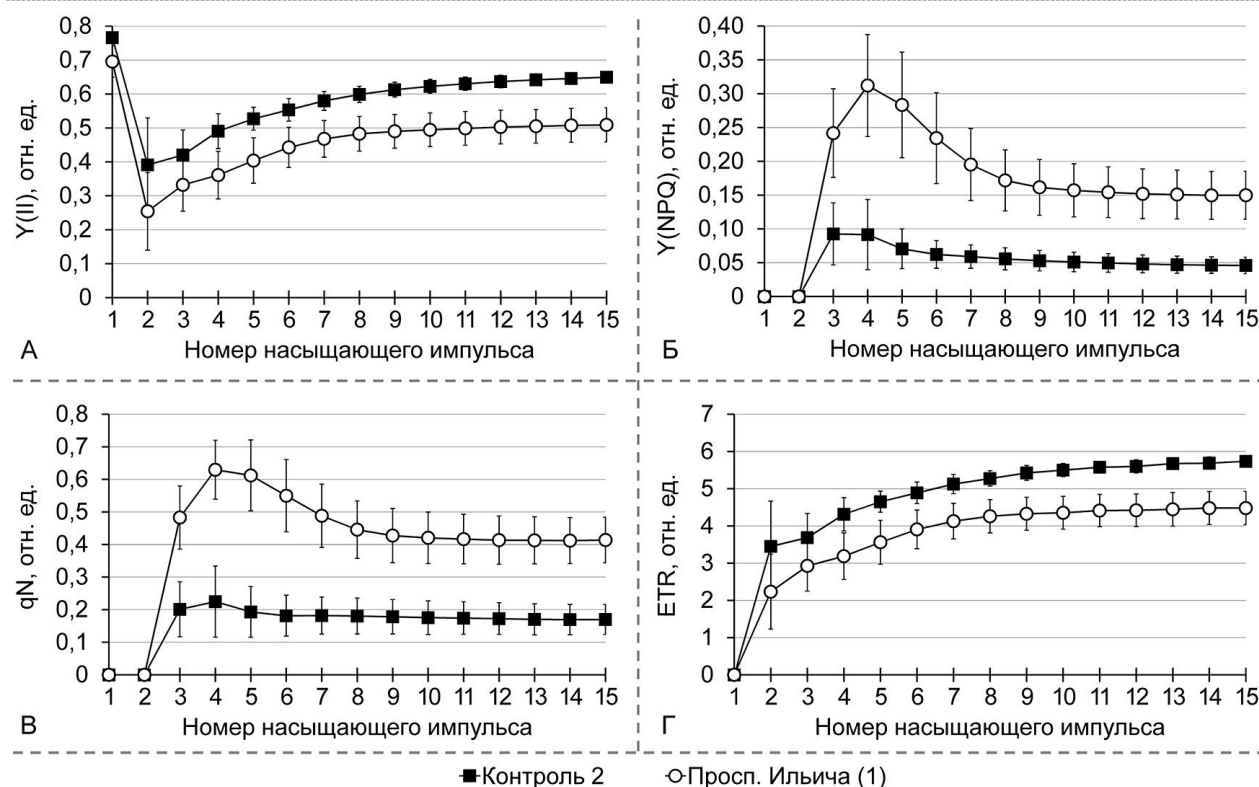


Рисунок 4 – Изменение параметров флуоресценции для опытной группы по просп. Ильича (1) и контрольной группы № 2:

A – эффективный квантовый выход ($Y(II)$);

B – квантовый выход регулируемой диссипации энергии в ФС II ($Y(NPQ)$);

V – коэффициент нефотохимического тушения (qN); G – скорость электронного транспорта (ETR)

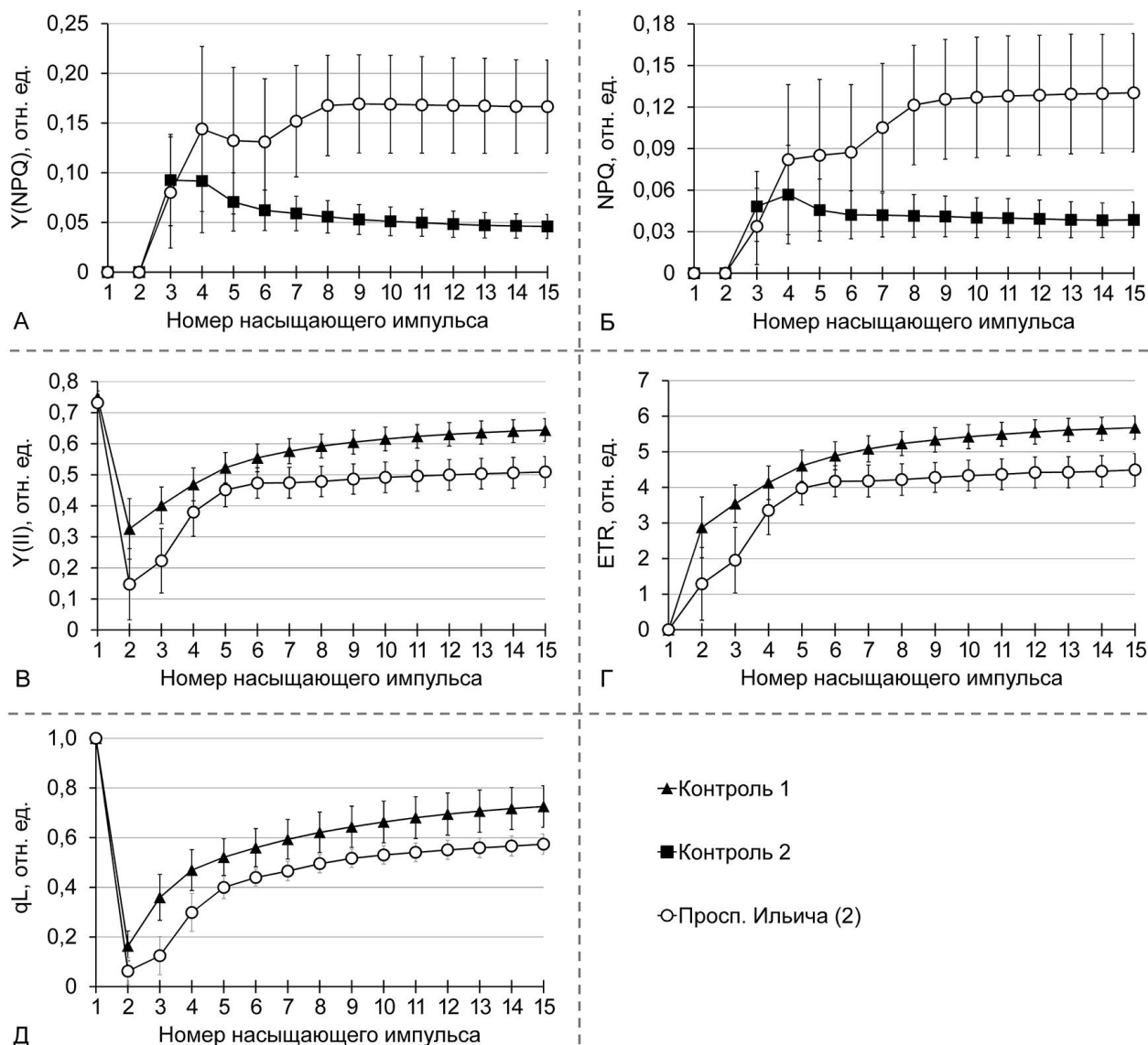


Рисунок 5 – Изменение параметров флуоресценции для опытной группы по просп. Ильича (2) и контрольных групп № 1 и № 2:
А – квантовый выход регулируемой диссипации энергии в ФС II ($Y(NPQ)$),
Б – уровень нефотохимического тушения флуоресценции (NPQ),
В – эффективный квантовый выход ($Y(II)$),
Г – скорость электронного транспорта (ETR),
Д – коэффициент фотохимического тушения (qL)

Список источников:

- Епринцев С.А., Шекоян С.В., Виноградов П.М. Оценка неблагоприятных факторов окружающей среды урбанизированных территорий Центральной России // Региональные геосистемы. 2025. Т. 49, № 1. С. 157–168. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-157-168.
- Камдина Л.В. Оценка влияния антропогенных факторов промышленного производства на качество окружающей среды // Заметки ученого. 2020. № 12. С. 55–58.
- Сафонов А.И. Экологический фитомониторинг антропогенных трансформаций: монография. Донецк: Издательский дом «Эдит», 2024. 289 с.
- Кунина В.А., Белоус О.Г. Состояние фотосинтетических пигментов листьев древесных растений в условиях городской среды // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2020. Т. 6 (72), № 2. С. 108–118.
- Тюлькова Е.Г. Функциональные особенности фотосинтетической системы древесных растений в техногенных условиях // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019. № 1. С. 32–39.
- Чжан С.А., Пузанова О.А. Оценка состояния древесной растительности // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2023. № 63. С. 269–274.
- Кулакова Н.Ю., Колесников А.В., Курганова И.Н., Шуйская Е.В., Миронова А.В., Скоробогатова Д.М. Влияние автотранспортного загрязнения на биохимические и морфологические показатели состояния деревьев дуба черешчатого // Лесоведение. 2021. Т. 4, № 4. С. 393–405. DOI: 10.31857/s0024114821040070.

8. Аниськина М.В., Выродов И.В., Ховрин А.Н. Реакция *Malus sylvestris* на воздействие антропогенных загрязнителей // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. 2023. № 1 (49). С. 27–34. DOI: 10.25688/2076-9091.2023.49.1.2.

9. Сорокина Г.А., Лебедева В.П., Раков С.А., Пахарькова Н.В. Древесные растения как биоиндикаторы уровня загрязнения атмосферы // Ульяновский медико-биологический журнал. 2012. № 1. С. 94–102.

10. Рахимов Т.У., Байсунов Б.Х., Хайриллинов А.Б. Фитоиндикации в оценке загрязнения промышленных зон // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2014. № 2. С. 62–64.

11. Алиева М.Ю. Анализ фотосинтетической активности древесных растений в условиях различной транспортной нагрузки // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2014. № 63. С. 133–137.

12. Гиниятуллин Р.Х., Тагирова О.В., Иванов Р.С., Кулагин А.Ю. Сезонная динамика изменений содержания фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой *Betula pendula* в условиях Стерлитамакского промышленного центра // Биосфера. 2023. Т. 15, № 3. С. 285–291.

13. Тюлькова Е.Г., Авдашкова Л.П. Активность фотосинтетического аппарата древесных растений в техногенных условиях (на примере промышленных предприятий Гомеля и Гомельской обл.) // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2018. № 1. С. 61–68.

14. Эркебаев Т.К., Аттокуров К.Ш., Капарова Н. Интенсивность фотосинтеза часто используемых древесных растений // Бюллетень науки и практики. 2022. Т. 8, № 12. С. 111–118. DOI: 10.33619/2414-2948/85/14.

15. Нестеренко Т.В., Шихов В.Н., Тихомиров А.А. Флуоресцентный метод определения реактивности фотосинтетического аппарата листьев растений // Журнал общей биологии. 2019. Т. 80, № 3. С. 187–199. DOI: 10.1134/s0044459619030060.

16. Кунина В.А. Использование хлорофилл-флуоресценции для диагностики функционального состояния растений (литературный обзор) // Субтропическое и декоративное садоводство. 2022. № 83. С. 157–167. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-83-157-167.

17. Андреев Р.Н., Толстюк В.И., Бобров А.А., Клишкан Д.Г., Ветров С.Ф., Беседина Е.И., Мельник В.А., Лыгина Ю.А. Анализ состояния воздушного бассейна города Донецка и степень воздействия загрязнения атмосферного воздуха на состояние здоровья местного населения за период 2014–2022 гг. // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2023. № 1 (50). С. 85–94. DOI: 10.24412/2227-1384-2023-150-85-94.

18. Грищенко С.В., Грищенко И.И., Федосеева И.С., Праводелов С.С., Басенко И.Н., Костенко В.С., Агаркова Е.В., Миненко Е.Ф., Зорькина А.В., Шевченко В.С., Соловьев Е.Б., Минаков Д.Г., Мороховец С.А. Характеристика техногенной нагрузки на атмосферный воздух населенных мест экокризисного региона и основных источников его ксенобиотического загрязнения // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2022. Т. 26, № 1. С. 14–19.

19. Грищенко С.В., Грищенко И.И., Басенко И.Н., Костенко В.С., Миненко Е.Ф., Шевченко В.С., Бурмак М.С., Слюсарь Е.А., Гончарук Е.Ю., Ожерельева И.А., Праводелов С.С., Мороховец С.А., Якимова К.А. Комплексная гигиеническая оценка современного состояния воздушной среды техногенного региона и степени ее опасности для здоровья населения // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2022. Т. 26, № 1. С. 20–28.

20. Корниенко В.О., Яицкий А.С. Экологические последствия шумового загрязнения города Донецка // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 11–2. С. 28–34. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.11-2.13.

21. Галактионова Е.В., Сафонов А.И. Детализация метода фитотестирования загрязненных почв по уязвимости апикальных меристем // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2025. № 1. С. 94–100. DOI: 10.5281/zenodo.14923403.

22. Беспалова С.В., Чуфицкий С.В., Романчук С.М., Кривякин А.С. Биомониторинг поверхностных вод в условиях антропогенной нагрузки на примере реки Кальмиус // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2018. № 3–4. С. 137–145.

23. Мамиева Е.Б., Ширнина Л.В. Липа мелколистная как биоиндикатор загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (52). С. 34–40. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2017.1.34.

24. Варзарева В.Г., Трушева Н.А., Передельский Н.А., Федоровская М.Г., Сазонец Н.М., Уджуху М.И. Проблемы озеленения городов юга России на примере Майкопа // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. № 44. С. 154–159.

25. Ковязин В.Ф., Лисицына А.А. Липа мелколистная – преобладающая порода в составе зеленых насаждений Санкт-Петербурга // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2011. № 28. С. 174–178.

26. Рунова Е.М., Дамм О.А. Снижение аллергичности древесных растений Братска на примере липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 58. С. 125–128.

27. Орехов Д.И., Калабин Г.А. Выбор флуоресцентного фитоиндикатора техногенных загрязнений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № 4. С. 51–59.

28. Гольцев В.Н., Каладжи М.Х., Кузманова М.А., Аллахвердиев С.И. Переменная и замедленная флуоресценция хлорофилла *a* – теоретические основы и практическое приложение в исследовании растений. М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. 220 с.

29. Абдуллагатова Д.А. Эколого-фаунистическая характеристика насекомых и клещей – вредителей виноградной лозы Республики Дагестан: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.08, 03.00.09. Махачкала, 2009. 22 с.

30. Пестов С.В., Тычинкина И.Г., Огородникова С.Ю. Влияние галловых клещей на состояние ассимиляционного аппарата липы сердцевидной // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 44. С. 188–201. DOI: 10.17223/19988591/44/11.

31. Федорова Д.Г., Назарова Н.М., Пикалова Е.В., Кухлевская Ю.Ф. Болезни и вредители древесно-кустарниковых растений города Оренбурга: справочник / под ред. Д.Г. Федоровой. Оренбург: ОГУ, 2020. 85 с.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно трансформированных экосистем Донбасса» (номер госрегистрации 124051400023-4).

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
Антропова Лилия Павловна, лаборант научно-исследовательской лаборатории мониторинга и прогнозирования экосистем Донбасса; Донецкий государственный университет (г. Донецк, Россия). E-mail: antropowalilya@yandex.ru. Чуфицкий Сергей Викторович, старший преподаватель кафедры физиологии и биофизики; Донецкий государственный университет (г. Донецк, Россия). E-mail: chufitsky@donnu.ru.	Antropova Liliya Pavlovna, laboratory assistant of Scientific Research Laboratory for Monitoring and Forecasting of Donbass Ecosystems; Donetsk State University (Donetsk, Russia). E-mail: antropowalilya@yandex.ru. Chufitsky Sergey Viktorovich, senior lecturer of Physiology and Biophysics Department; Donetsk State University (Donetsk, Russia). E-mail: chufitsky@donnu.ru.

Для цитирования:

Антропова Л.П., Чуфицкий С.В. Изучение фотосинтетической активности листьев *Tilia cordata* Mill. в условиях антропогенной нагрузки // Самарский научный вестник. 2025. Т. 14, № 3. С. 15–23. DOI: 10.55355/snv2025143101.