

УДК 581.132.1: 502.3 (476.2)

В. В. Малащенко¹, А. А. Хоченков², С. М. Мижуй³, Д. С. Мифтахова⁴

¹Преподаватель кафедры биолого-химического образования, УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина»,
г. Мозырь, Республика Беларусь

²Доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры биолого-химического образования, УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина»,
г. Мозырь, Республика Беларусь

³Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры биолого-химического образования, УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина»,
г. Мозырь, Республика Беларусь

⁴Студент технолого-биологического факультета, УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина»,
г. Мозырь, Республика Беларусь

СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ ДОМИНИРУЮЩИХ ВИДОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ Г. МОЗЫРЯ И Г. КАЛИНКОВИЧИ

*В статье приведены результаты исследования содержания пигментов листьев древесных растений в условиях урбанизированной среды и выявлены его изменения в зависимости от разных экологических условий, антропогенных и других факторов. Установлено, что количество хлорофилла *a* и *b* в листьях листопадных древесных растений по ходу вегетации от лета к осени снижается. В свою очередь, наблюдается тенденция к увеличению количества каротиноидов в листьях исследуемых растений от летнего периода к осеннему.*

Ключевые слова: фотосинтетические пигменты, хлорофилл, каротиноиды, дендрофлора, экологическая среда, антропогенные факторы, рекреационная зона.

Введение

Пигментная система растений необходима для фотосинтетического преобразования солнечной энергии в энергию химических связей. Основными фотосинтетическими пигментами являются хлорофиллы (Хл). Каротиноиды (Кар) передают дополнительную энергию на хлорофиллы, выполняя светособирающую функцию, и отводят избыточную энергию от хлорофиллов, выполняя светозащитную функцию. Эффективность работы пигментной системы зависит от соответствия ее структуры и функции климатическим или экологическим условиям, прежде всего условиям освещения [1].

У любого вида растения содержание пигментов может значительно варьировать в зависимости от экологических условий, интенсивности и качества света, структурных особенностей листовой пластинки, антропогенных и других факторов. В листьях листопадных древесных растений содержание пигментов по ходу вегетации сначала довольно резко возрастает, затем стабилизируется, а к осени снижается [2].

Загрязнение среды и, прежде всего, атмосферы сказывается и на фотосинтетической способности растений. Это позволяет при оценке экологического состояния среды использовать такой биоиндикационный показатель, как изменение содержания растительного пигмента хлорофилла, наиболее распространенного в двух молекулярных формах (хлорофилл «*a*» и хлорофилл «*b*»). Произрастание на загрязненной территории сопровождается понижением концентрации пигментов в листьях независимо от степени чувствительности растения, но у устойчивых видов степень снижения меньше [3].

Атмосферные выбросы от предприятий и автотранспорта оказывают негативное воздействие на растения, снижая содержание хлорофилла и каротиноидов, вызывая сдвиги в структуре мембран хлоропластов, что отрицательно сказывается на интенсивности фотосинтеза [4].

В связи с этим актуальным остается вопрос изучения динамики содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях древесных растений в зависимости от степени техногенной нагрузки на насаждение.

Цель нашей работы состояла в изучении содержания пигментов листьев доминирующих видов дендрофлоры в условиях урбанизированной среды и выявлении его изменения по ходу вегетации (на примере г. Мозыря и г. Калинковичи).

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

1) изучить содержание пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) листовой пластинки доминирующих видов древесных растений г. Мозыря и г. Калинковичи в летне-осенний период в разных экологических условиях;

2) исследовать динамику содержания пигментов от летнего к осеннему периоду в листьях доминирующих видов дендрофлоры г. Мозыря и г. Калинковичи в зависимости от местообитания.

Методы и методология исследования

В условиях 2019 года изучена сезонная динамика содержания основных фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) в листьях доминирующих видов дендрофлоры: клена платановидного (*Acer platanoides L.*); березы повислой (*Betula pendula Roth*); тополя черного (*Populus nigra L.*) в условиях городской среды г. Мозыря (на территории лесопарка «Молодежный» – рекреационная зона – и автомобильной трассы по улице Советской – зона автотранспортного загрязнения) в летний (июль-август) и осенний (сентябрь-октябрь) периоды.

В 2020 году проведены исследования по определению содержания пигментов в листьях доминирующих видов дендрофлоры: клена платановидного (*Acer platanoides L.*); березы повислой (*Betula pendula Roth*); липы мелколистной (*Tilia cordata*) в условиях урбанизированной среды г. Мозыря (территория республиканского ландшафтного заказника «Мозырские овраги» – рекреационная зона), г. Калинковичи (территория парка культуры и отдыха – рекреационная зона – и автомобильной трассы «Мозырь – Калинковичи» – зона автотранспортного загрязнения).

Для изучения содержания пигментов в листьях исследуемых растений был проведен отбор проб (с нижней трети кроны деревьев по 10 листьев с 10-ти растений). Жизненное состояние древесных растений устанавливали визуально по степени поврежденности ассимиляционного аппарата и крон растений [5]. Отбор проб осуществлялся с 10 до 14 часов, когда содержание пигментов в листьях наибольшее.

Исследования по содержанию пигментов в листьях указанных видов дендрофлоры проводились в летний (июль-август) и осенний (сентябрь-октябрь) периоды 2019–2020 гг. на базе кафедры биолого-химического образования технолого-биологического факультета УО МГПУ им. И. П. Шамякина.

Для анализа растительных образцов использовали спектрофотометрическую методику определения хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов [6]. Сущность метода заключается в измерении оптической плотности вытяжки (экстракта) пигментов на спектрофотометре ПЭ-5400УФ при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов *a* (663 нм), *b* (645 нм) и каротиноидов (440 нм).

Ход анализа: В зависимости от цели исследований брали навеску свежих или сухих листьев массой 1–5 г, растирали в фарфоровой ступке с небольшим количеством органического растворителя и песка в присутствии углекислого кальция. Растиртую массу фильтровали с помощью фильтровальной бумаги. Извлечение пигментов проводили небольшими порциями органического растворителя до обесцвечивания фильтрата. Объем профильтрованного экстракта измеряли в мерном цилиндре. Далее экстракты разбавляли органическим растворителем так, чтобы при измерении на спектрофотометре величина оптической плотности разбавленных растворов находилась в пределах от 0,1 до 0,8. Уточняли максимумы поглощения хлорофиллов *a* и *b*. Если максимум поглощения хлорофилла *a* отклонялся на несколько нанометров от значений, указанных в формуле, то на столько же сдвигали и максимум для следующей длины волны (хлорофилла *b*).

Расчет концентрации пигментов (мг/дм^3) производили по формулам:

$$\begin{aligned}C_a &= 9,784 D_{663} - 0,99 D_{645}; \\C_b &= 21,426 D_{645} - 4,650 D_{663}; \\C_{\text{кар}} &= 4,7 E_{440} - 0,27 C_{(a+b)},\end{aligned}$$

где C_a – концентрация хлорофилла *a*, мг/дм^3 ;
 C_b – концентрация хлорофилла *b*, мг/дм^3 ;
 $C_{\text{кар}}$ – концентрация каротиноидов, мг/дм^3 .

Содержание пигментов (мг/100 г) находили по формуле

$$X = CV_2 * 100 / n * V_1 * 1000,$$

где С – концентрация пигмента, мг/дм³;

V₁ – объем исходной вытяжки, взятой для разбавления, см³;

V₂ – объем разбавленной вытяжки, см³;

n – масса навески [6].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных исследований выявлена видовая специфичность в содержании хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях доминирующих видов древесных растений, произрастающих в различных экологических условиях г. Мозыря и г. Калинковичи.

Установлено, что индивидуальное содержание и сумма хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов во всех образцах, отобранных на исследуемых маршрутах, отличаются друг от друга, а также наблюдается тенденция к уменьшению их количества в листьях исследуемых растений от летнего периода к осеннему.

Данные результатов исследования 2019 года представлены на рисунках 1–3.

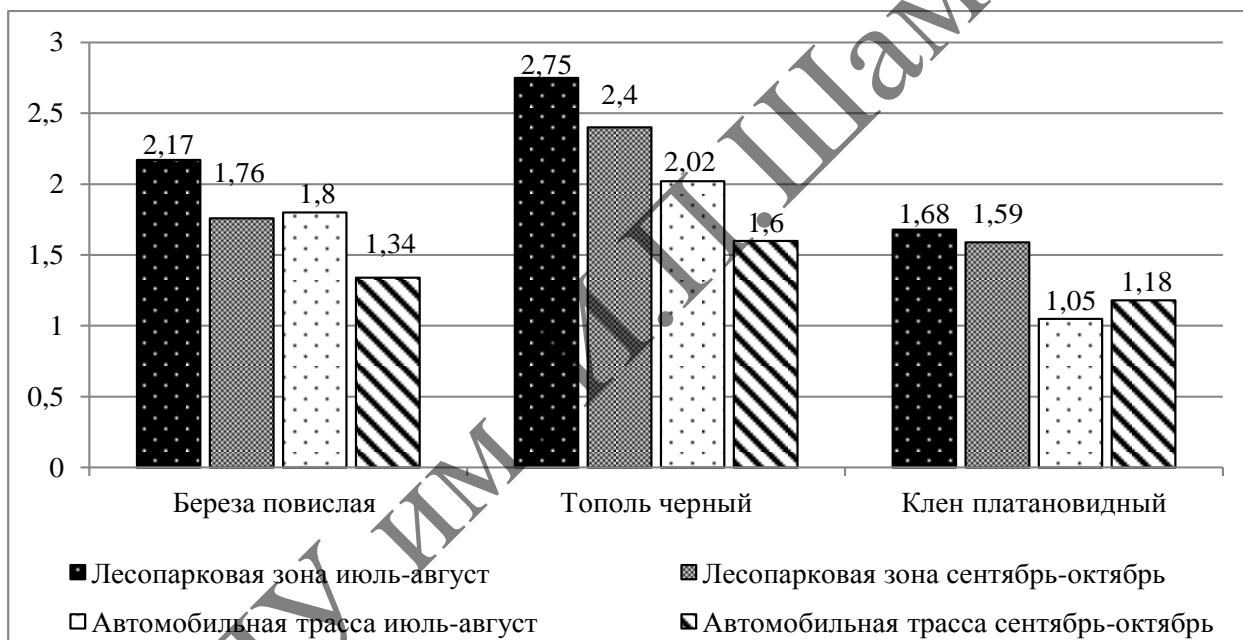


Рисунок 1. – Содержание хлорофилла *a* в листьях древесных растений, произрастающих в различных экологических условиях г. Мозыря, мг/100 г сухого вещества

В летний период 2019 года наиболее высокое содержание хлорофилла *a* и каротиноидов в лесопарковой зоне и в зоне автомобильной трассы установлено в листьях тополя черного, а наименьшее – у клена платановидного. Наибольший уровень хлорофилла *b* в лесопарковой зоне в летний период выявлен у березы повислой, а в районе автомобильной трассы – у тополя черного. Минимальные значения данного пигмента в обеих зонах установлены для листьев клена платановидного.

Содержание хлорофилла *a* и каротиноидов в осенний период 2019 года сохранялось на более высоком уровне у тополя черного по сравнению с другими видами исследованной дендрофлоры. Наименьшие значения данных пигментов также были выявлены у клена платановидного. Наиболее высокая концентрация хлорофилла *b* в лесопарковой зоне оказалась у березы повислой, а в районе автомобильной трассы – у клена платановидного.

Анализируя динамику изменения уровня хлорофилла *a* от лета к осени, можно отметить, что наибольшее снижение данного пигмента отмечалось в листьях березы повислой (на 18,89 % в рекреационной зоне и на 25,56 % в зоне автомобильной трассы).

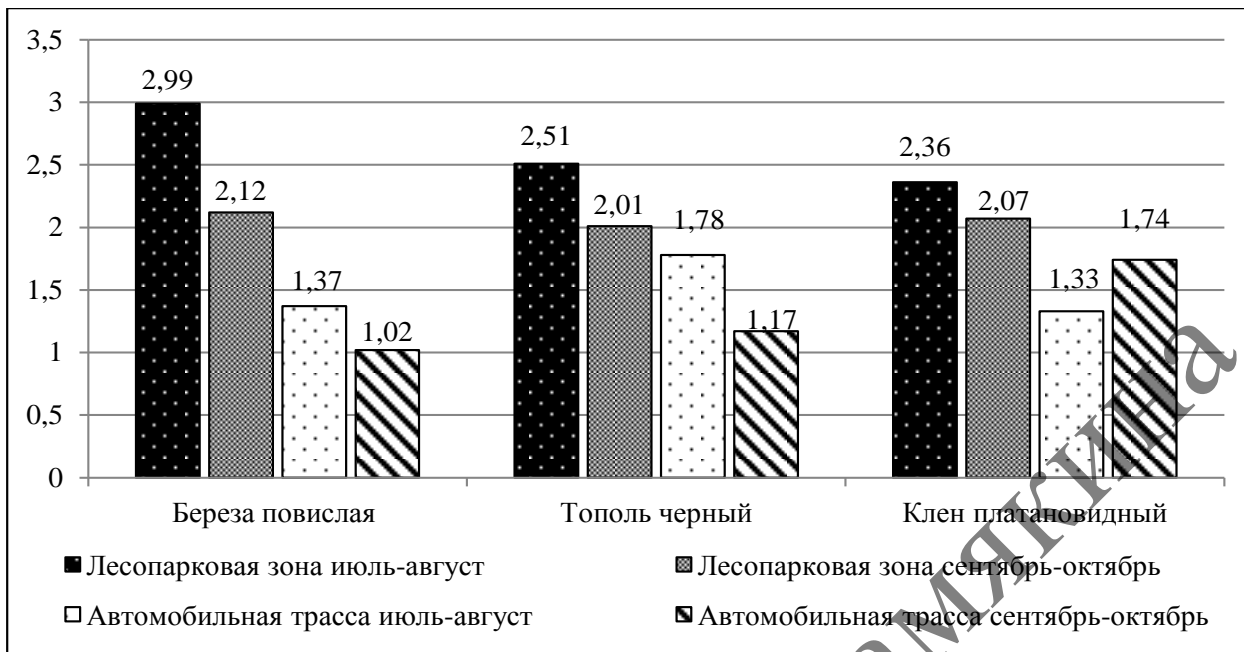


Рисунок 2. – Содержание хлорофилла *b* в листьях древесных растений, произрастающих в различных экологических условиях г. Мозыря, мг/100 г сухого вещества

Тенденция к снижению была, в целом, характерна и для хлорофилла *b*. В лесопарковой зоне содержание данного пигмента снизилось у березы повислой на 29,10 %, а у тополя черного – на 19,92 %. В зоне автотранспортного загрязнения аналогичное снижение соответственно составило 25,55 % и 34,27 %. В отличие от лесопарковой зоны, уровень хлорофилла *b* в листьях клена платановидного повысился (на 30,83 %).

Исследование динамики содержания каротиноидов от летнего к осеннему периоду показало, что уровень данного пигмента у всех видов древесной растительности повышается. При этом наибольшая динамика повышения каротиноидов выражена для клена платановидного в обоих районах исследования – 17,15 % (лесопарковая зона) и 20,30 % (зона автомобильной трассы).

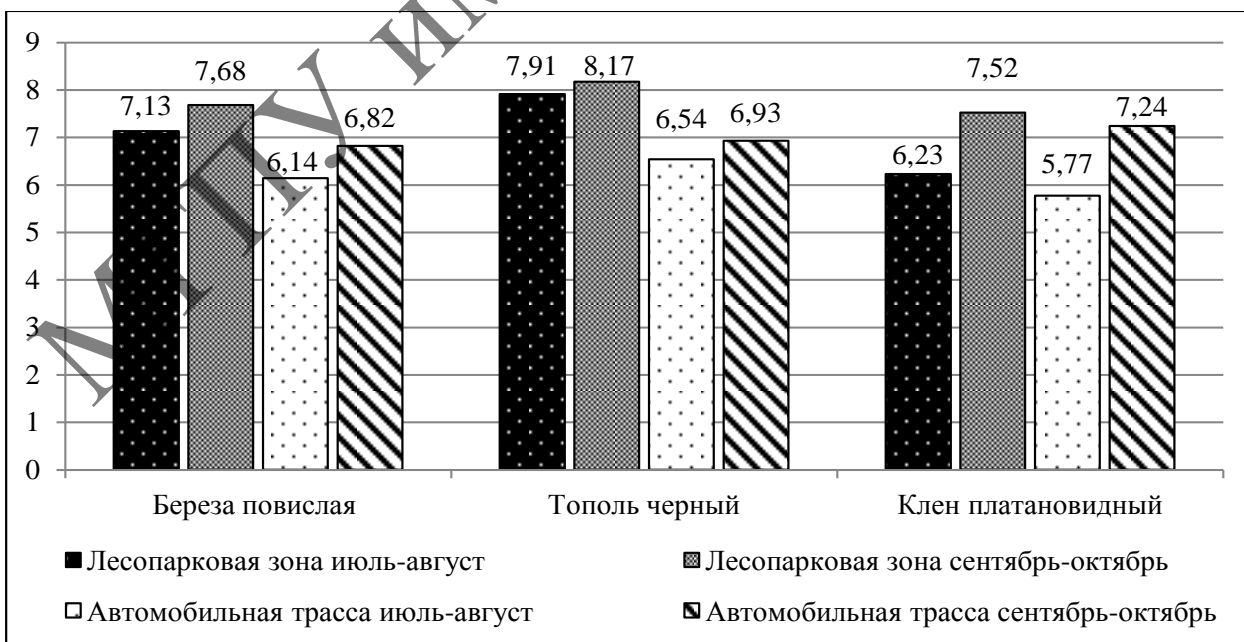


Рисунок 3. – Содержание каротиноидов в листьях древесных растений, произрастающих в различных экологических условиях г. Мозыря, мг/100 г сухого вещества

При анализе содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в условиях 2020 года наблюдалась аналогичная тенденция к уменьшению их от летнего периода к осеннему. Наиболее высокое содержание хлорофилла *a* и каротиноидов в летний период установлено для липы мелколистной в рекреационных зонах г. Калинковичи, а наибольшая концентрация хлорофилла *b* была отмечена в листьях клена платановидного.

В осенний период наиболее высокое содержание хлорофилла *a* зафиксировано у березы повислой в зоне лесопарка г. Мозыря. В данной зоне также зарегистрировано наибольшее содержание хлорофилла *b* (у клена платановидного). Максимальное значение содержания каротиноидов в период сентябрь-октябрь отмечено в листьях клена платановидного, произрастающего в насаждениях рекреационной зоны в г. Калинковичи.

Исследование динамики пигментов от летнего к осеннему периоду показало, что уровень хлорофилла *a* у всех видов древесной растительности снижается. Наибольшее снижение (92,31 %) данного пигмента выражено у клена платановидного в районе автомобильной трассы. Второе ранговое место занимает липа мелколистная (55,14 %) в парковой зоне г. Калинковичи. Аналогичная тенденция была выявлена нами для хлорофилла *b* у клена платановидного в зоне автомобильной трассы, снижение которого к осеннему периоду составило 84,58 %.

В то же время зафиксирована тенденция к повышению содержания хлорофилла *b* от летнего периода к осеннему в листьях липы мелколистной рекреационной зоны г. Калинковичи (в 17,58 %) и березы повислой в зоне автомобильной трассы «Мозырь – Калинковичи» (21 %). Мы предполагаем, что такая динамика хлорофилла *b* может быть связана с адаптацией пигментного аппарата древесных растений к изменению интенсивности солнечного света. Кроме того, данный факт может быть связан с индивидуальными особенностями древесного растения.

Содержание каротиноидов в листьях всех исследованных деревьев к октябрю возрастает: наиболее существенно это выражено у липы мелколистной – в 12,61 раза в зоне автомобильной трассы.

Данные по содержанию пигментов в листьях березы повислой, произрастающей на территориях г. Мозыря и г. Калинковичи, были подвергнуты корреляционно-регрессионному статистическому анализу (рисунок 4).

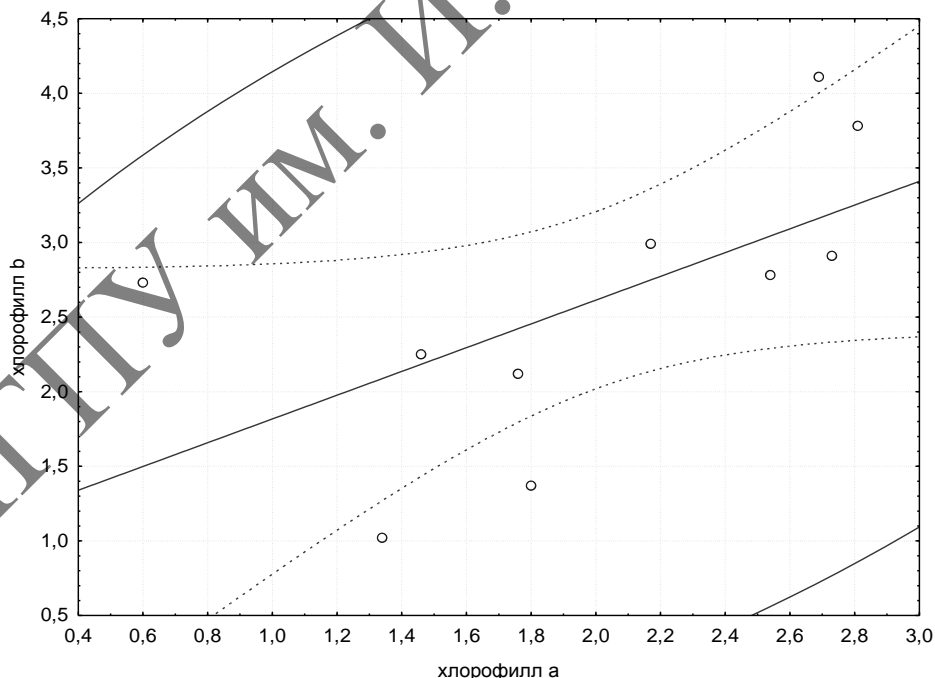


Рисунок 4. – Корреляционная зависимость между хлорофиллами *a* и *b* листьев березы повислой, произрастающей на территориях г. Мозыря и г. Калинковичи (в среднем за 2019–2020 гг.)

Коэффициент корреляции (r) между хлорофиллами у березы повислой составил 0,603, а уравнение регрессии: $y = 1,02085113 + 0,796557219 \cdot x$, что указывает на прямую линейную зависимость средней степени силы.

При анализе корреляционной зависимости между хлорофиллами *a* и *b* в листьях клена платановидного (рисунок 5) установлена высокая степень корреляции ($r = 0,802$). Уравнение регрессии: $y = -0,223020243 + 2,25183096 \cdot x$.

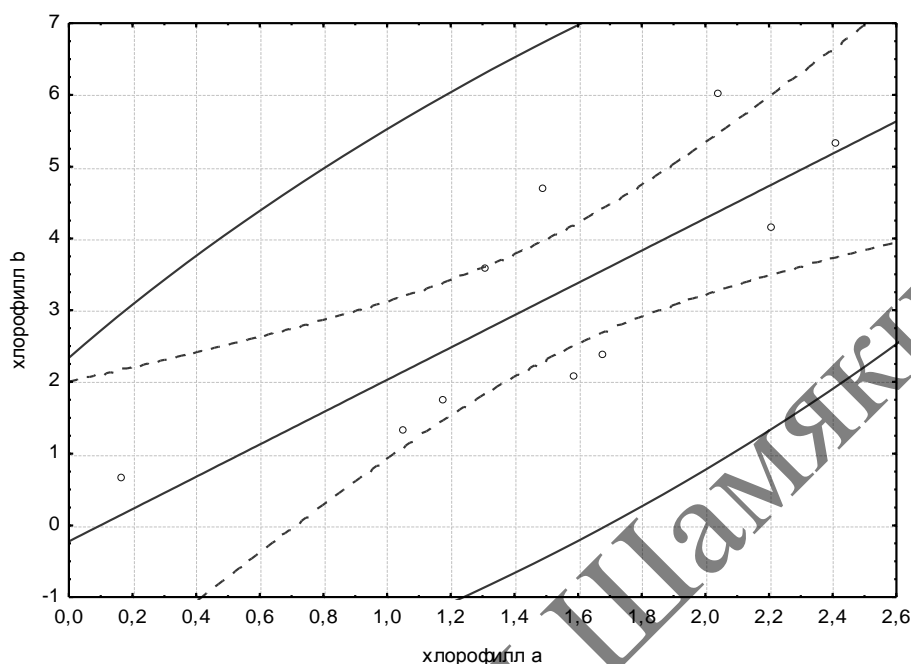


Рисунок 5. – Корреляционная зависимость между хлорофиллами *a* и *b* листьев клена платановидного, произрастающего на территориях г. Мозыря и г. Калинковичи (в среднем за 2019–2020 гг.)

Заключение

Результаты исследований показали, что содержание пигментов и характер изменения их содержания в листьях изученных древесных растений в насаждениях разных экологических категорий видоспецифичны.

Наиболее высоким уровнем хлорофилла *a* в летний и осенний периоды 2019 года в исследованных зонах города Мозыря отличались листья тополя черного. По содержанию хлорофилла *b* наиболее высокие показатели выявлены у березы повислой в летний и осенний периоды в лесопарковой зоне; в районе автомобильной трассы – в летний период у тополя черного, а в осенний период – у клена платановидного.

Высоким уровнем каротиноидов в летний и осенний периоды в исследованных зонах г. Мозыря также отличался тополь черный.

В условиях 2020 года наибольший уровень хлорофилла *a* в рекреационной зоне г. Мозыря и г. Калинковичи в летний период зарегистрирован у липы мелколистной, а в осенний период – у березы повислой.

Содержание хлорофилла *b* наиболее высоко в летний и осенний периоды в данных зонах у клена платановидного.

Уровень хлорофиллов от летнего к осеннему периоду закономерно снижается. Наиболее значимые изменения по данным параметрам были зарегистрированы у клена платановидного в районе автомобильной трассы «Мозырь – Калинковичи». Снижение содержания хлорофилла *a* у данного вида дендрофлоры к осеннему периоду в указанной зоне составило 92,31 %.

Содержание каротиноидов в доминирующих видах древесной растительности в разных экологических зонах г. Мозыря и г. Калинковичи возрастает от летнего к осеннему периоду. Наиболее существенно это было выражено у липы мелколистной в 2020 году в зоне автомобильной трассы «Мозырь – Калинковичи» (в 12,61 раз по сравнению с летним периодом).

Выявлена положительная корреляция средней силы между содержанием хлорофилла *a* и *b* в листьях березы повислой и высокая корреляционная зависимость между указанными пигментами у клена платановидного, произрастающих на исследованных территориях г. Мозыря и г. Калинковичи.

Определение содержания фотосинтетических пигментов в различных видах дендрофлоры в зависимости от условий произрастания можно использовать для проведения исследовательских работ по биологии и химии со студентами высших учебных заведений и учащимися средних общеобразовательных школ.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных растений вдоль широтного градиента на Южном Урале [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/315287156_Izmenenie_soderzania_hlorofillov_i_karotinoidov_v_listah_stepnyh_rastenij_vdol_sirotnogo_gradienta_na_Uznom_Urale. – Дата доступа: 21.11.2020.
2. Веретенников, А. В. Физиология растений : учебник / А. В. Веретенников. – М. : Академический проект, 2006 – 480 с.
3. Оценка состояния среды урбанизированных территорий методом дендроиндикации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16275>. – Дата доступа: 21.11.2020.
4. Артамонов, В. И. Растения и чистота природной среды / В. И. Артамонов. – М. : Наука, 1986. – 172 с.
5. Николаевский, В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния экосистем методами фитоиндикации : учеб. пособие / В. С. Николаевский. – М. : МГУЛ, 1999. – 93 с.
6. Ермаков, А. И. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 456 с.

Поступила в редакцию 29.03.2021

E-mail: malashchenko.vera@mail.ru; 28111959-@mail.ru;
smizuy@mail.ru; miftahovadara@gmail.com

V. V. Malashchenko, A. A. Khochenkov, S. M. Mizhui, D. S. Miftakhova

THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS OF THE LEAF BLADE OF THE DOMINANT SPECIES OF WOODY PLANTS IN MOZYR AND KALINKOVICHI

The article presents the results of the study of the content of pigments in the leaves of woody plants in the urban environment and reveals its changes depending on different environmental conditions, anthropogenic and other factors. It was found that the amount of chlorophyll A and B in the leaves of deciduous woody plants decreases during the growing season from summer to autumn. In turn, there is a tendency to increase the amount of carotenoids in the leaves of the studied plants from the summer to the autumn period.

Keywords: photosynthetic pigments, chlorophyll, carotenoids, dendroflora, ecological environment, anthropogenic factors, recreational zone.