

DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-5-931
УДК 574.24



Научная статья

СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *ACER* L. В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

И.В. Чернявская, Е.М. Еднич, Т.Н. Толстикова

Обоснование. Концентрация пигментов является видовым признаком, а также интегральным показателем адаптации к изменяющимся условиям внешней среды, отражающим реакцию растений на условия произрастания. Интенсивное развитие современных городов предъявляет определенные требования к подбору растений для озеленения, обладающих высоким уровнем адаптивных реакций.

Цель. Определение содержания фотосинтетических пигментов в листьях представителей рода *Acer* в условиях городской среды (на примере г. Майкопа, Республики Адыгея).

Материалы и методы. Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрическим методом в листьях представителей рода *Acer* L.: *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*, *A. negundo*, *A. campestre* в условиях городской среды (на примере г. Майкопа) и зоне условного контроля (Ботанический сад). Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием пакета MS Excel 2010.

Результаты. Выявлено, что в условиях урбанизированной среды суммарное содержание хлорофиллов в 1,1-2,2 раза выше по сравнению с контролем. По уровню варибельности суммарного содержания зеленых пигментов в городе, исследуемые виды расположились в следующем порядке: *A. saccharinum* и *A. campestre* < *A. pseudoplatanus* < *A. platanoides* < *A. negundo*. Соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам очень чутко реагировало на воздействия факторов городской среды. *A. campestre* и *A. saccharinum* отличались от *A. negundo*, *A. pseudoplatanus* и *A. platanoides* по данному показателю.

Заключение. Установлено, что в условиях урбанизированной среды у исследуемых видов рода *Acer* происходят перестройки в структуре пигментных комплексов – усиление синтеза хлорофиллов и каротиноидов, тем самым

повышаются их адаптивные возможности к негативному воздействию факторов городской среды.

Ключевые слова: представители рода *Acer*; городская среда; пигменты; хлорофилл; каротиноиды; стресс; адаптация; Северо-Западный Кавказ

Для цитирования. Черныавская И.В., Еднич Е.М., Толстикова Т.Н. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях представителей рода *Acer L.* в условиях городской среды // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15, №5. С. 153-171. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-5-931

Original article

CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN LEAVES OF THE GENUS *ACER L.* SPECIES IN URBAN ENVIRONMENT

I.V. Chernyavskaya, E.M. Ednich, T.N. Tolstikova

Background. Pigment concentration is a species trait, and is an integral indicator of adaptive response to changes in environmental factors and the growing conditions. The intensive development of modern cities imposes certain requirements on the selection of plants for landscaping, one of which is a high level of adaptive responses.

Purpose. The purpose of this study was to determine the content of photosynthetic pigments in the leaves of the genus *Acer* species in urban conditions of the city of Maykop, the Adygea Republic.

Materials and methods. We used the spectrophotometric method to determine the content of photosynthetic pigments in the leaves of the genus *Acer L.* species: *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*, *A. negundo*, *A. campestre* in an urban environment of the city of Maykop and the zone of conditional control (Botanical garden). We carried out statistical processing of experimental data by using the MS Excel 2010 package.

Results. We have revealed that in the conditions of an urbanized environment the total content of chlorophylls is 1.1-2.2 times higher in comparison with that of the zone of control. Taking into account the level of variability of the total content of green pigments in the city, we arranged the studied species in the following order: *A. saccharinum* *A. campestre* < *A. pseudoplatanus* < *A. platanoides* < *A. negundo*. The ratio of the amount of chlorophylls to carotenoids reacted very sensitively to the impact of urban environmental factors. *A. campestre* and *A.*

saccharinum differed from *A. negundo*, *A. pseudoplatanus*, and *A. platanoides* for this indicator.

Conclusion. The study made allow us to state that in the conditions of an urbanized environment, the studied species of the genus *Acer* undergo restructuring in the structure of pigment complexes. An increase in the synthesis of chlorophylls and carotenoids raises their adaptive capabilities to the negative impact of urban environmental factors.

Keywords: genus *Acer* species; urban environment; pigments; chlorophyll; carotenoids; stress; adaptation; North-Western Caucasus

For citation. Chernyavskaya I.V., Ednich E.M., Tolstikova T.N., Beskrovnaya A.Yu. Content of Photosynthetic Pigments in Leaves of the Genus *Acer* L. species in Urban Environment. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 5, pp. 153-171. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-5-931

Введение

Структурные параметры листа являются основой, обеспечивающей протекание физиологических процессов. Под воздействием комплекса антропогенных факторов в условиях городской среды происходит изменение параметров листьев растений, содержание и состояние в них фотосинтетических пигментов [6]. Приспособление фотосинтетического аппарата к условиям среды проявляется на уровне пластидной системы клеток листа, что способствует его оптимизации при разных экологических режимах, поэтому количественное содержание хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов может быть использовано как физиологический показатель, характеризующий степень адаптации растений к условиям произрастания и уровню стресса, в частности при интродукции [4, 5, 8, 14-17, 21].

В литературе нет однозначных данных по поводу влияния факторов антропогенной среды на концентрацию пигментов. Ряд авторов как зарубежных [22-26], так и отечественных [1, 2, 10, 13] отмечают, что антропогенное загрязнение окружающей среды подавляет синтез хлорофилла и происходит снижение его концентрации. Другие – указывают на факт увеличения концентрации хлорофилла в условиях повышенной загазованности [13, 18].

В целом, устойчивость растений зависит от факторов внешней среды, а также от состояния самого растения, его индивидуальных особенностей, состава и концентрации токсикантов и длительности их воздействия [2, 7].

Интенсивное развитие современных городов (в том числе Майкопа) предъявляет определенные требования к подбору растений для озе-

ления, обладающих высоким уровнем адаптивных реакций. Поэтому необходимо обогащение флоры города устойчивыми и эстетически привлекательными зелеными насаждениями.

К числу хозяйственно-ценных древесных растений относятся представители рода *Acer*, обладающие высокой декоративностью, активным семенным размножением и быстрым ростом. В озеленении Майкопа широко используются пять видов клена: *Acer platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. campestre* L., *A. negundo* L., *A. saccharinum* L. Единично отмечены: *A. palmatum* Trunb., *A. platanoides* 'Royal Red', *A. platanoides* 'Crimston King', *A. platanoides* 'Drummondii', *A. platanoides* 'Princeton Gold', *A. rubrum* 'Autumn Blaze', *A. negundo* 'Flamingo', *A. negundo* 'Variegatum'. Исследования по влиянию городской среды (г. Майкоп) на концентрацию фотосинтетических пигментов в листьях представителей рода *Acer* проводились в 2018-2020 гг. Было определено содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях некоторых видов: *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum* и *A. campestre* [19]. Однако исследования по выявлению относительных показателей содержания фотосинтетических пигментов (соотношения зеленых пигментов ($X_l a/X_l b$), отношения суммы хлорофиллов к каротиноидам), уровня изменчивости содержания пигментов (коэффициент вариации (V%)) в зависимости от условий произрастания как интродуцированных, так и аборигенных, представителей рода *Acer*: *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*, *A. campestre*, *A. negundo* для оценки устойчивости к стрессовым факторам городской среды (г. Майкоп) ранее не проводилось. В связи с этим для выявления адаптивных механизмов актуальным является вопрос изучения содержания хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов в листьях древесных растений рода *Acer* в зависимости от степени техногенной нагрузки на насаждение.

Цель работы – определение содержания фотосинтетических пигментов в листьях представителей рода *Acer* в условиях городской среды (на примере г. Майкопа).

Материал и методы исследования

Район исследования – г. Майкоп (Северо-Западный Кавказ, Республика Адыгея), находится на 44°36'40" с.ш. 40°06'40" в.д., на высоте 190-210 м н.у.м., пояс широколиственных лесов. Климат умеренно-теплый без резких колебаний суточных и местных температур. Среднегодовая температура воздуха равна 11,8 °С, средняя температура июля 22,8 °С, января -1,6 °С; годовая сумма осадков 700-800 мм.

Материалом исследований послужили виды рода *Acer*, широко представленные в составе зеленых насаждений различных объектов озеленения на территории г. Майкоп и в дендрарии Ботанического сада Адыгейского государственного университета: *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*, *A. negundo*. В качестве стандарта взят автохтонный вид *A. campestre*.

Acer campestre L. – клен полевой, равнинный. Листопадное дерево до 20 м высотой, с шаровидной кроной, серовато-бурой корой. Цветки зеленоватые, раздельнополые, собраны в сложные кисти. Цветение после распускания листьев, поочередное, с интервалом 3-4 дня. Плод – двукрылатка с горизонтально расположенными крыльями, семена голые. Третичный реликт. Естественный ареал – Кавказ, Восточная Европа, Крым. Произрастает во втором ярусе широколиственных лесов Адыгеи, широко используется в озеленении.

Acer negundo L. – клен американский, ясенелистный. Листопадное дерево до 25 м высотой. Крона широкая, неправильной формы. Кора от оливково-зеленой в раннем возрасте до буроватой – в зрелом. Цветки однополые, бледно-зеленые, мужские – мелкими пучками, женские – собраны в длинные кисти. Плод – крылатка с загнутыми крыльями. Естественный ареал – Северная Америка.

Клен ясенелистный завезен в Европу в XVII в. как декоративная культура. В настоящее время широко распространен и относится к серьезным инвазивным видам, обнаружено вторжение этого вида в природные местообитания на территории региона.

Acer platanoides L. – клен платановидный, острый. Листопадное дерево высотой 25-30 м, с густой широкой кроной, гладкой темно-серо-бурой корой. Цветки раздельнополые, крупные, зеленовато-желтые, цветут до распускания листьев. Соцветие - повисающая кисть. Плод – двукрылатка до 4 см длиной, крылья расходятся под углом 160°. Третичный реликт. Естественный ареал – Кавказ, Восточная, Средняя и Атлантическая Европа, Южная Скандинавия, Малая Азия. В естественных условиях растёт в широколиственных и смешанных лесах одиночно или небольшими группами.

Acer pseudoplatanus L. – клен ложноплатановый, белый, явор. Листопадное дерево высотой 35-40 м, с густой шаровидной кроной. Кора темно-серая, трещиноватая. Цветки собраны в многоцветковые узкие кисти до 18 см длиной. Цветки мужские и обоеполые около 7-8 мм диаметром, желтовато-зеленые. Плод – двукрылатка до 6 см длиной. Крылатки, су-

женные к основанию, расходящиеся под углом 90°. Третичный реликт. Естественный ареал – Кавказ, Средняя и Атлантическая Европа, Средиземноморье, Балканский полуостров, Малая Азия. На Кавказе растет в составе широколиственных и смешанных лесов.

Acer saccharinum L. – клен сахаристый, ложносахарный, серебристый. Листопадное дерево высотой до 40 м. Крона раскидистая, овальная. Кора сероватая, гладкая, с годами - трещиноватая. Цветки обоопольные и одноопольные, зеленоватые или красные, почти сидячие, в зонтиковидных метелках. Цветение до распускания листьев. Плод – двукрылатка длиной до 6 см, с широко расходящимися крыльями. Созревание семян в июне. Естественный ареал – Северная Америка. Завезен в Европу в XVIII в. как декоративное растение.

Исследования проведены в период с мая по август 2021–2022 гг. Сбор растительного материала осуществляли из средней и нижней части кроны учетных древесных растений одного возраста на генеративной стадии развития. Отбирали ассимилирующие листья годичных побегов с четырех сторон экспозиции растений трижды за вегетацию: в конце мая, июне и в начале августа. Повторность опытов трехкратная. Абсолютный максимум температур находился в пределах 35,5 °С (в августе) – 31,5 °С (в мае), в то время, как среднемесячная температура в среднем составляла 22,75±0,85 °С.

Местом отбора в городских условиях выбрана улица Пионерская (район «Черемушки») по критерию наибольшей протяженности и высокой антропогенной нагрузки (интенсивным автомобильным движением). В качестве зоны условного контроля (ЗУК) выбрана территория Ботанического сада Адыгейского государственного университета, расположенная в 15 км от города, на 1-й надпойменной террасе р. Курджипс, на высоте 210 м н.у.м.

В докладе об экологической ситуации в Республики Адыгея за 2021 г. приоритетными загрязнителями атмосферного воздуха являются оксид углерода, диоксид азота, а основным источником загрязнения – выхлопные газы автотранспорта. Содержание в атмосферном воздухе вредных веществ выше 2,1ПДК [3].

Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрическим методом с экстракцией пигментов 96 %-м этанолом. Оптическую плотность экстрагированных пигментов измеряли на спектрофотометре – ПЭ-5300ВИ, на следующих длинах волн: хлорофилл *a* - 665 нм, хлорофилл *b* - 649 нм, каротиноиды - 440,5 нм. Концентра-

цию хлорофилла *a* и *b* в вытяжке рассчитывали по формуле Вернона, концентрацию каротиноидов – по формуле Веттштейна [20]. В периоды активной вегетации растений метеорологические условия оценивались как благоприятные, со стабильной температурой и умеренной влажностью.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием пакета MS Excel 2010. Статистический анализ включал одномерный дисперсионный анализ (метод сравнения средних с использованием дисперсионного анализа, t-критерий). Статистически значимой принята значимость различия между средними значениями при $p \leq 0,05$. Результаты исследования выражены в виде средней арифметической величины со стандартным отклонением.

Результаты исследования

Фотосинтетическая активность является одним из диагностических признаков физиологического состояния растений [12]. Факторы антропогенной среды оказывают непосредственное влияние на концентрацию фотосинтетических пигментов растений и, в связи с этим, они являются надежным источником информации о состоянии растения и его реакции на стрессовое воздействие [2].

Содержание хлорофилла *a* в листьях кленов в течение вегетационного периода варьировало от 0,9 до 3,25 мг/г сырой массы (Рисунки 1, 2). Наибольшие значения содержания хлорофилла *a* у данных видов клена отмечены в июле – в начале августа.

Максимальная концентрация хлорофилла *a* зафиксирована в июле у *A. pseudoplatanus*, *A. platanoides* и *A. saccharinum* (3,25, 3,23 и 2,71 мг/г сырой массы соответственно); в августе – у *A. campestre* и *A. negundo* (3,09 и 1,94 мг/г сырой массы соответственно) в зоне техногенного воздействия. Минимальная – у всех видов в зоне условного контроля в начале вегетации.

Содержание хлорофилла *b*, меньше, чем хлорофилла *a* и оно варьировало от 0,18 до 1,76 мг/г сырой массы. Уровень хлорофилла *b* достигал максимума в начале августа в городе; минимум – в начале вегетационного периода в зоне условного контроля. Установлено, что содержание хлорофилла *b* в ассимиляционной ткани листовых пластинок кленов в городской среде достоверно повышалось (НСР ($p \leq 0,05$) = 0,4) у всех видов кленов по сравнению с ЗУК (0,61-1,4 мг/г сырой массы, и 0,36-1,1 мг/г сырой массы соответственно).

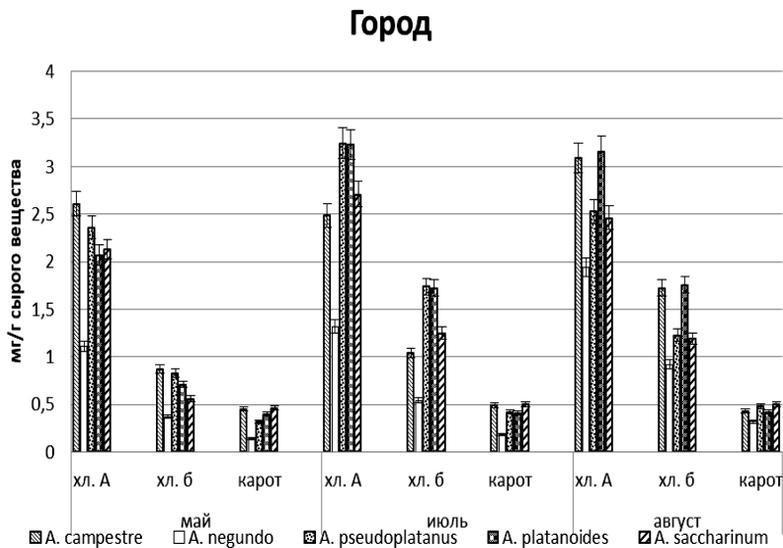


Рис. 1. Содержание пигментов в листьях представителей рода *Acer* в условиях города (среднее за годы исследования)

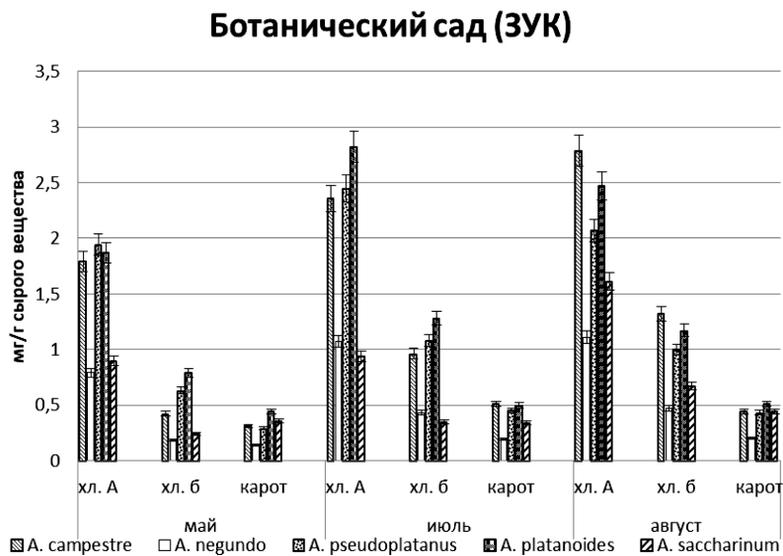
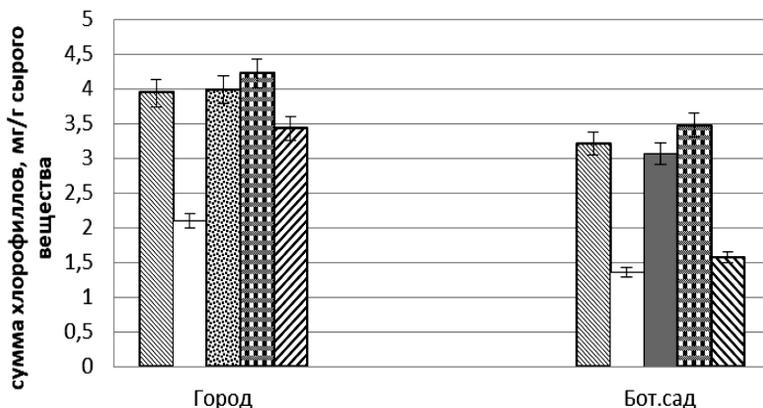


Рис. 2. Содержание пигментов в листьях представителей рода *Acer* в зоне условного контроля (среднее за годы исследования)

Суммарное содержание зеленых пигментов (Рисунок 3) в листьях исследуемых видов рода *Acer*, произрастающих в местах наиболее интенсивного движения автотранспорта (ул. Пионерская), существенно выше (НСР ($p \leq 0,05$) = 0,53), чем у растений из ЗУК (Ботанический сад).



■ *A. campestre* □ *A. negundo* ■ *A. pseudoplatanus* ■ *A. platanoides* ■ *A. saccharinum*

Рис. 3. Содержание хлорофилла в листьях представителей рода *Acer* в зависимости от расположения насаждений (среднее за годы исследования)

Содержание каротиноидов в листьях кленов в течение вегетационного периода варьировало от 0,18 до 0,5 мг/г сырого вещества (Рисунки 2, 3). Максимальная концентрация каротиноидов зафиксирована в июле и в августе, минимальная – у всех видов в начале вегетации, как в городских условиях, так и в ЗУК. Уровень накопления каротиноидов в листьях исследуемых кленов в городе изменялся от 0,21 до 0,47 мг/г сырого вещества, в ЗУК - от 0,18 до 0,48 мг/г сырого вещества (достоверных различий между уровнем накопления каротиноидов в листьях *Acer* между вариантами не обнаружено (НСР ($p \leq 0,05$) = 0,27)).

Обсуждение

Содержание пигментов в листьях растений является важным эколого-физиологическим показателем, который отражает влияние факторов среды. Установлено, что в городе суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* в 1,1-2,2 раза выше по сравнению с ЗУК – в мае, июле и августе здесь отмечено максимальное количество. По-видимому, в условиях повышен-

ной загазованности, засоления и загрязнения почвы тяжелыми металлами происходит нарушение водного обмена и снижение оводненности листьев [13], что является причиной увеличения содержания пигментов при расчете на единицу сырой биомассы.

Несмотря на то, что общая тенденция изменения содержания хлорофиллов под влиянием загрязнения атмосферы была схожа у исследуемых видов, данные растения характеризовались разным содержанием хлорофиллов *a* и *b*. Так, у *A. campestre* и *A. platanoides* содержание хлорофиллов в зоне техногенного воздействия было в 1,2 раза выше, чем в контроле, у *A. negundo* – в 1,6, у *A. pseudoplatanus* – в 1,3, у *A. saccharinum* – в 2,2 раза.

Каротиноиды играют важную роль в защите фотосинтетического аппарата, обеспечивая толерантность растений к различным стрессовым факторам, что связано с их антиоксидантной функцией [9]. Значительное увеличение количества каротиноидов к августу обусловлено естественным июньским затуханием ростовых процессов, со значительным повышением водного дефицита и повышением температуры воздуха до +30°C и более, что является для растений ощутимым стрессом.

Уровень изменчивости содержания пигментов в зависимости от условий произрастания несет важную информацию, поэтому был рассчитан коэффициент вариации (V%) содержания пигментов у исследуемых видов рода *Acer* в условиях городской среды и в ЗУК (Таблица 1) [11].

В наших исследованиях среди изученных видов рода *Acer* средние значения коэффициента вариации содержания хлорофилла *a* отмечены у *A. pseudoplatanus* (V=12...17%) и *A. platanoides* (V=20...23%), которые существенно не отличались от коэффициента вариации автотонного вида *A. campestre* (V= 12%...20%). Данная тенденция прослеживалась как в урбанизированной среде, так и в зоне условного контроля, что может указывать на их достаточную адаптивность.

Самый высокий коэффициент вариации содержания хлорофилла *a* (V= 30%) в городе наблюдался у *A. negundo*, что указывает на пластичность данного вида к факторам среды.

По уровню вариабельности (V= 2...39%) суммарного содержания зеленых пигментов, в зоне условного контроля исследуемые виды можно расположить в следующий ряд (от низкого к высокому): *A. platanoides* < *A. pseudoplatanus* < *A. negundo* < *A. campestre* < *A. saccharinum*. В городе же коэффициент вариации превышал 13% (V=19...35%) и имеет следующий ряд: *A. saccharinum* и *A. campestre* < *A. pseudoplatanus* < *A. platanoides* < *A. negundo*.

Таблица 1.

Коэффициент вариации (V%) содержания пигментов в листьях представителей рода *Acer* в условиях города и в зоне условного контроля, %

Пигменты	Вид	Город	Ботанический сад
Хл. <i>a</i>	<i>A. campestre</i>	12	22
	<i>A. negundo</i>	30	18
	<i>A. pseudoplatanus</i>	17	12
	<i>A. platanoides</i>	23	20
	<i>A. saccharinum</i>	12	34
Хл. <i>b</i>	<i>A. campestre</i>	37	50
	<i>A. negundo</i>	46	43
	<i>A. pseudoplatanus</i>	36	27
	<i>A. platanoides</i>	43	24
	<i>A. saccharinum</i>	38	53
Каротиноиды	<i>A. campestre</i>	7	23
	<i>A. negundo</i>	46	17
	<i>A. pseudoplatanus</i>	20	23
	<i>A. platanoides</i>	2	7
	<i>A. saccharinum</i>	5	13
Хл. <i>a</i> +Хл. <i>b</i>	<i>A. campestre</i>	19	30
	<i>A. negundo</i>	35	24
	<i>A. pseudoplatanus</i>	23	16
	<i>A. platanoides</i>	30	2
	<i>A. saccharinum</i>	19	39

По варьированию содержания каротиноидов в условиях города между *A. campestre*, *A. platanoides*, *A. saccharinum* с одной стороны и *A. negundo* – с другой наблюдалась существенная разница. С учетом того, что содержание каротиноидов является показателем реакции растений на внешний стресс, полученные результаты косвенно подтверждают наличие у представителей рода *Acer* активной и пассивной стратегии приспособления к условиям урбанизированной среды. Активная стратегия приспособления - у *A. negundo*. *A. negundo* активнее реагируют на изменение внешних факторов, чем *A. campestre*, *A. platanoides*, *A. saccharinum*.

Для характеристики функционального состояния фотосинтетического аппарата растений, кроме количественного содержания пигментов, информативными считаются показатели соотношения зеленых пигментов Хл *a*/Хл *b* [9].

Соотношение хлорофиллов *a* и *b* у всех пяти видов клена в ЗУК и зоне техногенного стресса варьировало от 2,2 до 3,08 (Таблица 2). Различия

между соотношениями этих двух хлорофиллов у *A. campestre*, *A. negundo*, *A. pseudoplatanus*, *A. platanoides*, и *A. saccharinum* статистически не значимы. Среди интродуцированных видов у *A. negundo* в городе отмечен наименьший коэффициент вариации ($V=18\%$), что указывает на его достаточную адаптивность.

Таблица 2.

Относительные показатели содержания фотосинтетических пигментов кленов в условиях города и в зоне условного контроля (среднее за годы исследования)

Вид	Город				Ботанический сад			
	Хл. a/ Хл. b	V, %	Схлор./ Скар	V, %	Хл. a/ Хл. b	V, %	Схлор./ Скар	V, %
<i>A. campestre</i>	2,4±1,5	25	8,7±1,3	25	2,92±2,8	39	7,61±1,63	19
<i>A. negundo</i>	2,53±1,12	18	10,1±1,59	10	3,08±2,72	36	7,47±1,53	8
<i>A. pseudoplatanus</i>	2,26±1,29	23	10±1,15	21	2,47±1,33	22	7,96±1,38	12
<i>A. platanoides</i>	2,2±1,54	28	10,28±1,33	29	2,23±0,32	6	7,11±1,65	15
<i>A. saccharinum</i>	2,69±2,44	37	7,03±1,63	15	2,94±1,76	24	4,06±1,61	26
<i>HCP_{0,05}</i>	1,97		1,13		2,41		1,18	

Отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам (Схлор./Скар.) играет не менее важную роль при характеристике работы фотосинтетического аппарата. Соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам указывает на степень адаптации растений к неблагоприятным условиям. Нами установлено, что это соотношение очень чутко реагировало на воздействие техногенного стресса ($V = 10...25\%$). У интродуцированных кленов в городе соотношение Схлор./Скар. варьировало от 7,03 до 10,28. *A. campestre* и *A. saccharinum* отличались от *A. negundo*, *A. pseudoplatanus* и *A. platanoides* по показателю отношения суммы хлорофиллов к каротиноидам. Доля каротиноидов по отношению к хлорофиллам у *A. campestre* и *A. saccharinum* достоверно выше (8,7±1,3 и 7,03±1,63 соответственно), что предполагает их устойчивость к факторам среды.

Заключение

Таким образом, содержание основных фотосинтетических пигментов в листьях изученных видов рода *Ace*: *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*, *A. negundo*, *A. campestre* является видовым признаком и интегральным показателем адаптации к изменяющимся условиям внешней среды.

Выявлено, что урбанизированная среда оказывает влияние на концентрацию пигментов в листьях растений рода *Acer*. В условиях города у

всех исследуемых видов отмечалось существенное увеличение содержание хлорофиллов *a* и *b* по сравнению с ЗУК.

Установлено, что в условиях городской среды суммарное содержание зеленых пигментов в 1,1-2,2 раза выше по сравнению с контролем. У *A. campestre* и *A. platanoides* содержание хлорофиллов в городе было в 1,2 раза выше, чем в контроле (Ботанический сад), у *A. negundo* – в 1,6, у *A. pseudoplatanus* – в 1,3, у *A. saccharinum* – в 2,2 раза.

A. negundo имел самый высокий коэффициент вариации содержания хлорофилла *a* ($V=30\%$) и каротиноидов ($V=46\%$) в городе, что предполагает пластичность данного вида. *A. negundo* активнее реагируют на изменение внешних факторов, чем *A. campestre*, *A. platanoides*, *A. saccharinum*.

По уровню вариабельности суммарного содержания зеленых пигментов, исследуемые виды расположились в следующем порядке: в зоне условного контроля - *A. platanoides* < *A. pseudoplatanus* < *A. negundo* < *A. campestre* < *A. saccharinum*; в городе - *A. saccharinum* и *A. campestre* < *A. pseudoplatanus* < *A. platanoides* < *A. negundo*.

Установлено, что соотношение суммы хлорофиллов к каротиноидам очень чутко реагировало на воздействие техногенного стресса (г. Майкоп). У интродуцированных кленов: *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum*, *A. negundo* в городе соотношение $S_{\text{хлор.}}/S_{\text{кар.}}$ варьировало от 7,03 до 10,28, что предполагает их устойчивость к факторам среды.

Результаты проведенных исследований позволяют предположить, что в условиях городской среды у исследуемых представителей рода *Acer* происходят перестройки в структуре пигментных комплексов – усиление синтеза хлорофиллов и каротиноидов.

Информация о конфликте интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках проекта, финансирование которого осуществляется за счет гранта ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет».

Список литературы

1. Акиншина Н.Г., Азизов А.А., Карасева Т.А. и др. Коэффициент фотосинтетической эффективности растений для оценки качества городской среды // Вестник Мордовского университета. 2008. Т.18. № 2. С. 17-24.
2. Бухарина И.Л., Поварничина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде. Ижевск, 2007. 216 с.

3. Доклад об экологической ситуации в Республики Адыгея за 2021: официальный сайт исполнительных органов государственной власти. <http://www.adygheya.ru> (дата обращения 15.11.2022)
4. Заплатин Б.П. Биотестирование атмосферных загрязнений по содержанию хлорофилла и активности полифенолоксидазы // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. 2008. №14. С. 82-87.
5. Кузнецов Р.В., Осипова Е.А., Помогайбин Е.А. Особенности сезонной динамики фотосинтетических пигментов в листьях некоторых древесных интродуцентов в лесостепи среднего Поволжья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т.11. № 1-4. С. 715-718.
6. Кузнецова А.С., Сотникова Е.В. Биоиндикационные показатели стабильности развития листовой пластинки *Populus tremula* в условиях воздействия транспортных потоков // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2016. №3. С. 45-51.
7. 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. <https://doi.org/10.37279/2413-1725-2020-6-2-108-118>
8. Кутузова О.Г. Якушевская Е.Б. Зависимость содержания хлорофилла в листьях *Ulmus pumila* L. от концентрации тяжелых металлов // Известия Уфимского научного центра РАН. 2013. № 3. С. 118-120.
9. Ладыгин В.Г., Ширишкова Г.Н. Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот // Журнал общей биологии. 2006. Т.67. С. 163-189.
10. Максимова Е.В., Косицына А.А., Макурина О.Н. Влияние антропогенных факторов химической природы на некоторые эколого-биохимические характеристики растений // Вестник СамГУ. Естественные науки. 2007. №8(58). С. 146-152.
11. Мамаев С.А. Закономерности внутривидовой изменчивости семейства *Pinaceae* на Урале: Автореф. дис. ...д-ра биол. наук. Свердловск, 1970. 58 с.
12. Мокроносков А.Т., Гавриленко В.Ф. Фотосинтез: физиолого-экологические и биохимические аспекты. М.: Изд-во МГУ, 1992. 319 с.
13. Неверова О.А. Экологическая оценка состояния древесных растений и загрязнения окружающей среды промышленного города: Автореф. дис. ...д-ра биол. наук. М., 2004. 36 с.

14. Сарсацкая А.С. Содержание фотосинтетических пигментов у древесных пород городских насаждений // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2017. № 4(4). С. 9-14. <https://doi.org/10.21603/2542-2448-2017-4-9-14>
15. Скочилова Е.А., Закамская Е.С. Влияние городской среды на содержание хлорофилла и аскорбиновой кислоты в листьях *Tilia cordata* (Tiliaceae) // Растительные ресурсы. 2013. Т.49. №4. С. 541-547.
16. Соколова Г.Г., Богатова В.А. Динамика содержания хлорофиллов в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающей в парках города Барнаула // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2019. №18. С. 531-534. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2019112>
17. Оскорбина М.В., Коротаева Н.Е., Суворова Г.Г. Адаптивные особенности динамики содержания хлорофилла в хвое *Pinus sylvestris* и *Picea obovata* в условиях вегетации юга восточной Сибири // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2020. Т. 12. №5, С. 113-127. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-113-127>
18. Тужилкина В. В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение // Экология. 2009. № 4. С. 243-248
19. Чернявская И. В., Домрачева Н. А., Толстикова Т. Н. Влияние городской среды на концентрацию фотосинтетических пигментов и интенсивность фотосинтеза растений рода *Acer* L. // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2021. № 1(276). С. 26-32.
20. Шлык А. А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев. В кн.: Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971. С. 154–170.
21. Яшин Д.А., Зайцев Г.А. Содержание пигментов фотосинтеза в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях Уфимского промышленного центра // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т.17. №6. С. 274-277.
22. Brian D. Kloeppe, Marc D. Abrams Ecophysiological attributes of the native *Acer saccharum* and the exotic *Acer platanoides* in urban oak forests in Pennsylvania, USA // Tree Physiology, 1995, vol.15, issue 11, pp.739–746. <https://doi.org/10.1093/treephys/15.11.739>
23. Jeffrey R. Foster Photosynthesis and water relations of the floodplain tree, boxelder (*Acer negundo* L.) // Tree Physiology, 1992, vol.11, issue 2, pp. 133–149. <https://doi.org/10.1093/treephys/11.2.133>

24. Joshi P.C., Abhishek S. Air pollution induced changes in the photosynthetic pigments of selected plant species // *Journal of Environmental Biology*, 2009, no. 30(2), pp. 295-298.
25. Thomas M. Cate, T. D. Perkins Chlorophyll content monitoring in sugar maple (*Acer saccharum*) // *Tree Physiology*, 2003, vol.23, issue 15, pp. 1077–1079. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.15.1077>
26. Uhrin P., Supuka J., Billiková M. Growth adaptability of Norway maple (*Acer platanoides* L.) to urban environment // *Folia Oecologica*, 2018, vol. 45(1), pp. 33-45. <https://doi.org/10.2478/foecol-2018-0004>

References

1. Akinshina N.G., Azizov A.A., Karaseva T.A., Kloze E. *Vestnik Mordovskogo universiteta* [Mordovia University Bulletin], 2008, vol. 18, no. 2, pp. 17-24.
2. Bukharina I.L., Povarnitsina T.M., Vedernikov K.E. *Ekologo-biologicheskie osobennosti drevesnykh rasteniy v urbanizirovannoy srede* [Ecological and biological features of woody plants in an urbanized environment]. Izhevsk, 2007, 216 p.
3. *Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Respublike Adygeya za 2021: ofitsial'nyy sayt ispolnitel'nykh organov gosudarstvennoy vlasti* [Report on the environmental situation in the Republic of Adygea for 2021: official website of the executive authorities]. <http://www.adygheya.ru>
4. Zaplatin B.P. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G. Belinskogo* [University proceedings. Volga region], 2008, no. 14, pp. 82-87.
5. Kuznetsov R.V., Osipova E.A., Pomogaybin E.A. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2009, vol.11. no. 1-4, pp. 715-718.
6. Kuznetsova A.S., Sotnikova E.V. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [RUDN Journal of Ecology and Life Safety], 2016, no. 3, pp. 45-51.
7. Kunina V.A., Belous O.G. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya* [Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry], 2020. vol. 6(72), no. 2, pp. 108-118. <https://doi.org/10.37279/2413-1725-2020-6-2-108-118>
8. Kutuzova O.G. Yakushevskaya E.B. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN* [Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Science], 2013, no. 3, pp. 118-120.
9. Ladygin V.G., Shirshikova G.N. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of General Biology], 2006, vol. 67, pp. 163-189.

10. Maksimova E.V., Kositsyna AA., Makurina O.N. *Vestnik SamGU. Estestvennyye nauki* [Vestnik of Samara University. Natural Science Series], 2007, no. 8(58), pp. 146-152.
11. Mamaev S.A. *Zakonomernosti vnutrividovoy izmenchivosti semeystva Pinaceae na Urale: Avtoref. dis. ...d-ra biol. nauk* [Intraspecific variability of the family Pinaceae na Urale: abstract of thesis on competition of a scientific degree of Doctor of Biological Sciences]. Sverdlovsk, 1970, 58 p.
12. Mokronosov A.T., Gavrilenko V.F. *Fotosintez: fiziologo-ekologicheskie i biokhimicheskie aspekty* [Photosynthesis: physiological, ecological and biochemical aspects]. Moscow: Moscow university press, 1992, 319 p.
13. Neverova O.A. *Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya drevesnykh rasteniy i zagryazneniya okruzhayushchey sredy promyshlennogo goroda: Avtoref. dis. ...d-ra biol. nauk* [Ecological assessment of the state of woody plants and environmental pollution of an industrial city: abstract of thesis on competition of a scientific degree of Doctor of Biological Sciences]. M., 2004, 36 p.
14. Sarsatskaya A.S. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologicheskie, tekhnicheskie nauki i nauki o Zemle* [Bulletin of Kemerovo State University. Series: Biological, Engineering and Earth Sciences], 2017. no. 4(4), pp. 9-14. <https://doi.org/10.21603/2542-2448-2017-4-9-14>
15. Skochilova E.A., Zakamskaya E.S. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources], 2013, vol. 49, no. 4, pp. 541-547.
16. Sokolova G.G., Bogatova V.A. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii* [Problems of Botany of South Siberia and Mongolia], 2019, no. 18, pp. 531-534. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2019112>
17. Oskorbina M.V., Korotaeva N.E., Suvorova G.G. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 5, pp. 113-127. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-113-127>
18. Tuzhilkina V. V. *Ekologiya* [Ecology], 2009, no. 4, pp. 243-248
19. Chernyavskaya I. V., Domracheva N. A., Tolstikova T. N. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki*. [The Bulletin of the Adyghe State University, the series "Natural-Mathematical and Technical Sciences"], 2021, no. 1(276), pp. 275-282.
20. Shlyk A. A. *Opreделение khlorofilla i karotinoidov v ekstraktakh zelenykh list'ev* [Determination of chlorophylls and carotenoids in green leaf extracts] *Biohimicheskie metody v fiziologii rastenij* [Biochemical methods in plant physiology]. Moscow: Nauka, 1971, 226 p.
21. Yashin D.A., Zaytsev G.A. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2015, vol. 17, no. 6, pp. 274-277.

22. Brian D. Kloeppe, Marc D. Abrams *Tree Physiology*, 1995, vol. 15, issue 11, pp.739–746, <https://doi.org/10.1093/treephys/15.11.739>
23. Jeffrey R. Foster *Tree Physiology*, 1992, vol.11, issue 2, pp. 133–149. <https://doi.org/10.1093/treephys/11.2.133>
24. Joshi P.C., Abhishek S. *Journal of Environmental Biology*, 2009, no. 30(2), pp. 295-298.
25. Thomas M. Cate, T. D. Perkins *Tree Physiology*, 2003, vol.23, issue 15, pp. 1077–1079. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.15.1077>
26. Uhrin P., Supuka J., Billiková M. *Folia Oecologica*, 2018, vol. 45(1), pp. 33-45. <https://doi.org/10.2478/foecol-2018-0004>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Чернявская Ирина Владимировна, доцент кафедры ботаники, канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Адыгейский государственный университет»
ул. Первомайская, 208, г. Майкоп, 385000, Российская Федерация
chernyav.iv@mail.ru

Еднич Евгения Михайловна, ст. преподаватель кафедры физиологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Адыгейский государственный университет»
ул. Первомайская, 208, г. Майкоп, 385000, Российская Федерация
ednich@mail.ru

Толстикова, Татьяна Николаевна, директор ботанического сада
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Адыгейский государственный университет»
ул. Первомайская, 208, г. Майкоп, 385000, Российская Федерация
tekedaherb@inbox.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Irina V. Chernyavskaya, Associate Professor, Department of Botany, Cand. Sc. (Biology)
Adyghe State University
208, Pervomaiskaya, Str., Maikop, 385000, Russian Federation

chernyav.iv@mail.ru
SPIN-code: 7089-7875
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5175-9883>
ResearcherID: HDM-3615-2022

Evgenia M. Ednich, Senior instructor, Department of Physiology

Adyghe State University
208, Pervomaiskaya, Str., Maikop, 385000, Russian Federation
ednich@mail.ru
SPIN-code: 3774-5641
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9425-309X>

Tatyana N. Tolstikova, Director of the Botanical Garden

Adyghe State University
208, Pervomaiskaya, Str., Maikop, 385000, Russian Federation
mekedaerb@inbox.ru
SPIN-code: 1967-8632
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7086-407X>

Поступила 31.01.2023

После рецензирования 05.03.2023

Принята 15.03.2023

Received 31.01.2023

Revised 05.03.2023

Accepted 15.03.2023