

УДК 574.24

СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ НАБЕРЕЖНЫХ ЧЕЛНОВ

© 2021 г. И. Л. Бухарина^а, *, И. И. Гибадулина^б

^аУдмуртский государственный университет, ул. Университетская, 1, Ижевск, 426034 Россия

^бКазанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Казанская, 89, Елабуга, 423600 Россия

*E-mail: buharin@udmlink.ru

Поступила в редакцию 24.10.2017 г.

После доработки 16.03.2019 г.

Принята к публикации 06.06.2020 г.

В статье приведены результаты изучения содержания и динамики фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов) и морфологических показателей листьев липы мелколистной в разных экологических типах городских насаждений, а также в связи с микроклиматическими особенностями локальных мест произрастания растений. Исследования проведены в г. Набережные Челны – одном из ведущих центров машиностроения России, где градообразующим предприятием является ПАО «Камский автомобильный завод». Липа мелколистная широко используется в озеленении города. Результаты исследований показали, что абиотические (микроклиматические) условия локальных мест произрастания в городских насаждениях могут оказывать существенное влияние на процессы синтеза фотосинтетических пигментов у липы мелколистной и, как следствие, формирование устойчивости растений в городской среде. Но в городских посадках в условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки отличий в содержании обеих форм хлорофилла и каротиноидов в листьях липы мелколистной в связи с локальными микроклиматическими условиями мест произрастания не установлено, в отличие от парковых и защитных насаждений. Показатель площади поверхности листовой пластинки имел достоверные различия, с учетом локальных условий мест произрастания, за исключением магистральных посадок, испытывающих наибольшую техногенную нагрузку. Скорее всего, в условиях техногенного стресса роль микроклиматических условий не так значительно проявляется по сравнению с влиянием загрязняющих веществ при синтезе фотосинтетических пигментов и процессах роста листа.

Ключевые слова: фотосинтетические пигменты, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды, толщина листа, липа мелколистная, санитарно-защитная зона промышленных предприятий, магистральные посадки, микроклиматические локальные условия, места произрастания.

DOI: 10.31857/S0024114820060029

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях является одним из параметров оценки функционального состояния древесных растений. Большое число публикаций посвящено вопросу влияния абиотических (Оскорбина и др., 2010; Воскресенская и др., 2014; Загирова, 2014; Малина и др., 2015), биотических (Golani et al., 2015; Bukharina et al., 2016) и антропогенных факторов (Бикмуллин и др., 2009; Васильева, Зайцев, 2010; Степень, Есякова, 2010; Цандекова, Неверова, 2010; Chauhan, 2010; Бухарина и др., 2012; Глібовицька, 2014; Bukharina et al., 2014; Овечкина, Шаяхметова, 2015; Яшин, Зайцев, 2015; Bukharina et al., 2015; Maiti et al., 2016; Shariat et al., 2016) окружающей среды на содержание хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов в ассимиляционном аппарате хвойных и лиственных пород деревьев.

Известно, что в условиях техногенной среды содержание фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и *b*) в листьях древесных и травянистых растений снижается, а содержание каротиноидов, наоборот, увеличивается (Сейдафаров, 2008; Чупахина и др., 2012; Bukharina et al., 2014; Ростунов, Кончина, 2016). Следует отметить, что в содержании фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений имеется определенная разница по годам при изменении температур и влажности воздуха: в засушливый год содержание каротиноидов к концу вегетационного периода возрастает, в год с достаточным увлажнением – снижается (Малина и др., 2015). При изучении влияния загрязнений на динамику содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений исследователи, как правило, не учитывают

абиотические (микrokлиматические) особенности условий локальных мест произрастания, связанных, например, со строением подстилающей поверхности, в частности, с особенностями микрорельефа местности и т.д. Однако большая роль в способности преодолевать физиологический стресс и повышенную загазованность отводится микrokлиматическим и эдафическим факторам среды (Хвостова и др., 2008). В связи с вышеизложенным целью настоящей работы состояла в изучении связи абиотических (микrokлиматических) условий локальных мест произрастания и содержания фотосинтетических пигментов в листьях липы мелколистной в условиях техногенной среды (на примере г. Набережные Челны).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

В течение вегетационного периода (июнь – август) изучена динамика содержания хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в листьях липы мелколистной, произрастающей в насаждениях различных категорий г. Набережные Челны (парковые насаждения, посадки санитарно-защитных зон (СЗЗ) промышленных предприятий, магистральные посадки). Исследования проводили по общепринятым методикам изучения лесных насаждений (Сукачев, 1966). В изучаемых районах регулярным способом заложили по 2 пробные площади (пр. пл.) в каждом типе насаждений (размером не менее 0,25 га в зависимости от площади и конфигурации типа насаждения). При закладке пробных площадей выбирали места, максимально различающиеся строением подстилающей поверхности, характером и степенью увлажнения почв, относительными и абсолютными высотами, формами и элементами рельефа, особенностями микрорельефа. Изучение микrokлимата пробных площадей проводили при теплой (не ниже среднемесячных показателей температуры воздуха для данной местности) ясной и тихой (0–1 балла по шкале Бофорта) погоде, так как в подобных условиях отмечаются наиболее резкие различия в микrokлиматах вследствие наиболее сильного влияния строения подстилающей поверхности и ее радиационных характеристик (Гудрий и др., 1993). Наблюдения за температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением проводили на высоте 1,5 м над поверхностью земли, в связи с доступностью для непосредственных отсчетов и расположением на данной высоте листьев нижней формации. Наблюдения проводили согласно общепринятой методике в дневные часы около полудня (12–13 ч) (Сапожникова, 1950). Температуру почвы измеряли на ее поверхности в трехкратной повторности в период наименьших изменений температуры, т.е. при минимальных (6–7 ч) и максимальных (16–17 ч) значениях. Среднюю суточную температуру при указанных

сроках наблюдений вычисляли как среднюю арифметическую этих двух значений.

В пределах пробных площадей методом конверта провели отбор почвенных проб (Методические ..., 1999) и анализ агрохимических свойств почвы (Практикум ..., 1987).

Для анализа содержания фотосинтетических пигментов в листьях липы мелколистной отобраны учетные особи средневозрастного генеративного и хорошего (или удовлетворительного) жизненного состояния. Пробы срединных (ассимилирующих) листьев на годичных побегах брали с помощью секатора на шесте со средней части кроны одиноко стоящих деревьев с южной стороны (световые листья). Трижды в течение вегетации (июнь, июль, август) определяли содержание хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов, используя спектрофотометрический метод (Гавриленко и др., 1975). Измерения проводили на спектрофотометре ПЭ-5400УФ (Россия, ООО “Экохим”) в 100%-й ацетоновой вытяжке при максимумах поглощения, составляющих 662 и 644 нм для хлорофилла *a* и *b* соответственно, и 440,5 нм – для каротиноидов. Для определения содержания каротиноидов в суммарной вытяжке пигментов использовали формулу Веттштейна:

$$C_a \left(\frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) = 9.784 D_{662} - 0.990 D_{644}, \quad (1)$$

$$C_b \left(\frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) = 21.426 D_{644} - 4.650 D_{662}, \quad (2)$$

$$C_{a+b} \left(\frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) = 5.134 D_{662} + 20.436 D_{644}, \quad (3)$$

$$C_{car} \left(\frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) = 4.695 D_{440.5} - 0.268 C_{a+b} \left(\frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right), \quad (4)$$

где C_a , C_b , C_{car} – концентрация хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов соответственно (мг/л); D_{662} , D_{644} , $D_{440.5}$ – оптическая плотность вытяжки при 662, 644 и 440,5 нм (максимумы поглощения хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов соответственно).

С целью пересчета содержания пигментов на массу сухого вещества определяли влажность листьев липы мелколистной.

Сбор образцов (со всех учетных особей в утренние часы) и анализы содержания фотосинтетических пигментов проводили в один день.

Площадь листовой поверхности определяли контурно-весовым методом (Федорова, Никольская, 2001), толщину листовой пластины с помощью окуляр-микрометра на стереоскопическом микроскопе МБС-10 (Борзенкова, Храмцова, 2006). Для анализа использовали не менее 50 листьев с каждой пробной площади.

Математическую обработку материалов провели с применением статистического пакета “Sta-

tistica 10". Для интерпретации полученных материалов использовали дисперсионный многофакторный анализ (при последующей оценке различий методом множественного сравнения LSD-test).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Набережные Челны – один из ведущих центров машиностроения России. Основным градообразующим предприятием является ПАО “Камский автомобильный завод”. Уровень загрязнения атмосферы в городе меняется по годам и характеризуется от “высокого” до “низкого” (2011–2013 гг. – “высокий”, 2014 г. – “повышенный”, 2015–2017 гг. – “низкий”). Отмечается превышение уровня ПДК по формальдегиду (в 2015 г. – в 1.3 раза), диоксиду азота, фенолу, аммиаку (Государственный ..., 2016).

Видовой состав и патологические признаки древесных растений на исследуемой территории были проанализированы в более ранних работах авторов (Гибадулина и др., 2014; Бухарина, Гибадулина, 2015; Prokhorov et al., 2016).

В качестве зоны условного контроля выбрана территория национального парка “Нижняя Кама” (Челнинское лесничество, в 10 км севернее границы г. Набережные Челны). Агрохимический анализ показал, что почва в парке имеет слабощелочную реакцию ($pH_{KCl} = 7.2$), среднее содержание органического вещества (5.3%), повышенное содержание подвижного фосфора (115.4 мг кг⁻¹), высокое содержание обменного калия (210 мг кг⁻¹) и нитратных форм азота (405 мг кг⁻¹), низкое содержание аммонийных форм азота (8.3 мг кг⁻¹). Влажность почвы составляет 33.0%, плотность – 1.18 г см⁻³.

Насаждения С33 промышленных предприятий расположены на территории Кузнечного завода ПАО “КамАЗ”. Почва в насаждениях имеет слабокислую реакцию ($pH_{KCl} = 6.7$), среднее содержание органического вещества (5.5%), очень высокое содержание подвижного фосфора (326 мг кг⁻¹), высокое содержание обменного калия – (245 мг кг⁻¹) и нитратных форм азота (247 мг кг⁻¹), а содержание аммонийных форм азота – низкое (14.9 мг кг⁻¹), влажность почвы составляет 14.3%, плотность – 1.22 г см⁻³.

В качестве магистральных посадок выбраны насаждения вдоль проспекта Х. Туфана и Автодороги № 1 в г. Набережные Челны. Почвы в этих насаждениях имеют слабощелочную реакцию ($pH_{KCl} = 7.4$), низкое содержание органического вещества (4.12%), повышенное содержание подвижного фосфора (144.5 мг кг⁻¹), высокое содержание обменного калия (503 мг кг⁻¹) и нитратных форм азота (247 мг кг⁻¹), низкое содержание ам-

монийных форм азота (14.9 мг кг⁻¹). Почва имела влажность 13.7% и плотность 1.29 г см⁻³.

В течение вегетационного периода была изучена динамика содержания хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в листьях липы мелколистной. Результаты обработаны методами многофакторного дисперсионного анализа.

Анализ результатов выявил существенность влияния условий места произрастания ($P = 9.99 \times 10^{-16}$), сроков вегетации ($P = 5.13 \times 10^{-4}$), а также их взаимодействия ($P \leq 3.07 \times 10^{-2}$) на содержание хлорофилла *a* в листьях липы мелколистной.

Выявлены особенности динамики содержания данного пигмента в разных типах насаждений. В зоне условного контроля содержание хлорофилла *a* в листьях к концу сезона достоверно увеличивается (0.82 мг г⁻¹ сух. вещества при $P = 2.04 \times 10^{-2}$) по сравнению с июнем (0.76 мг г⁻¹ сух. вещества). В насаждениях С33 промышленных предприятий и примагистральных посадок, наоборот, наблюдается достоверное снижение содержания пигмента к окончанию периода активной вегетации (на 0.14 мг г⁻¹ сух. вещества при $P < 0.05$). При этом следует отметить, что в условиях магистральных посадок достоверное снижение содержания хлорофилла *a* обнаруживается уже в июле.

Для оценки особенностей влияния на фотосинтетический аппарат липы мелколистной не только уровня загрязнения, но и в связи с микроклиматическими условиями локальных мест произрастания растений, в каждой категории насаждений были выделены по две пробные площади (пр. пл. 1 и 2), отличающиеся строением подстилающей поверхности, и, следовательно, параметрами микроклимата (температура воздуха и почвы, влажность воздуха).

Параметры микроклиматических условий произрастания липы мелколистной в насаждениях зоны условного контроля представлены на рис. 1а: на пр. пл. 1 отмечаются относительно более высокие показатели температуры воздуха и почвы, а также более низкая относительная влажность воздуха, по сравнению с пр. пл. 2. Анализ результатов показал, что в содержании хлорофилла *a* в листьях липы мелколистной на пробных площадях с разными микроклиматическими условиями (контрольные насаждения) в июне достоверно значимых отличий не наблюдается, а в июле в условиях пр. пл. 1 (на 0.06 мг г⁻¹ сух. вещества) и августе (на 0.19 мг г⁻¹ сух. вещества) содержание хлорофилла *a* в листьях достоверно выше по сравнению с пр. пл. 2 (наименьшая статистическая разница значений при $P < 0.05$ (НСР₀₅) = 0.04 мг г⁻¹ сух. вещества) (табл. 1).

Параметры микроклиматических условий произрастания липы мелколистной в насаждениях С33 промышленных предприятий представлены

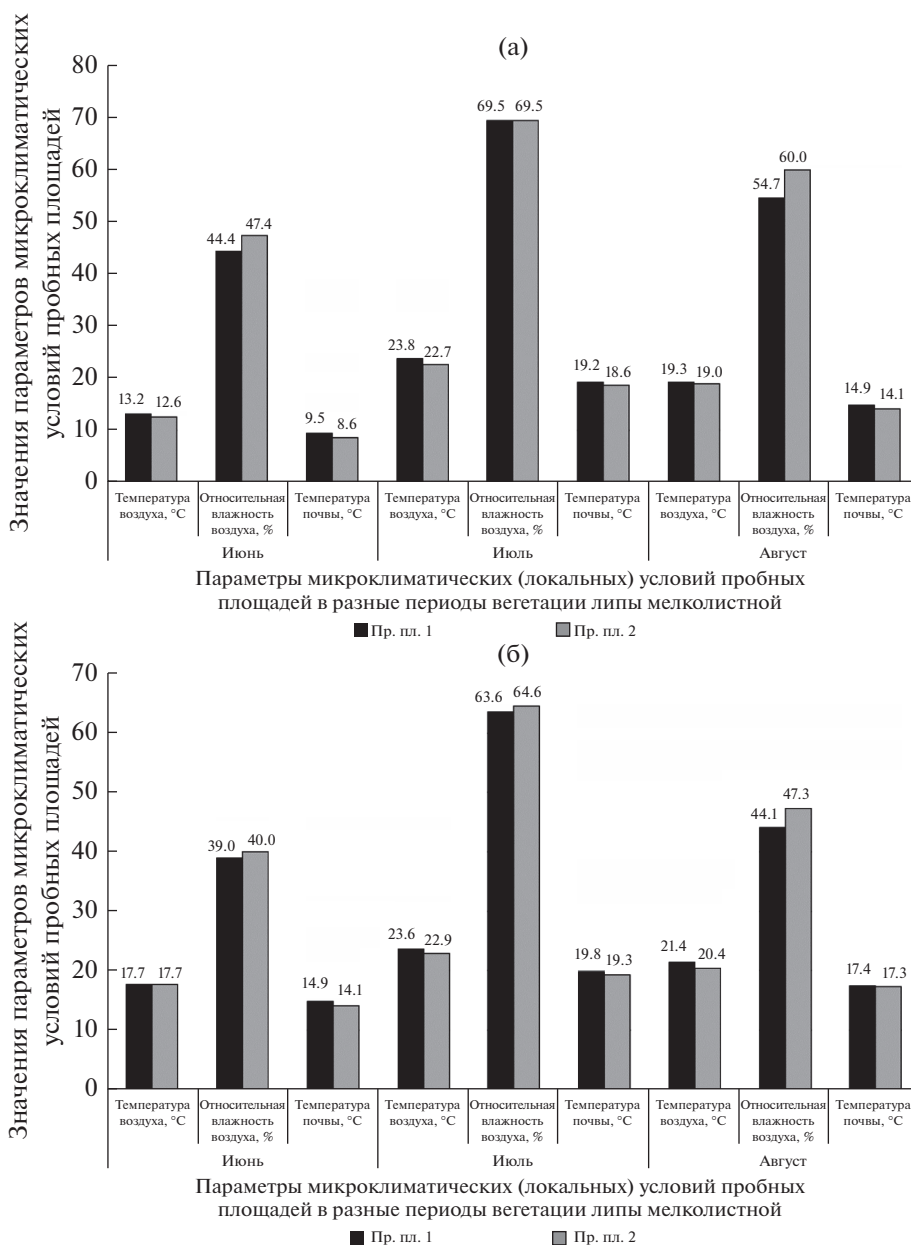


Рис. 1. Микроклиматические (локальные) условия (а – парковые насаждения (зона условного контроля), б – насаждения СЗЗ промышленных предприятий, в – магистральные посадки) пробных площадей (1 – пр. пл. 1, 2 – пр. пл. 2) в разных типах насаждений г. Набережные Челны.

на рис. 1б: пр. пл. 1 характеризуется более высокими показателями температуры воздуха и почвы, а также более низкими показателями влажность воздуха по сравнению с пр. пл. 2. В этих насаждениях в начале активной вегетации особи, произрастающие на разных пробных площадях, аналогично контрольным насаждениям, не имели достоверно значимой разницы по содержанию хлорофилла *a*. Однако в июле и августе значение показателя в условиях пр. пл. 1 было достоверно ниже, чем на пр. пл. 2 (соответственно на 0.11 и 0.08 при $НСР_{05} = 0.04$ мг г⁻¹ сух. вещества). Отме-

чены и особенности динамики показателя. На пр. пл. 1 отмечено достоверное снижение содержания пигмента (в июле – на 0.05, в августе – на 0.17 мг г⁻¹ сух. вещества при $НСР_{05} = 0.04$ в сравнение с июнем), тогда как на пр. пл. 2 в июле содержание пигмента достоверно не изменялось, и снижение показателя отмечено лишь в августе (на 0.11 мг г⁻¹ сух. вещества) (табл. 1).

Таким образом, в условиях насаждений СЗЗ промышленных предприятий относительно более низкие показатели температуры воздуха и

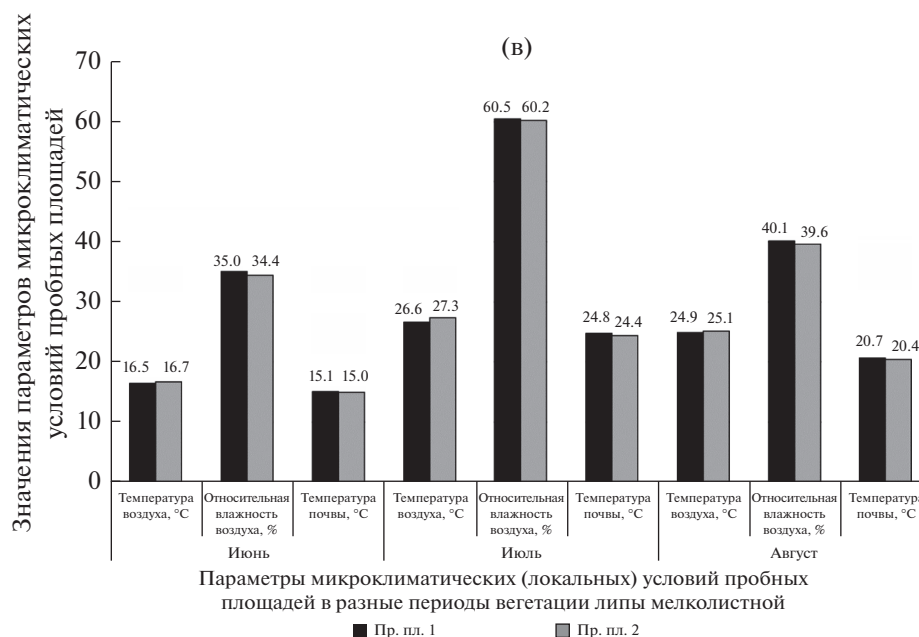


Рис. 1. Окончание

почвы, а также повышенная относительная влажность воздуха оказались благоприятны для липы мелколистной и способствовали большей устойчивости растений к действию загрязняющих веществ.

В примагистральных посадках на пр. пл. 1 (расположена ниже уровня дорожного полотна на Автодороге № 1) отмечены более высокие показатели влажности воздуха и температуры почвы, а температура воздуха имела более низкие значения по сравнению с пр. пл. 2 (ул. Х. Туфана) (рис. 1в). В условиях примагистральных посадок не выявлено статистически значимых различий в содержании хлорофилла *a* у особей, произраста-

ющих на разных пробных площадях, ни в один из сроков наблюдений. Хотя в течение активной вегетации растений отмечалось снижение содержания пигмента в листьях (табл. 1): в июле — на 0.10 и 0.11 мг г⁻¹ сух. вещества, в августе — на 0.13 и 0.14 мг г⁻¹ сух. вещества (при НСР₀₅ = 0.04) в сравнение с июнем (на пр. пл. 1 (0.69 мг г⁻¹ сух. вещества) и пр. пл. 2 (0.68 мг г⁻¹ сух. вещества) соответственно). Таким образом, нами не установлено отличий в содержании хлорофилла *a* в связи с локальными микроклиматическими особенностями мест произрастания растений в условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки крупнейших магистралей города.

Таблица 1. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях липы мелколистной, произрастающей в насаждениях г. Набережные Челны*

Категория насаждений	Пробная площадь	Фотосинтетические пигменты								
		хлорофилл <i>a</i>			хлорофилл <i>b</i>			каротиноиды		
		июнь	июль	август	июнь	июль	август	июнь	июль	август
Парковые насаждения (зона условного контроля)	1	0.76	0.80	0.92 **	0.29	0.28	0.24**	0.23	0.22	0.23
	2	0.75	0.74***	0.73	0.29	0.24**	0.26**	0.23	0.21	0.20**
Насаждения санитарно-защитной зоны промышленных предприятий	1	0.61	0.56**	0.44 **	0.22	0.25**	0.20	0.19	0.16**	0.14**
	2	0.63	0.67	0.52 **	0.25	0.31**	0.21**	0.22	0.22	0.15**
Магистральные посадки	1	0.69	0.58**	0.56 **	0.25	0.26	0.23	0.21	0.17**	0.16**
	2	0.68	0.58**	0.54 **	0.24	0.26	0.25	0.21	0.17**	0.17**
НСР ₀₅				0.04			0.02			0.02

Примечание. * В мг г⁻¹ сух. вещества. ** Достоверные различия в июле, августе по сравнению с июнем. *** Жирным шрифтом выделены достоверные различия в насаждениях по сравнению с пр. пл. 1.

Дисперсионный многофакторный анализ полученных результатов выявил существенность влияния условий места произрастания ($P = 4.68 \times 10^{-6}$), микроклиматических условий пробных площадей ($P = 3.13 \times 10^{-2}$), сроков вегетации ($P = 5.91 \times 10^{-8}$), а также их взаимодействия ($P \leq 1.74 \times 10^{-3}$) на содержание хлорофилла *b* в листьях липы мелколистной.

У липы мелколистной в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий по сравнению с зоной условного контроля содержание хлорофилла *b* достоверно ниже в июне (на 0.06 мг г^{-1} сух. вещества, при $P = 2.04 \times 10^{-7}$) и в августе (на 0.04 мг г^{-1} сух. вещества, при $P = 1.45 \times 10^{-6}$), но достоверно выше в июле (на 0.02 мг г^{-1} сух. вещества, при $P = 4.48 \times 10^{-2}$). В магистральных посадках достоверные различия в содержании хлорофилла *b* по сравнению с насаждениями зоны условного контроля отмечаются лишь в июне (ниже на 0.04 мг г^{-1} сух. вещества, при $P = 1.6 \times 10^{-5}$).

Динамика хлорофилла *b* в листьях липы мелколистной в разных категориях насаждений в течение вегетационного сезона имела особенности (табл. 1): в условиях зоны условного контроля наблюдалось достоверное снижение содержания хлорофилла *b* в листьях (с 0.29 до 0.25 мг г^{-1} сух. вещества при $P = 1.49 \times 10^{-4}$), в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий содержание пигмента в середине сезона вегетации достоверно повышалось (на 0.02 при $P = 3.74 \times 10^{-6}$), затем снижалось (на 0.02 при $P = 9.48 \times 10^{-4}$), а в магистральных посадках достоверно значимых различий в содержании хлорофилла *b* в течение вегетационного сезона не выявлено.

При анализе результатов с учетом локальных условий произрастания растений отмечено, что в насаждениях зоны условного контроля различия между пр. пл. 1 и 2 отмечены лишь в июле: на пр. пл. 2 отмечалось более низкое содержание хлорофилла *b* (на 0.04 мг г^{-1} сух. вещества, при $\text{НСР}_{05} = 0.02$). Выявлены достоверные отличия и в динамике показателя. В условиях пр. пл. 1 отмечалось снижение содержания хлорофилла *b* (в сравнении с июнем – на 0.05 мг г^{-1} сух. вещества, при $\text{НСР}_{05} = 0.02 \text{ мг г}^{-1}$ сух. вещества). В условиях пр. пл. 2 отмечалось снижение содержания пигмента в июле, а в августе – его повышение.

В насаждениях СЗЗ промышленных предприятий достоверно более высокие показатели содержания хлорофилла *b* в листьях выявлены в условиях пр. пл. 2 в июне и в июле (соответственно на 0.03 и 0.06 мг г^{-1} сух. вещества, при $\text{НСР}_{05} = 0.02$) по сравнению с пр. пл. 1. Следует отметить, что в условиях обеих пробных площадей динамика содержания пигментов была схожа: коли-

чество хлорофилла *b* к июлю существенно повышается, а затем снижается.

В магистральных посадках выявить существенные отличия по данному показателю у особей, произрастающих на разных пробных площадях, ни в один из сроков наблюдений не удалось.

Таким образом, не установлено отличий в содержании обеих форм хлорофилла в связи с локальными микроклиматическими особенностями мест произрастания растений в условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки крупнейших магистралей города.

Дисперсионный многофакторный анализ результатов выявил существенность влияния условий места произрастания ($P = 1.11 \times 10^{-16}$), микроклиматических локальных условий пробных площадей ($P = 2.05 \times 10^{-3}$), сроков вегетации ($P = 3.76 \times 10^{-14}$), их взаимодействия ($P \leq 1.59 \times 10^{-2}$) на содержание каротиноидов в листьях липы мелколистной.

В насаждениях зоны условного контроля во все сроки наблюдений отмечалось более высокое содержание каротиноидов. В защитных насаждениях в условиях интенсивных техногенных нагрузок показатели содержания пигмента были существенно ниже в течение всего периода наблюдений. Скорее всего, это было связано с антиоксидантными свойствами каротиноидов в листьях растений и расходом данного пигмента на нейтрализацию негативного влияния загрязняющих веществ атмосферного воздуха. Наименьшие показатели были характерны для растений в магистральных посадках.

Исследование динамики содержания каротиноидов показало, что в насаждениях зоны условного контроля в течение вегетационного периода оно существенно не меняется, а в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий и в магистральных посадках, наоборот, существенно снижается. В июле, когда отмечается максимум негативного влияния антропогенных и метеорологических условий, содержание каротиноидов в листьях липы мелколистной соответствует ряду: примаргистральные насаждения < насаждения СЗЗ промышленных предприятий < насаждения зоны условного контроля.

При анализе содержания каротиноидов в листьях липы в связи с различием локальных условий мест произрастания отмечено следующее. В парковых насаждениях различия показателя у особей на пр. пл. 1 и 2 были установлены лишь в августе, когда содержание каротиноидов оказалось достоверно выше у липы в условиях пр. пл. 1. Динамика показателя в течение вегетации на обеих пробных площадях была следующей: на пр. пл. 1 статистически значимых различий не отмечалось, значения показателя варьировали в пределах 0.22 – 0.23 мг г^{-1} сух. вещества. У растений на

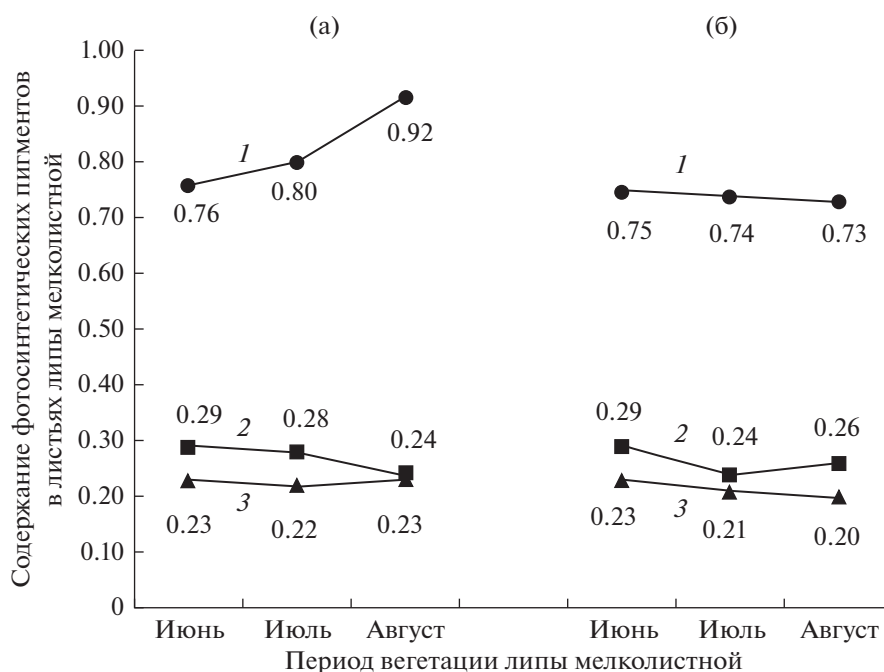


Рис. 2. Динамика содержания фотосинтетических пигментов в листьях липы мелколистной, произрастающей в парковых насаждениях (а – пр. пл. 1, б – пр. пл. 2), с учетом локальных условий мест произрастания (г. Набережные Челны). 1 – содержание хлорофилла *a*, мг г⁻¹ сух. вещества, 2 – содержание хлорофилла *b*, мг г⁻¹ сух. вещества, 3 – содержание каротиноидов, мг г⁻¹ сух. вещества.

пр. пл. 2, наоборот, наблюдалось снижение содержания пигмента в июле на 0.02 мг г⁻¹ сух. вещества и в августе – на 0.03 мг г⁻¹ сух. вещества (при НСР₀₅ = 0.02 мг г⁻¹ сух. вещества) (табл. 1).

В насаждениях СЗЗ промышленных предприятий на пр. пл. 2 в условиях с более низкими показателями температуры почвы и воздуха и высокой относительной влажности воздуха отмечались существенно более высокие показатели содержания пигмента, чем на пр. пл. 1: в начале вегетации – на 0.03 мг г⁻¹ сух. вещества, в середине периода вегетации – на 0.06 (при НСР₀₅ = 0.02 мг г⁻¹ сух. вещества). В августе достоверной разницы в содержании каротиноидов на разных пробных площадях уже не установлено. В условиях обеих пробных площадей отмечается схожая динамика содержания пигмента: к концу вегетационного периода оно постепенно снижается по сравнению с июнем (на пр. пл. 1 – на 0.05, на пр. пл. 2 – на 0.07 мг г⁻¹ сух. вещества при НСР₀₅ = 0.01 мг г⁻¹ сух. вещества).

В магистральных посадках статистически достоверных различий между содержанием пигмента по датам наблюдения не выявлено (табл. 1). На обеих пробных площадях динамика содержания каротиноидов в листьях в течение периода наблюдений была схожей: достоверное снижение показателя в июле, и далее показатель оставался стабильным.

Таким образом, не установлено отличий в содержании обеих форм хлорофилла и каротиноидов в связи с локальными микроклиматическими условиями мест произрастания растений в условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки крупнейших магистралей города.

Сравнительный анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях липы мелколистной позволил выявить особенности реакции растений на различные микроклиматические условия локальных мест произрастания в каждом типе насаждений.

В парковых насаждениях в условиях относительно повышенных показателей температуры почвы и воздуха, более низкой относительной влажности воздуха у липы мелколистной в течение вегетации отмечалось постепенное увеличение содержания хлорофилла *a* на фоне снижения содержания хлорофилла *b*, при этом содержание каротиноидов не изменялось (рис. 2). А в условиях относительно пониженных показателей температуры почвы и воздуха, более высокой относительной влажности воздуха содержание хлорофилла *a* оставалось стабильным, но на фоне снижения концентрации хлорофилла *b* и каротиноидов в июле и незначительного повышения в августе.

В насаждениях СЗЗ промышленных предприятий в условиях относительно повышенных показателей температуры почвы и воздуха, более

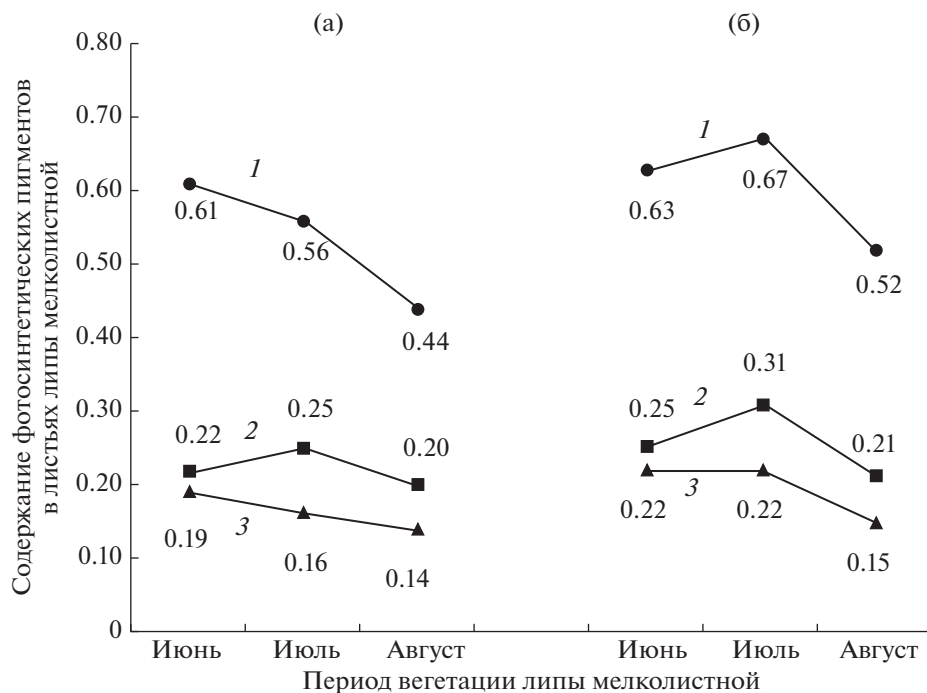


Рис. 3. Динамика содержания фотосинтетических пигментов в листьях липы мелколистной, произрастающей в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий (а – пр. пл. 1, б – пр. пл. 2), с учетом локальных условий мест произрастания (г. Набережные Челны). 1 – содержание хлорофилла *a*, мг г⁻¹ сух. вещества, 2 – содержание хлорофилла *b*, мг г⁻¹ сух. вещества, 3 – содержание каротиноидов, мг г⁻¹ сух. вещества.

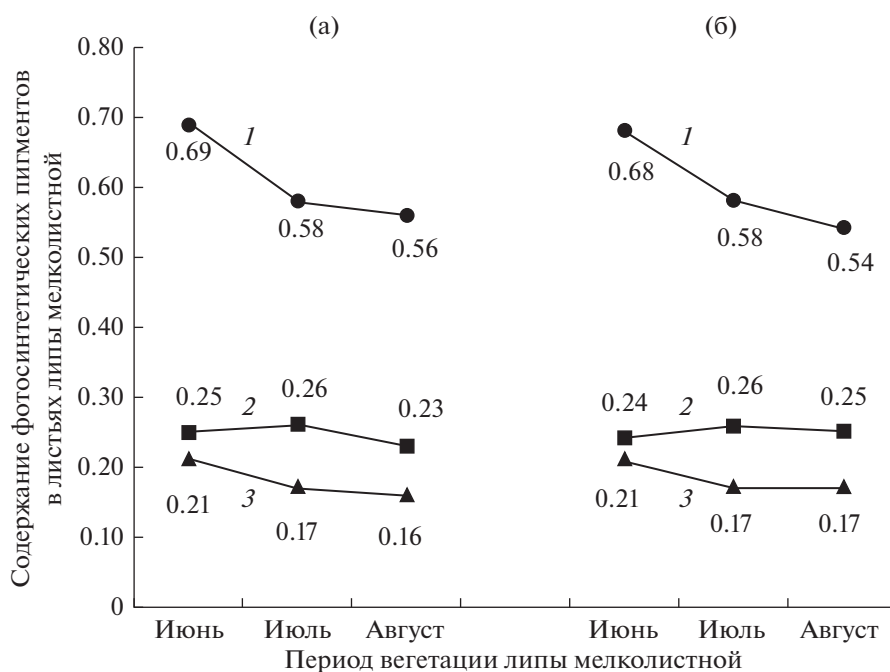


Рис. 4. Динамика содержания фотосинтетических пигментов в листьях липы мелколистной, произрастающей в магистральных посадках (а – пр. пл. 1, б – пр. пл. 2), с учетом локальных условий мест произрастания (г. Набережные Челны). 1 – содержание хлорофилла *a*, мг г⁻¹ сух. вещества, 2 – содержание хлорофилла *b*, мг г⁻¹ сух. вещества, 3 – содержание каротиноидов, мг г⁻¹ сух. вещества.

Таблица 2. Морфологические параметры листа липы мелколистной в разных типах насаждений (г. Набережные Челны)

Категория насаждений	Пробная площадь	Морфологический признак			
		толщина листовой пластинки, мкм		площадь листовой пластинки, см ²	
		с учетом пробной площади	средние данные по типу насаждений	с учетом пробной площади	средние данные по типу насаждений
Парковые насаждения (зона условного контроля)	1	145.8	146.5	36.7	37.3
	2	147.2		38.1**	
Насаждения санитарно-защитной зоны промышленных предприятий	1	181.3	178.5*	32.3	31.4*
	2	175.8		30.4**	
Магистральные посадки	1	166.2	170.1*	31.3	31.8*
	2	174.1		32.2	
НСР ₀₅		10.5	11.6	2.49	4.89

Примечание. * Достоверные различия в насаждениях по сравнению с зоной условного контроля. ** Достоверные различия в насаждениях по сравнению с пр. пл. 1.

низкой относительной влажности воздуха отмечается существенное снижение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов (уже начиная с июля) на фоне достоверного повышения содержания хлорофилла *b* в июле и снижения его содержания в августе (рис. 3). В условиях относительно пониженных показателей температуры почвы и воздуха, повышенной влажности воздуха наблюдалось снижение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов на фоне достоверного повышения содержания хлорофилла *b* в июле и его снижения в августе.

В примагистральных посадках на пробных площадях, отличающихся по микроклиматическим условиям мест произрастания липы, достоверных различий в содержании фотосинтетических пигментов не выявлено (рис. 4). На обеих пробных площадях отмечено достоверное снижение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов в листьях липы в течение вегетации, в то время как содержание хлорофилла *b* статистически достоверно не изменялось. Аналогичные результаты были получены Л.М. Павловой с соавт. (2010) в г. Благовещенске для листовых пород деревьев (березы плосколистной, ильма мелколистного, тополя Симони) в условиях кольцевой развязки магистралей.

В каждом типе насаждений были определены морфометрические параметры листа липы мелколистной (площадь поверхности листовой пластинки и толщина листовой пластинки) (табл. 2). Результаты показали, что в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий и в магистральных посадках наблюдаются существенные изменения параметров по сравнению с особями парковых насаждений: уменьшение площади поверхности листовой пластинки и увеличение толщины листовой пластинки. Также эти параметры были

проанализированы с учетом локальных условий мест произрастания растений. Выявить существенные отличия между особями на разных пробных площадях в пределах каждого из изучаемых типов насаждений по показателю толщины листовой пластинки не удалось, а по показателю площади поверхности листовой пластинки, аналогично показателям содержания фотосинтетических пигментов, различия с учетом локальных условий мест произрастания были достоверны, за исключением магистральных посадок, т.е. условий наибольшей техногенной нагрузки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Абиотические (микроклиматические) условия локальных мест произрастания в городских насаждениях могут оказывать существенное влияние на процессы синтеза фотосинтетических пигментов у древесных растений и, как следствие, на формирование устойчивости липы мелколистной в городских насаждениях. Но в условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки отличий в содержании обеих форм хлорофилла и каротиноидов в листьях липы мелколистной в связи с локальными микроклиматическими особенностями мест произрастания не установлено.

В насаждениях СЗЗ промышленных предприятий и в магистральных посадках наблюдаются существенные изменения морфологии листа по сравнению с особями парковых насаждений: уменьшение площади листовой поверхности и увеличение толщины листовой пластинки. Выявить существенные отличия между особями с учетом локальных условий мест произрастания в пределах каждого из изучаемых типов насаждений по показателю толщины листовой пластинки

не удалось. По показателю площади поверхности листовой пластинки, аналогично показателям содержания фотосинтетических пигментов, различия с учетом локальных условий мест произрастания были достоверны, за исключением магистральных посадок, т.е. в условиях наибольшей техногенной нагрузки.

Скорее всего, в процессах синтеза фотосинтетических пигментов, росте листа роль микроклиматических локальных условий мест произрастания проявляется не столь значительно по сравнению с влиянием загрязняющих веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бикмуллин Р.Х., Ямалеев Р.Х., Кулагин А.А. Определение содержания пигментов фотосинтеза в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth) и хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях аэротехногенного загрязнения окружающей среды (на примере Казанского промышленного центра Республики Татарстан) // Аграрная Россия. Специальный выпуск. 2009. С. 114–115.
- Борзенкова Р.А., Храмова Е.В. Определение мезоструктурных характеристик фотосинтетического аппарата растений: Руководство к лабораторным занятиям большого спецпрактикума по физиологии и биохимии растений. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2006. 26 с.
- Бухарина И.Л., Гибадулина И.И. Патологические признаки *Tilia cordata* Mill. и *Betula pendula* L. в насаждениях специального назначения г. Набережные Челны Республики Татарстан [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/128-22668> (дата обращения: 28.01.2009).
- Бухарина И.Л., Журавлева А.Н., Большова О.Г. Городские насаждения: экологический аспект. – Ижевск: Изд-во Удмуртского университета, 2012. 206 с.
- Васильева К.А., Зайцев Г.А. Содержание пигментов в листьях клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения // Антропогенная трансформация природной среды: Матер. междунар. конф. Пермь, 18–21 октября 2010 г. Пермь, 2010. Т. 3. С. 47–52.
- Воскресенская О.Л., Воскресенский В.С., Сарбаева Е.В., Ягдарова О.Ф. Влияние ультрафиолетовой радиации и параметров микроклимата на содержание пигментов в листьях березы повислой, произрастающей в условиях города // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о земле. 2014. Вып. 3. С. 39–45.
- Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1975. 392 с.
- Гибадулина И.И., Лукьянова Ю.А., Гафиятуллина Э.А. Антропогенная трансформация флоры пригородного леса на примере Боровецкого леса Челнинского лесничества Республики Татарстан // Современные исследования социальных проблем. 2014. № 8(40). С. 62–69.
- Глібовицька Н.І. Вплив антропогенного забруднення довкілля на вміст пластидних пігментів у листках липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2014. Вип. 65. С. 197–201.
- Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2015 г. Казань: Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, 2016. 505 с.
- Загирова С.В. Структура, содержание пигментов и фотосинтез хвои лиственницы сибирской на Северном и Приполярном Урале // Лесоведение. 2014. № 3. С. 3–10.
- Малина Р.Б., Шишкану Г.В., Титова Н.В. Морфо-физиологическая адаптация листьев персика сорта Коллинс к стрессовым факторам природного характера // Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде: материалы Всерос. науч. конф. Иркутск, 10–13 июня 2013 г. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2015. С. 147–149.
- Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами / Сост. В.А. Большаков и др. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1999. 31 с.
- Овечкина Е.С., Шаяхметова Р.И. Влияние антропогенных факторов на содержание пигментов сосны обыкновенной в летне-зимний период на территории Нижневартовского района // Известия Самарского НЦ РАН. Серия: Лесные ресурсы. 2015. Т. 17. № 6. С. 236–241.
- Оскорбина М.В., Суворова Г.Г., Копытова Л.Д., Осолков В.А., Янькова Л.С. Влияние климатических условий на динамику зеленых пигментов и фотосинтетическую продуктивность хвойных // Вестник КрасГАУ. 2010. № 4. С. 25–30.
- Павлова Л.М., Котельникова И.М., Куимова Н.Г., Лесусова Н.Ю., Шумилова Л.П. Состояние фотосинтетических пигментов в вегетативных органах древесных растений в городской среде // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2010. № 2. С. 11–19.
- Практикум по агрохимии / Сост. Б.А. Ягодин и др. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
- Ростунов А.А., Кончина Т.А. Влияние техногенных загрязнений на физиологические показатели листьев древесных растений на примере г. Арзамаса // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2016. Т. 15. С. 68–79.
- Сапожникова С.А. Микроклимат и местный климат. Л.: Гидрометеиздат, 1950. 242 с.
- Сейдафаров Р.А. Эколого-биологические особенности липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в условиях техногенного загрязнения (на примере Уфимского промышленного центра): Автореф. дис. ... канд. биол. наук (03.00.16). Уфа, 2008. 24 с.
- Степень Р.А., Есякова О.А. Влияние аэрогенного загрязнения на пигментную систему ассимиляционного аппарата ели сибирской // Лесной журн. 2010. № 1. С. 43–47.
- Сукачѳ В.Н., Раунер Ю.Л., Молчанов А.А., Роде А.А. Программа и методика биогеоэкологических исследований. М.: Наука, 1966. 332 с.
- Тудрий В.Д., Хайруллин Р.Р., Переведенцев Ю.П., Яцык В.С. Исследование микроклиматов ландшафта: Учеб. по-

собию. Казань: Изд-во Казанского университета, 1993. 98 с.

Фёдорова А.И., Никольская А.Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды. М.: ВЛАДОС, 2001. 288 с.

Хвостова А.В., Федяев А.Л., Лобанова О.А. Влияние микроклиматических, эдафических факторов на состояние сосняков кустарничково-сфагновых в условиях антропогенного воздействия // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные и точные науки. 2008. № 2. С. 52–57.

Цандекова О.Л., Неверова О.А. Влияние выбросов автотранспорта на пигментный комплекс листьев древесных растений // Известия Самарского НЦ РАН. Серия: Биологические ресурсы: флора. 2010. Т. 2. № 1(3). С. 853–856.

Чухаина Г.Н., Масленников П.В., Скрытник Л.Н., Бессережнова М.И. Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 2(18). С. 171–185.

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 НЦ РАН. Серия: Лесные ресурсы. 2015. Т. 17. № 6. С. 274–277.

Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Pashkova A.S. Morphophysiological Traits of Spruce Trees in Conditions of Izhevsk // Contemporary Problems of Ecology. 2016. V. 9. № 7. P. 853–862.

Bukharina I.L., Sharifullina A.M., Kuzmin P.A., Zakharchenko N.V., Gibadulina I.I. The impact of man-made environment on the ecological and biological characteristics of drooping birch // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. V. 12. № 2. P. 1813–1820.

Bukharina I.L., Zhuravleva A.N., Dvoeglazova A.A., Kama sheva A.A., Sharifullina A.M., Kuzmin P.A. Physiological and biochemical characteristic features of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) in urban environment // Research Journal of Pharmaceutical, Biological & Chemical Sciences. 2014. V. 5. № 5. P. 1544–1548.

Chauhan A. Photosynthetic pigment changes in some selected trees induced by automobile exhaust in Dehradun, Uttarakhand // New York Science J. 2010. № 3(2). P. 45–51.

Golan K., Rubinowska K., Kmieć K., Kot I., Górka-Drabik E., Łagowska B., Michałek W. Impact of scale insect infestation on the content of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence in two host plant species // Arthropod-Plant Interactions. 2015. № 9. P. 55–65.

Maiti R., Rodriguez H.G., Sarkar N.C., Kumari A. Biodiversity in leaf chemistry (pigments, epicuticular wax and leaf nutrients) in woody plant species in North-eastern Mexico, a Synthesis // Forest Research: Open Access. 2016. V. 5. № 2. <https://doi.org/10.4172/2168-9776.1000170>

Prokhorov V.E., Lukyanova Y.A., Gibadulina I.I., Zakharchenko N.V. Current state of flora of the Lower Kama National Park Evidence from the Borovetsky Forest (Russia) // Research J. Pharmaceutical, Biological & Chemical Sciences. 2016. № 7(4). P. 2345–2351.

Shariat A., Assareh M.H. Physiological and Biochemical Responses of Eight Eucalyptus Species to Salinity Stress // Ecopersia. 2016. № 4(1). P. 1269–1282.

The Content of the Photosynthetic Pigments in the Small-Leaved Linden Leaves in Urban Environment of the Naberezhnye Chelny City

I. L. Bukharina^{1,*} and I. I. Gibadulina²

¹Udmurt State University, Universitetskaya st., 1, Izhevsk, 426034 Russia

²Kazan Federal University, Kazanskaya st., 89, Yelabuga, 423600 Russia

*E-mail: buharin@udmlink.ru

This paper presents the results of the study of the photosynthetic pigments (chlorophyll *a* and *b*, carotenoids), as well as the morphological properties of the small-leaved linden leaves in different ecological types of the urban stands and in relation to microclimatic conditions of the different growth locations. The study was conducted in Naberezhnye Chelny city – one of the leading machine-building centres of Russia, with a city-forming enterprise being PJSC “Kamaz”. Small-leaved linden was widely used for the city’s greenery planting. The results of the study suggest that abiotic (microclimatic) conditions of the growth locations within the urban stands can significantly affect the photosynthetic pigments forming of a small-leaved linden, and as a result the formation of the plants’ resistance to urban environment. However, no differences were found in the contents of carotenoids and chlorophyll of both types in the trees growing in different microclimatic conditions, unlike the park and protective stands. The laminar area was significantly different in different local growth conditions, with an exception of the highway stands, withstanding the most intense technogenic pressure. Most likely, under the conditions of technogenic stress the role of microclimatic conditions is less apparent compared to the pollutants impact in the processes of photosynthetic pigments synthesis and the leaf growth.

Keywords: photosynthetic pigments, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, carotenoids, leaf’s thickness, small-leaved linden, sanitary and protective zones around industrial enterprises, highway stands, microclimatic local conditions, growth locations.

REFERENCES

- Bikmullin R.K., Yamaleev R.K., Kulagin A.A., Opredelenie soderzhaniya pigmentov fotosinteza v list'yakh berezy povisloi (*Betula pendula* Roth) i khvoe sosny obyknovnoy (*Pinus sylvestris* L.) v usloviyakh aerotekhnogennoy zagryazneniya okruzhayushchei sredy (na primere Kazanskogo promyshlennogo tsentra Respubliki Tatarstan) (Determination of the content of photosynthetic pigments in the leaves of silver birch (*Betula pendula* Roth) and needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under conditions of airborne industrial pollution (case study of the Kazan industrial center of the Republic of Tatarstan)), *Agrarnaya Rossiya*, 2009, No. S2, pp. 114–115.
- Bol'shakov V.A., Vodyanitskii Y.N., Borisochkina T.I., Kakhnovich Z.N., Myasnikov V.V., *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke zagryaznenosti gorodskikh pochv i snezhnogo pokrova tyazhelymi metallami* (Methodological recommendations for assessing pollution of urban soils and snow cover with heavy metals), Moscow: Pochvennyi institut im. V.V. Dokuchaeva, 1999, 31 p.
- Borzenkova R.A., Khrantsova E.V., *Opredelenie mezostrukturnykh kharakteristik fotosinteticheskogo apparata rastenii: Rukovodstvo k laboratornym zanyatiyam bol'shogo spetspraktikuma po fiziologii i biokhimiye rastenii* (Determination of mesostructural characteristics of the photosynthetic apparatus of plants: A practical guide to laboratory studies of a large special workshop on plant physiology and biochemistry), Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo universiteta, 2006, 26 p.
- Bukharina I.L., Gibadulina I.I., Patologicheskie priznaki *Tilia cordata* Mill. i *Betula pendula* L. v nasazhdeniyakh spetsial'nogo naznacheniya g. Naberezhnye Chelny Respubliki Tatarstan (Pathological features of *Tilia cordata* Mill. and *Betula pendula* L. in tree planting for special purposes, Naberezhnye Chelny, Tatarstan), *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, No. 5, available at: <http://www.science-education.ru/128-22668> (January 28, 2019).
- Bukharina I.L., Sharifullina A.M., Kuzmin P.A., Zakharchenko N.V., Gibadulina I.I., The impact of man-made environment on the ecological and biological characteristics of drooping birch, *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 2015, Vol. 12, No. 2, pp. 1813–1820.
- Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Pashkova A.S., Morphophysiological Traits of Spruce Trees in Conditions of Izhevsk, *Contemporary Problems of Ecology*, 2016, Vol. 9, No. 7, pp. 853–862.
- Bukharina I.L., Zhuravleva A.N., Bolyshova O.G., *Gorodskie nasazhdeniya: ekologicheskii aspekt* (Urban plantations: environmental aspects), Izhevsk: Izd-vo UdGU, 2012, 204 p.
- Bukharina I.L., Zhuravleva A.N., Dvoeglazova A.A., Kamasheva A.A., Sharifullina A.M., Kuzmin P.A., Physiological and biochemical characteristic features of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) in urban environment, *Research Journal of Pharmaceutical, Biological & Chemical Sciences*, 2014, Vol. 5, No. 5, pp. 1544–1548.
- Chauhan A., Photosynthetic pigment changes in some selected trees induced by automobile exhaust in Dehradun, Uttarakhand, *New York Science Journal*, 2010, No. 3(2), pp. 45–51.
- Chupakhina G.N., Maslennikov P.V., Skrypnik L.N., Besserezhnova M.I., Reaktsiya pigmentnoi i antioksidantnoi sistem rastenii na zagryaznenie okruzhayushchei sredy g. Kaliningrada vybrosami avtotransporta (Reaction of pigmental and antioxidant systems of plant on environmental pollution of Kaliningrad by motor transport emission), *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2012, No. 2(18), pp. 171–185.
- Fedorova A.I., Nikol'skaya A.N., *Praktikum po ekologii i okhrane okruzhayushchei sredy* (Practical course on ecology and environmental protection), Moscow: VLADOS, 2001, 288 p.
- Gavrilenko V.F., Ladygina M.E., Khandobina L.M., *Bol'shoi praktikum po fiziologii rastenii. Fotosintez. Dykhanie* (The greater practical course on plant physiology. Photosynthesis. Respiration), M.: Vyssh. shk., 1975, 392 p.
- Gibadulina I.I., Luk'yanova Y.A., Gafiyatullina E.A., Antropogennaya transformatsiya flory prigorodnogo lesa na primere Borovetskogo lesa Chelninskogo lesnichestva Respubliki Tatarstan (Anthropogenic transformation of flora of suburban forest. Borovetskiy forest of Chelny forestry of Tatarstan is taken as an example), *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem*, 2014, No. 8 (40), pp. 62–69.
- Glibovits'ka N.I., Vpliv antropogennoy zabrudneniya dovkillya na vmist plastidnykh pigmentiv u listkakh lipi sertselistoï (*Tilia cordata* Mill.) (Influence of anthropogenic pollution on the content of plastid pigments in the leaves of linden (*Tilia cordata* Mill.)), *Visnik Lviv'skogo universitetu. Seriya biologichna*, 2014, Vol. 65, pp. 197–201.
- Golan K., Rubinowska K., Kmieć K., Kot I., Górka-Drabik E., Łagowska B., Michałek W., Impact of scale insect infestation on the content of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence in two host plant species, *Arthropod-Plant Interactions*, 2015, No. 9, pp. 55–65.
- Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnikh resursov i ob okhrane okruzhayushchei sredy Respubliki Tatarstan v 2015 g.* (State report on the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2015), Kazan: Ministerstvo ekologii i prirodnikh resursov Respubliki Tatarstan, 2016, 505 p.
- Khvostova A.V., Fedyayev A.L., Lobanova O.A., Vliyanie mikroklimaticheskikh, edaficheskikh faktorov na sostoyanie sosnyakov kustarnichkovo-sfagnovykh v usloviyakh antropogennoy vozdeistviya (Influence of microclimatic, edaphic factors on the state of Pinetum sfagnosum associations under the conditions of anthropogenic impact), *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tochnye nauki*, 2008, No. 2, pp. 52–57.
- Maiti R., Rodriguez H.G., Sarkar N.C., Kumari A., Biodiversity in leaf chemistry (pigments, epicuticular wax and leaf nutrients) in woody plant species in North-eastern Mexico, a Synthesis, *Forest Research: Open Access*, 2016, Vol. 5, No. 2, doi 10.4172/2168-9776.1000170
- Malina R.B., Shishkanu G.V., Titova N.V., Morfo-fiziologicheskaya adaptatsiya list'ev persika sorta Kollins k stressovym faktoram prirodnogo kharaktera (Morphophysiological adaptation of Collins peach leaves to natural stress factors), *Faktory ustoychivosti rastenii v ekstremal'nykh prirodnikh usloviyakh i tekhnogennoi srede* (Factors of Plant Resistance in Extreme Natural Conditions and Man-made Environment), Proc. All-Russian Scientific Conference. Irkutsk, 10–13 June 2013, Irkutsk: SIFIBR SO RAN, 2013, pp. 147–149.
- Oskorbina M.V., Suvorova G.G., Kopytova L.D., Oskolkov V.A., Yan'kova L.S., Vliyanie klimaticheskikh usloviy na dinamiku zelenykh pigmentov i fotosinteticheskuyu produktivnost' khvoinykh (Climatic condition influence on the chlorophylls dynamics and coniferous photo-

- synthetic productivity), *Vestnik KrasGAU*, 2010, No. 4, pp. 25–30.
- Ovechkina E.S., Shayakhmetova R.I., Vliyanie antropogennykh faktorov na sodержanie pigmentov sosny obyknovЕННОЙ v letne-zimnii period na territorii Nizhnevartovskogo raiona (Influence of anthropogenic factors on the pigments content of scotch pine in summer-winter period on the territory of Nizhnevartovsk region), *Izvestiya Samarskogo NTs RAN. Seriya: Lesnye resursy*, 2015, Vol. 17, No. 6, pp. 236–241.
- Pavlova L.M., Kotel'nikova I.M., Kuimova N.G., Leusova N.Y., Shumilova L.P., Sostoyanie fotosinteticheskikh pigmentov v vegetativnykh organakh drevesnykh rastenii v gorodskoi srede (Photosynthetic pigments' condition in vegetative organs of woody plants in urban environment), *Vestnik RUDN. Seriya Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2010, No. 2, pp. 11–19.
- Prokhorov V.E., Lukyanova Y.A., Gibadulina I.I., Zakharchenko N.V., Current state of flora of the Lower Kama National Park Evidence from the Borovetsky Forest (Russia), *Research J. Pharmaceutical, Biological & Chemical Sciences*, 2016, No. 7(4), pp. 2345–2351.
- Rostunov A.A., Konchina T.A., Vliyanie tekhnogennykh zagryaznenii na fiziologicheskie pokazateli list'ev drevesnykh rastenii na primere g. Arzamasa (The effect of the technogenic pollution on the physiological indexes of leaves of woody plants in Arzamas city), *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya. Ekologiya*, 2016, Vol. 15, pp. 6879.
- Sapozhnikova S.A., *Mikroklimat i mestnyi klimat* (Microclimate and local climate), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1950, 242 p.
- Seidafarov R.A., *Ekologo-biologicheskie osobennosti lipy melkolistnoi (Tilia cordata Mill.) v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya (na primere Ufinskogo promyshlennogo tsentra)*. Avtoref. dis. kand. biol. nauk (Ecological and biological features of *Tilia cordata* Mill. in conditions of technogenic pollution (case study of the Ufa industrial center). Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Ufa, 2008, 24 p.
- Shariat A., Assareh M.H., Physiological and Biochemical Responses of Eight Eucalyptus Species to Salinity Stress, *Ecopersia*, 2016, No. 4(1), pp. 1269–1282.
- Stepen' R.A., Esyakova O.A., Vliyanie aerogennogo zagryazneniya na pigmentnyuyu sistemu assimilyatsionnogo aparata eli sibirskoi (Aerogenous pollution effect on pigment system of Siberian spruce assimilation apparatus), *Lesnoi zhurnal*, 2010, No. 1, pp. 43–47.
- Sukachev V.N., Dylis N.V., *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* (The program and technique of biogeocoenotical studies), Moscow: Nauka, 1966, 334 p.
- Tsandezkova O.L., Neverova O.A., Vliyanie vybrosov avtotransporta na pigmentnyi kompleks list'ev drevesnykh rastenii (Influence of vehicle emissions on the pigment complex of leaves of woody plants), *Izvestiya Samarskogo NTs RAN. Seriya: Biologicheskie resursy: flora*, 2010, Vol. 2, No. 1(3), pp. 853–856.
- Tudrii V.D., Khairullin R.R., Perevedentsev Y.P., Yatsyk V.S., *Issledovanie mikroklimatov landshafta* (Study of landscape microclimates), Kazan: Izd-vo Kazanskogo universiteta, 1993, 98 p.
- Vasil'eva K.A., Zaitsev G.A., Soderzhanie pigmentov v list'yakh klena ostrolistnogo (*Acer platanoides* L.) v usloviyakh zagryazneniya (Content of pigments in leaves of *Acer platanoides* L. under pollution), *Anthropogenic transformation of the natural environment*, Proc. International Conference, Perm, 18–21 October 2010, Vol. 3, pp. 47–52.
- Voskresenskaya O.L., Voskresenskii V.S., Sarbaeva E.V., Yagdarova O.F., Vliyanie ul'trafiol'etovoi radiatsii i parametrov mikroklimata na sodержanie pigmentov v list'yakh berezy povisloi, proizrastayushchei v usloviyakh goroda (Influence of ultraviolet radiation and microclimate parameters on the pigment count in leaves *Betula pendula* growing in urban conditions), *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya: Biologiya. Nauki o zemle*, 2014, Vol. 3, pp. 39–45.
- Yagodin B.A., *Praktikum po agrokhimii* (Practicum in agrochemistry), Moscow: Agropromizdat, 1987, 512 p.
- Yashin D.A., Zaitsev G.A., Soderzhanie pigmentov fotosinteza v list'yakh berezy povisloi (*Betula pendula* Roth) i duba chereschatogo (*Quercus robur* L.) v usloviyakh Ufinskogo promyshlennogo tsentra (The maintenance of photosynthesis pigments in leaves of european white birch (*Betula pendula* Roth) and english oak (*Quercus robur* L.) in the conditions of Ufa industrial center), *Izvestiya Samarskogo NTs RAN. Seriya: Lesnye resursy*, 2015, Vol. 17, No. 6, pp. 274–277.
- Zagirova S.V., Struktura, sodержanie pigmentov i fotosintez khvoi listvennitsy sibirskoi na Severnom i Pripolyarnom Urale (Structure, pigment content and photosynthesis of Siberian larch needles in Northern and Sub-Arctic Urals), *Lesovedenie*, 2014, No. 3, pp. 3–10.