



ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

http://ecobiotech-journal.ru



ИЗМЕНЕНИЕ МЕЗОСТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИСТА ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ Г. НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ)

Бухарина И.Л.^{*1}, Гибадулина И.И.²

¹ Удмуртский государственный университет, Ижевск (Россия)

² Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань (Россия)

*E-mail: buharin@udmlink.ru

В статье приведены результаты изучения мезоструктурных показателей листьев липы мелколистной в разных экологических типах городских насаждений. 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. В условиях городской среды у липы мелколистной происходят значимые изменения мезоструктуры листа, при этом по мере нарастания антропогенной нагрузки (в основном, при увеличении показателя ИЗА и содержания формальдегида) возрастают число клеток мезофилла и их линейные размеры.

Ключевые слова: столбчатый мезофилл, губчатый мезофилл, мезоструктура листа, санитарно-защитная зона промышленных предприятий, магистральные посадки

CHANGE IN THE MESOSTRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE LEAF OF SMALL- LEAVED LINDEN UNDER CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION (ON THE EXAMPLE OF NABEREZHNYE CHELNY)

Bukharina I.L.^{*1}, Gibadulina I.I.²

¹ Udmurt State University, Izhevsk (Russia)

² Kazan (Volga region) Federal University,
Kazan (Russia)

*E-mail: buharin@udmlink.ru

The article presents the results of a research of the mesostructural indicators of small-leaved linden leaves in different ecological types of urban plantations. The research was carried out in Naberezhnye Chelny, one of the leading centers of machine building in Russia, where the township-forming enterprise is PJSC “Kama Automobile Plant”. Small-leaved linden is widely used in landscaping of the city. Under the urban environment small-leaved linden exhibits significant increases in anthropogenic load (mainly, with an increase in the API value and formaldehyde content), the number of mesophyll cells and their linear sizes increase.

Keywords: palisade mesophyll, spongy mesophyll, mesostructure of the leaf, sanitary protection zone of industrial enterprises, main establishment

Поступила в редакцию: 30.04.2020

DOI: 10.31163/2618-964X-2020-3-3-401-411

ВВЕДЕНИЕ

Условия произрастания растений в естественной и техногенной среде оказывают существенное влияние на формирование анатомической структуры листьев, в том числе на развитие ассимиляционной ткани древесных [Маргайлик, 1964; Дегтярева, 2003; Убаева, 2004; Кудряшова, Мушинская, 2005; Майдебур, 2006; Егорова, Кулагин, 2007; Корчагин, Заплетин, 2009; Уразгильдин, 2009; Мигалина, 2011; Волошина, Белявская, 2012; Рамазанова, 2012; Вернигора, Бурундукова, 2015; Курницкая, 2001] и травянистых растений [Головацкая, 1992; Чукина, Борисова и др., 2009; Бурковская, 2011; Харина, Кирсанова, 2011; Цуцупа, Ступакова, 2013; Бутенкова, Беляева, 2014; Зверева, 2014; Левчук, Максимчук и др., 2014; Немерешина, Гусев и др., 2014; Чукина, Лукина и др., 2017]. Широкое распространение получили работы, посвященные изучению влияния экологических условий

места произрастания растений на соотношение толщины столбчатого и губчатого мезофилла, пространственной структуры клеток мезофилла, площади поверхности и объема клеток мезофилла на поперечных срезах листовой пластинки. Крайне редки публикации, посвященные изучению анатомических особенностей строения мезофилла листа методом мацерации тканей, например, подсчету числа клеток ассимиляционной ткани в единице площади [Мокронос, 1978; Бурковская, 2011; Мигалина, 2011; Вернигора, Бурундукова, 2015].

В связи с вышеизложенным цель настоящей работы состояла в изучении мезоструктурных характеристик листьев липы мелколистной в условиях техногенной среды (на примере г. Набережные Челны).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В течение вегетационного периода (июнь – август) изучены мезоструктурные параметры листьев 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).

Отбор проб листьев проводили в июне, июле и августе с модельных деревьев среднеговозрастного генеративного состояния и хорошего (или удовлетворительного) жизненного состояния [Чистякова, 1979; Чистякова и др., 1989]. Для проведения исследований пробы срединных (ассимилирующих) листьев на годичных побегах брали со средней и нижней части (исключая нижние ветви) кроны древесных растений южной экспозиции с помощью секатора на шесте (световые листья).

Для определения числа клеток фотосинтезирующих тканей в единице площади листа и их объема отбирали усредненные пробы равномерно по всей поверхности закончивших рост листьев (из средней части листа по обе стороны от центральной жилки трубчатым сверлом с известной площадью). Фиксацию образцов осуществляли 70 %-м этанолом.

Определение числа и размеров клеток проводили на суспензиях клеток [Чупахина, 2000; Гавриленко, 2003], полученных авторским способом мацерации тканей листа липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. [Пат. №2601813]. Для подсчета числа клеток использовали камеры Горяева [Мокронос, 1978; Борзенкова, Храмцова, 2006].

Для измерения размеров клеток палисадного и губчатого мезофилла использовали снимки, полученные при помощи цифровой камеры для микроскопа. Пересчет полученных показаний (в микрометры) осуществляли с помощью объект-микрометра.

Математическую обработку материалов провели с применением статистического пакета «Statistica 10». Для интерпретации полученных материалов использовали методы описательной статистики, дисперсионный многофакторный (по перекрестно-иерархической схеме, при последующей оценке различий методом множественного сравнения LSD-test) и корреляционный анализы.

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; Гибадулина, 2017а, 2017б; Prokhorov et al., 2016].

Дисперсионный многофакторный анализ полученных результатов выявил существенность влияния условий места произрастания (категории насаждений) ($P = 1,02 \cdot 10^{-7}$), сроков вегетации ($P = 3,65 \cdot 10^{-5}$), их взаимодействия ($P = 8 \cdot 10^{-9}$) на показатель числа клеток ассимиляционной ткани в единице площади поверхности листа липы мелколистной.

Показатель числа клеток мезофилла в единице площади поверхности листа в июне в насаждениях ЗУК и СЗЗ промышленного предприятия достоверных различий не имел, а в магистральных посадках число клеток мезофилла было ниже на 45 тыс. клеток/см² (при $P = 2,58 \cdot 10^{-2}$) по сравнению с насаждениями ЗУК (520 тыс. клеток/см²) (Рис. 1). В июле и августе в насаждениях СЗЗ промышленного предприятия и магистральных посадках число клеток мезофилла в единице площади поверхности листа достоверно выше по сравнению с насаждениями ЗУК: в насаждениях СЗЗ промышленного предприятия – на 104 тыс. клеток/см² (при $P = 6,65 \cdot 10^{-6}$) и 112 тыс. клеток/см² (при $P = 1,81 \cdot 10^{-6}$) (в июле и в августе соответственно), в примастральных посадках – на 84 тыс. клеток/см² (при $P = 1,28 \cdot 10^{-4}$) и 193 тыс. клеток/см² (при $P = 1,14 \cdot 10^{-11}$) (в июле и в августе соответственно).

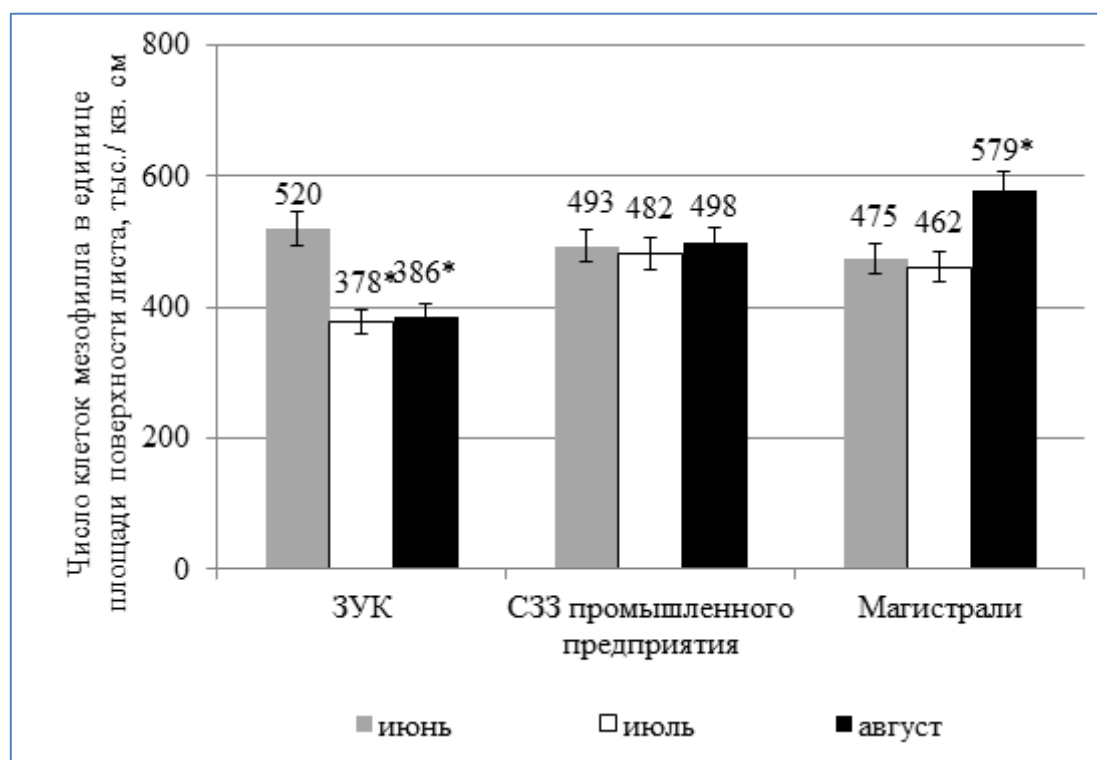


Рис. 1. Показатель числа клеток мезофилла в единице площади поверхности листа липы мелколистной, произрастающей в насаждениях г. Набережные Челны

* – достоверные различия по сравнению с июнем

В насаждениях ЗУК в июне показатель составил 520 тыс. клеток/см², однако в июле их число достоверно снизилось на 27 % (на 142 тыс./см² при $P = 1,63 \cdot 10^{-8}$) и далее до конца вегетационного периода значительно не изменялось. Снижение показателя, вероятно, связано с процессами роста и увеличением объема клеток мезофилла листа в начале вегетации, что приводит к уменьшению числа клеток в единице площади листа. Согласно данным И.Г.Серебрякова [1952] у липы мелколистной увеличение пластинки листа осуществляется в большей степени за счёт увеличения площади каждой клетки мезофилла (у световых листьев – в 20 раз, у темновых листьев – в 29 раз). В насаждениях СЗЗ промышленного предприятия в числе клеток мезофилла листа в единице площади поверхности в течение периода вегетации достоверных различий не выявлено, и их число варьировало в пределах 482-498 тыс. клеток/см². В магистральных посадках в июне в единице площади отмечалось 475 тыс. клеток, в июле их число незначительно снижалось. Однако в конце вегетационного периода число клеток достоверно увеличилось на 22% (на 104 тыс. клеток/см² при $P = 6,52 \cdot 10^{-6}$) по сравнению с июнем. Полученные результаты косвенно свидетельствуют о более раннем завершении процессов роста клеток в листовой пластинке растений в условиях интенсивной техногенной нагрузки по сравнению с насаждениями ЗУК. Это отмечено в ряде публикаций, авторы которых обосновывают это реакцией растений на недостаток влаги в почве [Николаевский, Васина и др., 1998], потерей тургора клетками листа в связи с этим и уменьшению объема клеток. Следовательно, показатель числа клеток мезофилла в единице площади листа будет увеличиваться.

Также мы исследовали особенности изменения показателей числа клеток столбчатого и губчатого мезофилла в единице площади поверхности листа липы мелколистной.

Дисперсионный многофакторный анализ полученных результатов выявил существенность влияния условий места произрастания (категории насаждений) ($P = 2,93 \cdot 10^{-5}$), сроков вегетации ($P = 1,75 \cdot 10^{-5}$) и их взаимодействия ($P = 3,04 \cdot 10^{-7}$) на число клеток столбчатого мезофилла в единице площади поверхности листа липы мелколистной.

В начале вегетационного периода в насаждениях ЗУК и СЗЗ промышленного предприятия достоверной разницы в числе клеток не наблюдалось, а в магистральных посадках в единице площади поверхности листа отмечалось на 36 тыс. клеток столбчатого мезофилла меньше (при $P = 6,11 \cdot 10^{-3}$) по сравнению с насаждениями ЗУК (352 тыс. клеток/см²). В июле и августе в условиях загрязнения среды показатели числа клеток в единице площади поверхности листа были достоверно более высокими, чем в насаждениях ЗУК (Рис. 2).

При анализе динамики показателя в каждом из исследуемых насаждений выявлено, что в насаждениях ЗУК в начале вегетационного периода в единице площади поверхности листа у липы мелколистной отмечалось 352 тыс. клеток/см², в июле показатель числа клеток достоверно уменьшился на 36 % (на 126 тыс. клеток/см² при $P = 6,87 \cdot 10^{-8}$), а в августе – он значительно не изменился. В насаждениях СЗЗ промышленного предприятия в течение периода вегетации достоверных различий в показателях числа клеток столбчатого мезофилла липы мелколистной не выявлено, однако отмечалась тенденция к снижению числа клеток к концу вегетационного периода с 325 тыс. до 302 тыс. клеток/см². В магистральных посадках число клеток столбчатого мезофилла в единице площади поверхности листа в июле достоверно уменьшилось на 14 % (на 43 тыс. клеток/см² при $P = 2,53 \cdot 10^{-2}$), а в конце вегетационного периода увеличилось на 16 % по сравнению с июнем (на 51 тыс. клеток/см² при $P = 9,68 \cdot 10^{-3}$).

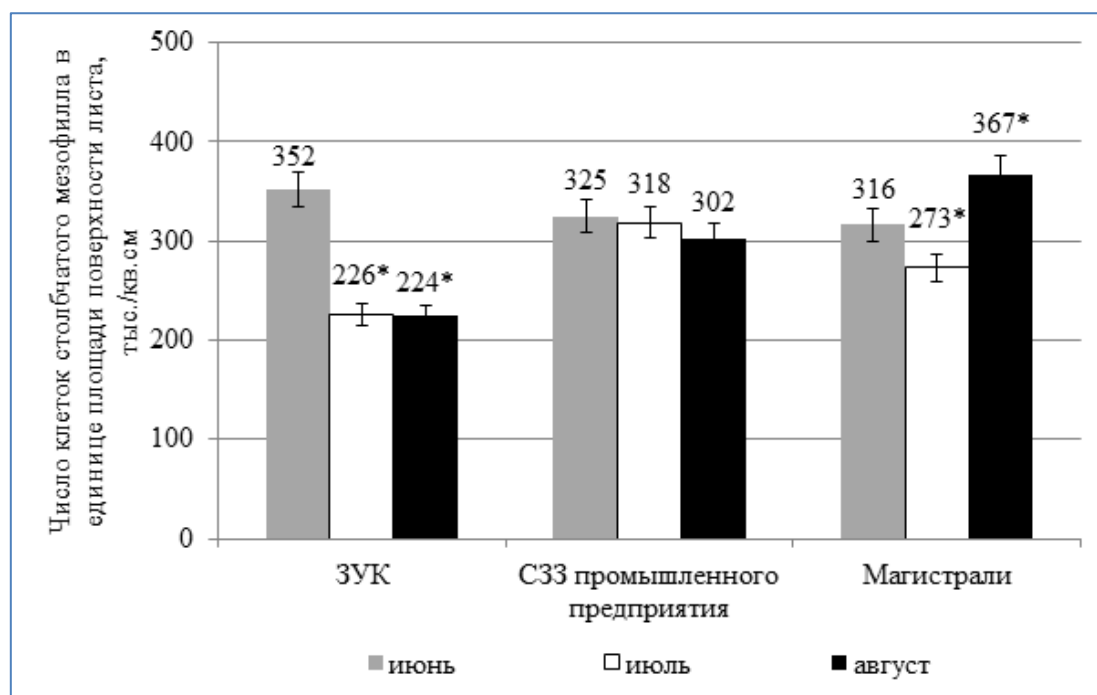


Рис. 2. Число клеток столбчатого мезофилла в единице площади поверхности листа липы мелколистной, произрастающей в насаждениях г. Набережные Челны

* – достоверные различия по сравнению с июнем

Что касается изменения губчатого мезофилла, то дисперсионный многофакторный анализ выявил существенность влияния лишь условий места произрастания (категории насаждений) ($P = 2,29 \cdot 10^{-2}$) и сроков вегетации ($P = 1,79 \cdot 10^{-2}$) на число клеток губчатого мезофилла в единице площади листа липы мелколистной.

В насаждениях ЗУК и СЗЗ промышленного предприятия достоверно значимых различий в числе клеток губчатого мезофилла в единице площади поверхности листа не обнаружено. В условиях магистральных посадок выявлены достоверно более высокие показатели числа клеток губчатого мезофилла в единице площади поверхности листа (на 25 тыс. клеток/см² при $P = 6,6 \cdot 10^{-3}$) по сравнению с насаждениями ЗУК (161 тыс. клеток/см²). Анализ влияния срока вегетации на число клеток губчатого мезофилла листа показал, что достоверные различия отмечаются в конце вегетационного периода. При этом число клеток увеличилось на 25 тыс. клеток/см² (при $P = 8,68 \cdot 10^{-3}$) по сравнению с началом вегетационного периода.

С целью выявления взаимосвязи мезоструктуры листа липы и показателей загрязнения атмосферного воздуха (по данным Прикамского территориального управления Министерства экологии и природных ресурсов, Госдокладов 2014–2017 гг.) был проведен корреляционный анализ, который показал, что общее число клеток мезофилла, число клеток столбчатого мезофилла и число клеток губчатого мезофилла в листьях значимо коррелирует с комплексным показателем загрязнения атмосферы ИЗА ($r = 0,37$ при $p < 0,05$; $r = 0,43$ при $p < 0,01$ и $r = 0,34$ при $p < 0,05$ соответственно, $n = 36$), а также с содержанием в атмосферном воздухе формальдегида ($r = 0,38$ при $p < 0,05$; $r = 0,44$ при $p < 0,01$ и $r = 0,34$ при $p < 0,05$ соответственно, $n = 36$). Выявлена и взаимосвязь между элементами мезоструктуры листа – показатель общего числа клеток мезофилла положительно коррелирует с числом клеток губчатого мезофилла листа ($r = 0,91$ при $p < 0,01$, $n = 36$).

Также мы исследовали особенности изменения размеров клеток мезофилла листа (длины, диаметра клеток). Для сравнения этих показателей с показателями зоны условного контроля мы использовали методы описательной статистики.

Выявлено, что длина клеток столбчатого мезофилла в течение вегетационного периода достоверно не менялась во всех исследованных категориях насаждений. Однако длина клеток столбчатого мезофилла листа в насаждениях СЗЗ промышленного предприятия и магистральных посадках существенно превышала в среднем на 33 % показатели в насаждениях ЗУК (Рис. 3), что, вероятно, является результатом «эффекта кислого роста» [Малиновский, 2004]. Установлена высокая корреляция между длиной клеток столбчатого мезофилла листа и показателем ИЗА ($r = 0,73$ при $p < 0,01$, $n = 36$), содержанием формальдегида ($r = 0,75$ при $p < 0,01$, $n = 36$), а также существенная корреляция – с содержанием фенола ($r = 0,35$ при $p < 0,05$, $n = 36$).

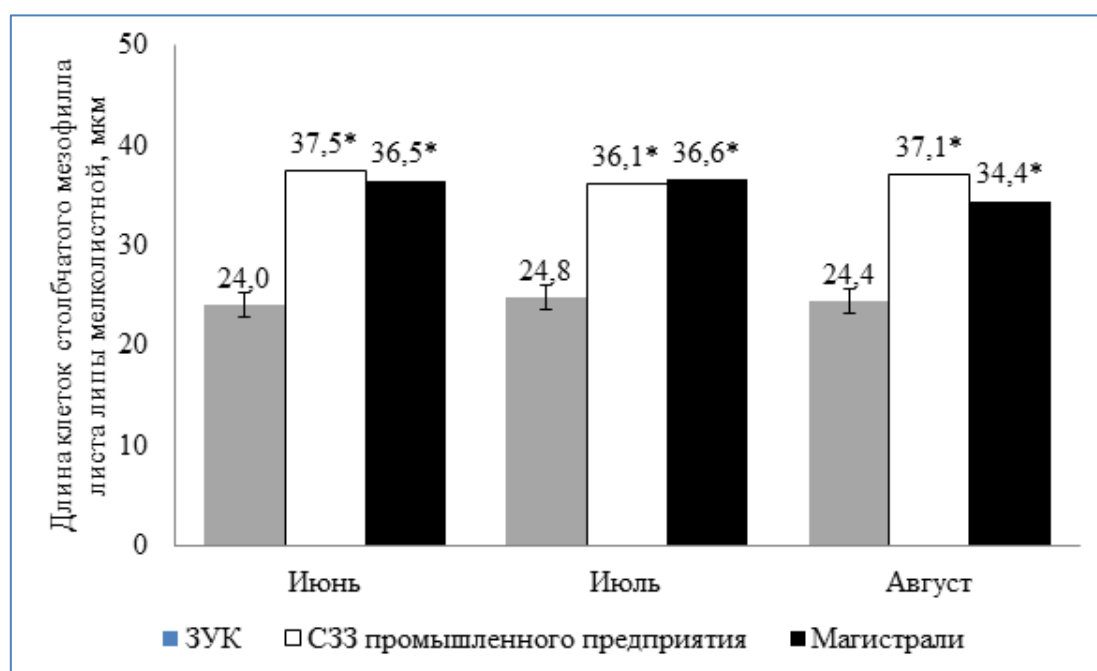


Рис. 3. Динамика длины клеток столбчатого мезофилла листа липы мелколистной, произрастающей в насаждениях г. Набережные Челны
* – достоверные различия по сравнению с насаждениями ЗУК

В отличие от длины клеток, их диаметр в листьях растений в различных категориях насаждений варьировал в пределах 6,3-7,9 мкм. Достоверно значимых различий между значениями диаметра клеток в насаждениях разных категорий не выявлено. Однако следует отметить, что в каждой категории насаждений в течение вегетационного периода выявлено достоверное снижение значений диаметра клеток. В насаждениях ЗУК отмечалось достоверное уменьшение диаметра клеток на 0,9 мкм в июле и на 1,0 мкм в августе по сравнению с июнем. В насаждениях СЗЗ промышленного предприятия диаметр клеток достоверно уменьшался на 0,6 мкм в июле и на 0,7 мкм в августе. В условиях магистральных насаждений в середине вегетации отмечалось достоверное снижение значения диаметра клеток на 1,0 мкм в сравнении с июнем, а в августе он увеличился на 0,6 мкм в сравнении с июлем (Рис. 4). Корреляционный анализ не показал зависимости между диаметром клеток столбчатого мезофилла листа и содержанием загрязняющих веществ у липы мелколистной.

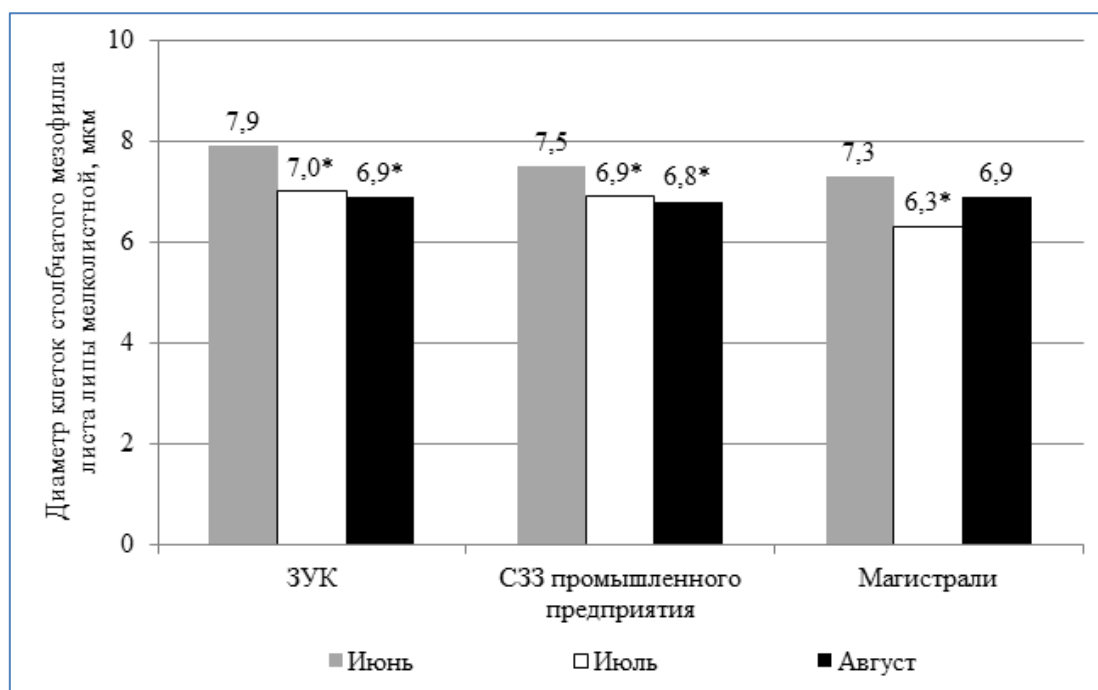


Рис. 4. Динамика диаметра клеток столбчатого мезофилла листа липы мелколистной, произрастающей в насаждениях г. Набережные Челны
* – достоверные различия по сравнению с июнем

Анализ линейных размеров (длина и диаметр) клеток губчатого мезофилла листа липы мелколистной показал, что в течение вегетационного периода в условиях с повышенной антропогенной нагрузкой значения достоверно выше, чем в насаждениях ЗУК (Рис. 5). В насаждениях СЗЗ промышленного предприятия показатель длины клеток достоверно выше в июне на 3,3 мкм, в июле – на 2,9 мкм и в августе – на 2,6 мкм по сравнению с насаждениями ЗУК (14,6 мкм, 15,0 мкм и 14,6 мкм соответственно).

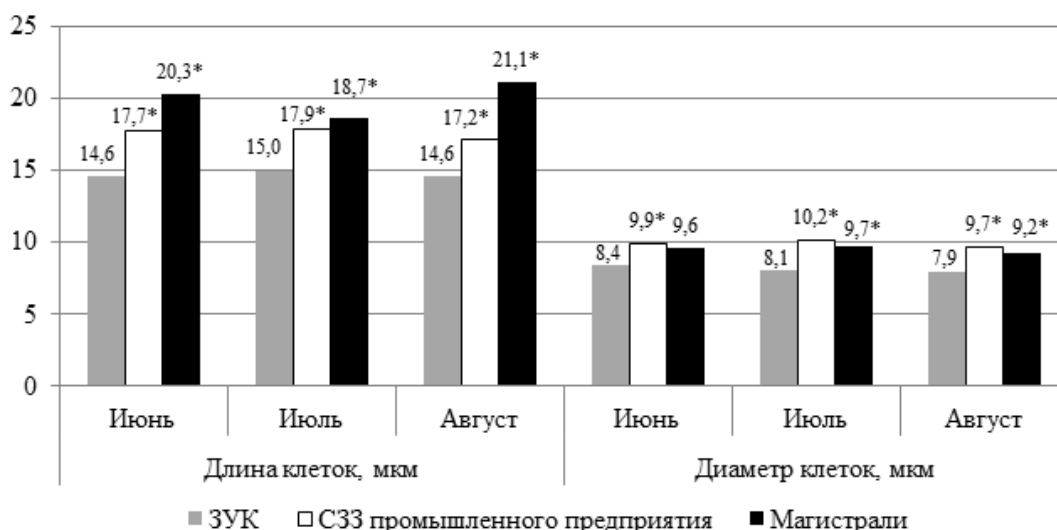


Рис. 5. Динамика длины и диаметра клеток губчатого мезофилла листа липы мелколистной, произрастающей в насаждениях г. Набережные Челны
* – достоверные различия по сравнению с насаждениями ЗУК

В примагистральных посадках длина клеток превышала значения насаждений ЗУК в июне на 5,7 мкм, в июле – на 3,7 мкм и в августе – на 6,5 мкм. Показатель диаметра клеток в техногенных условиях во все сроки наблюдений (за исключением показателя в магистральных посадках в июне) достоверно выше (в насаждениях СЗЗ промышленного

предприятия – на 1,5 – 2,1 мкм, в магистральных посадках – на 1,3 – 1,6 мкм) по сравнению с насаждениями ЗУК (7,9 – 8,4 мкм).

В течение вегетационного периода длина и диаметр клеток губчатого мезофилла листа во всех категориях насаждений достоверно не изменялись.

Корреляционный анализ показателей длины и диаметра клеток губчатого мезофилла листа и параметров загрязнения атмосферного воздуха показал как положительные, так и отрицательные корреляции. В условиях с повышенной техногенной нагрузкой (насаждения СЗЗ промышленного предприятия и магистральные посадки) при повышении показателей ИЗА, содержания NO_2 и формальдегида длина клеток губчатого мезофилла увеличивается ($r = 0,55$, $r = 0,53$ и $r = 0,51$ соответственно при $p < 0,01$, $n = 36$). Выявлена также существенная отрицательная корреляция между показателями длины клеток и содержанием фенола ($r = -0,36$ при $p < 0,05$, $n = 36$) и бенз(а)пирена ($r = -0,36$ при $p < 0,05$, $n = 36$).

Что же касается показателя диаметра клеток губчатого мезофилла листа, то наиболее существенная положительная корреляция обнаружена с содержанием в атмосферном воздухе формальдегида ($r = 0,52$ при $p < 0,01$, $n = 36$), показателем ИЗА ($r = 0,49$ при $p < 0,05$, $n = 36$), содержанием бенз(а)пирена ($r = 0,43$ при $p < 0,01$, $n = 36$) и фенола ($r = 0,42$ при $p < 0,05$, $n = 36$), а также отрицательная корреляция – с содержанием NO_2 ($r = -0,37$ при $p < 0,05$, $n = 36$).

Таким образом, увеличение показателей содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе связано с показателями роста линейных размеров клеток губчатого мезофилла, за исключением содержания бенз(а)пирена, фенола и длины клеток, содержания NO_2 и диаметра клеток (при существующем уровне загрязнения). В городской среде в листьях липы мелколистной возрастает площадь соприкосновения мезофилла с воздушной средой межклеточного пространства (общая внутренняя поверхность) за счет увеличения размеров клеток мезофилла (и столбчатого, и губчатого). Клетки столбчатого мезофилла листа оказываются более чувствительными: их линейные размеры обладают в большей степени изменчивостью, чем клетки губчатого мезофилла.

В листьях липы мелколистной в условиях техногенной среды процессы перераспределения пластических веществ при формировании клеток мезофилла имеют особенности по сравнению с природными условиями. Отмечается увеличение размеров клеток столбчатого мезофилла (в них содержится большая часть хлоропластов листа, обеспечивающая ассимиляцию углекислого газа). Губчатый мезофилл в листьях выполняет в основном функцию газообмена, поэтому размеры его клеток проявляют меньшую изменчивость. Аналогичные результаты для липы мелколистной были получены в условиях г. Калининграда [Майдебура, 2006].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях городской среды у липы мелколистной происходят значимые изменения мезоструктуры листа, при этом по мере нарастания антропогенной нагрузки (в основном, при увеличении показателя ИЗА и содержания формальдегида) возрастают число клеток мезофилла листа и их линейные размеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурковская Е.В. Мезоструктура фотосинтетического аппарата *Senecio pseudoarnica* Less. на разных широтах Дальнего Востока России // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 1. С. 104–408.

2. Бутенкова А.Н., Беляева Т.Н. Структура листовых пластинок видов рода *Phlox* L. (*Polemoniaceae*), интродуцированных в Сибирском ботаническом саду // Фундам. исслед. 2014. № 5. С. 730–734.
3. 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: 28.08.2017).
4. Вернигора Е.Г., Бурундукова О. Л. Мезоструктура фотосинтетического аппарата елей в стрессовых условиях роста // Тихоок. медиц. журн. 2015. № 2. С. 24–26.
5. Волошина Н.Ю., Белявская Н.А. Характеристика структуры листьев двух лесных видов кленов в зависимости от освещенности внутри кроны // *Modern Phytomorphology*. 2012. № 1. С. 179–183.
6. Гавриленко В.Ф. Большой практикум по фотосинтезу. – М.: Издат. центр «Академия», 2003. 256 с.
7. Гибадулина И.И. Оценка относительного жизненного состояния древесных насаждений г. Набережные Челны // Городская среда: экологические и социальные аспекты : сборник Всероссийской научно-практической конференции. Ижевск, 19 апреля 2017 г. – Ижевск, 2017. С. 103–108. (а)
8. Гибадулина И.И. Оценка относительного жизненного состояния насаждений санитарно-защитной зоны Камского кузнечного завода ОАО «КАМАЗ» (г. Набережные Челны) // Проблемы региональной экологии и географии : материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ижевск, 9–13 октября 2017 г. – Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2017. С. 138–140. (б)
9. 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.
10. Головацкая И.Ф. Влияние света разного спектрального состава на рост и гормональный комплекс листа растений : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 1992. 17 с.
11. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан. Казань, 2014 – 2018.
12. Дегтярева О.Н. Состояние видов *Pinaceae* Lindl. на урбанизированных территориях Республики Алтай : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2003. 23 с.
13. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники: методические разработки для студентов биологических специальностей [методические разработки для студентов биологических специальностей] / А. А. Чистякова [и др.] ; под ред. О. В. Смирновой. Ч.1. М. : Изд-во «Прометей» МГПИ им. В.И. Ленина, 1989. Ч.1. 102 с.
14. Егорова Н.Н., Кулагин А.А. Особенности строения ассимиляционных органов лесообразующих видов в техногенных условиях // Самарская Лука. 2007. Т. 16. № 3 (21). С. 463–476.
15. Зверева Г.К. Формы проекций ассимиляционных клеток луговых злаков// Ботан. исслед. в Сибири. 2014. Вып. 22. С. 44–52.

16. Корчагин О.М., Заплетин В.Ю. Анатомическое строение листовых пластинок всходов дуба черешчатого в условиях различного затенения посевов // Лесной журнал. 2009. № 6. С. 24–29.
17. Кудряшова Н.А., Мушинская Н.И. Анатомические особенности строения листьев и стеблей видов рода *Spiraea* L. в связи с их газоустойчивостью // Вестн. ОГПУ. 2005. № 3 (41). С. 76–78.
18. Левчук А.Н., Максимчук А.А., Лях В.А. Сравнительная характеристика строения пластидного аппарата клеток мезофилла листьев разных видов рода *Linum* L. // Актуальні питання біології, екології та хімії. 2014. Т. 8. С. 40–48.
19. Майдебуря И.С. Влияние загрязнения воздушного бассейна города Калининграда на анатомо-морфологические и биохимические показатели древесных растений : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калининград, 2006. 20 с.
20. Малиновский В.И. Физиология растений : учебное пособие. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 2004. 106 с.
21. Маргайлик Г.И. Влияние света на рост и развитие главнейших лесных древесных пород Белоруссии : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 1964. 20 с.
22. Мигалина С.В. Изменение морфологии и структуры листа *Betula pendula* Roth. и *Betula pubescens* Ehrh. при адаптации к климату : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2011. 20 с.
23. Мокроносов А.Т., Борзенкова Р.А. Методика количественной оценки и функциональной активности фотосинтезирующих тканей и органов // Тр. по приклад. ботанике, генетике и селекции ВНИИ растениеводства. 1978. Т. 61, вып. 3. С.119–133.
24. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф., Филиппов А.В. Анатомо-морфологические изменения тысячелистника обыкновенного в техногенной зоне // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. – 2014. № 4. С. 158–161.
25. Николаевский В.С., Васина И.В., Николаевская Н.Г. Влияние некоторых факторов городской среды на состояние древесных пород // Вестник МГУЛ–Лесной вестник. 1998. № 2. С. 28–40.
26. Определение мезоструктурных характеристик фотосинтетического аппарата растений : [руководство к лабораторным занятиям большого спецпрактикума по физиологии и биохимии растений] / Р. А. Борзенкова, Е. В. Храмцова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2006. 26 с.
27. Пат. 2601813 Российская Федерация, МПК A01G 7/00. Способ мацерации тканей листа липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. / Гибадулина И. И. ; заявитель и патентообладатель Гибадулина И. И. – № 2015115223/13 ; заявл. 22.04.2015 ; опубл. 10.11.16, Бюл. №31. 5 с.
28. Программа и методика биогеоэкологических исследований / В. Н. Сукачѳв [и др.]. М. : Наука, 1966. 332 с.
29. Рамазанова З. Р. Адаптивные структурно-функциональные особенности побегов древесных растений в условиях г. Махачкалы : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Махачкала, 2012. 23 с.
30. Серебряков И.Г. Морфология вегетативных органов высших растений. М. : Совет. наука, 1952. 391 с.
31. Убаева Р.Ш. Эколого-морфологические особенности изменения листьев древесно-кустарниковых растений г. Грозного при воздействии токсикантов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Махачкала, 2004. 22 с.

32. Уразгильдин Р.В. Классификация адаптивных стратегий древесных растений к техногенному загрязнению (на примере липы сердцевидной *Tilia cordata* Mill.) // Аграр. Россия. Спец. вып. 2009. С. 205–209.
33. Харина Т.Г., Кирсанова Н.В. Анатомо-морфологические особенности листьев *Eupatorium cannabinum* L., *Lophanthus anisatus* Benth. и *Monarda citriodora* Cerv. как один из показателей адаптационных возможностей видов к экологическим условиям юга Томской области // Науч. вед. Сер. Естеств. науки. 2011. № 9 (104). Вып. 15/1. С. 332–336.
34. Цуцупа Т.А., Ступакова Н.С. Сравнительный анатомический анализ структуры листьев *Medicago lupulina* L. (*Leguminosae*) // Modern Phytomorphology. 2013. Vol. 4. P. 229–232.
35. Чистякова А. А. Большой жизненный цикл *Tilia cordata* Mill. // Бюлл. МОИП, отд. биол. 1979. Вып. 1. С. 85–98.
36. Чукина Н.В., Борисова Г.Г., Малёва М.Г. Показатели мезоструктуры фотосинтетического аппарата гидрофитов их местообитаний с разным уровнем антропогенного воздействия // Каз. наука. 2009. № 1. С. 8–13.
37. Чукина Н.В., Лукина Н.В., Борисова Г.Г., Ярина Ю.С. Структурно-функциональные особенности фотосинтетического аппарата растений семейства *Rugolaceae* в техногенных местообитаниях // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. №4 (165). С. 81–89.
38. Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений. Калининград, 2000. 59 с.
39. Курницька М.П. Особливості життєдіяльності деревних порід в урбогенних умовах великих міст (на прикладі м. Львова) : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. Львів, 2001. 23 с.
40. 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 Journal of Pharmaceutical, Biological & Chemical Sciences. 2016. No 7(4). P. 2345–2351.