

УДК 581.5

СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЙ

Анна С. Сарсацкая^{1, @}

¹ Кемеровский государственный университет, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6

@sarsatskaya@mail.ru

Поступила в редакцию 01.09.2017. Принята к печати 27.12.2017.

Ключевые слова: пигменты, древесные растения, газоустойчивость, загрязнение, городская среда.

Аннотация: Изучено содержание фотосинтетических пигментов листьев у *Larix sibirica* Ledeb, *Tilia cordata* Mill, *Populus alba* Ledeb x *Populus sibirica* *pyramidalis* Jabl, *Acer negundo* Ledeb, *Acer tataricum* Ledeb в различных типах насаждений. Исследованиями установлено, что содержание пигментов является видовым признаком и корреляционно зависит от условий произрастания (удаленность от источника загрязнения и наличия транспортных магистралей вблизи насаждения). На экологически благополучных площадках отмечены высокие значения фотосинтетических пигментов у всех видов, особенно показателей суммы пигментов и отношение хлорофиллы/каротиноиды. Изучена структура и содержание зеленого пигмента хлорофилла в здоровых и поврежденных листьях. У газоустойчивых видов растений в городской среде содержание хлорофилла а и сумма зеленых пигментов в несколько раз выше, чем в листьях среднеустойчивых видов. Отмечено изменение содержания фотосинтетических пигментов от концентрации кислых газов в окружающей среде и скорости их поглощения.

Для цитирования: 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. С. 9–14. DOI: 10.21603/2542-2448-2017-4-9-14.

Листья – основные ассимилирующие органы растений. Они обеспечивают все функциональные процессы организма пластическими веществами, а окружающую среду – кислородом. Осуществляя фотосинтез, листовой аппарат приспособляется к крайне многообразным условиям среды, в том числе техногенным, отличаясь высокой морфологической пластичностью, разнообразием форм и существенными адаптационными возможностями. В связи с этим изучение состояния фотосинтетического аппарата древесных растений в условиях промышленного города представляет большой интерес и актуально, так как успешность выполнения средообразующей, санитарно-гигиенической функций зелеными насаждениями зависит от состояния ассимиляционного аппарата растений.

Исследованиями ряда авторов установлено, что у деревьев в городе по сравнению с естественными лесами наблюдается большая изреженность крон [1; 2], увеличение доли световых листьев, измельчение листовой поверхности [3; 4], утолщение листа, увеличение числа устьиц и уменьшения их размеров [5–7]. Отмечены изменения в пластидном аппарате: уменьшение размеров хлоропластов и их числа в клетках мезофилла, снижение суммарной поверхности нарушенных мембран хлоропластов на единицу площади листа [8]. Для деревьев в городе характерно меньшее содержание хлорофилла в листовой пластинке, но концентрация в хлоропласте его выше, чем у растений в природе [1]. Изменение фотосинтезирующей активности усиливается в зависимости от экологической нагрузки на всех уровнях организации (от организменного до субклеточного), приводя к выраженным признакам ксероморфности в условиях повышенной урбанизации среды [2; 3; 5].

В каждом промышленном городе окружающая среда имеет свои особенности экологических и антропогенных факторов. Целью исследования было изучить содержание фотосинтезирующих пигментов у 5 видов древесных в условиях города Кемерово. Задачи исследования: установить различия в содержании пигментов в зависимости от вида, типа насаждений и уровня промышленного загрязнения городской среды. Для изучения пластидных пигментов древесных пород в качестве объектов исследования были выбраны насаждения *Larix sibirica* Ledeb (лиственница сибирская), *Tilia cordata* Mill (липа мелколистная), *Populus alba* Ledeb x *Populus sibirica* *pyramidalis* Jabl (тополь гибридный), *Acer negundo* Ledeb (клен ясенелистный), *Acer tataricum* Ledeb (клен татарский) в различных районах города Кемерово. Эти виды древесных входят в основной ассортимент зеленых насаждений города. Было заложено 18 пробных площадок, отличающихся разной удаленностью от источников загрязнения и автомагистралей и находящихся в разных типах парковых насаждений, в четырех районах города. Количественное определение пигментов фотосинтетического аппарата осуществляли спектрофотометрически с использованием ацетоновой вытяжки пигментов [9]. Забор листьев для анализа осуществляли трижды за вегетацию: в конце мая, июне и в начале сентября. Листья собирались с нижнего яруса годичных побегов с четырех сторон, по 20 штук с каждой. Из них отбиралась средняя проба, анализ проводили в четырехкратной повторности.

Исследованиями установлено, что содержание фотосинтезирующих пигментов является видовым признаком. У липы как более теневыносливой породы отмечено на 17 % больше содержание зеленых пигментов, чем у тополя,

и на 28 % больше, чем у лиственницы (табл. 1). Большое количество хлорофилла в ассимиляционном аппарате липы способствует лучшему приспособлению к недостаточному освещению в условиях городской застройки.

Учитывая тип пространственного расположения зеленых насаждений (тип посадки), проанализировали изменение содержания и соотношение фотосинтетических пигментов как индикационный признак состояния растений. В зависимости от типа посадки максимальное количество этих пигментов ($5,15 \pm 0,02$ мг/г) выявлено в рядовых уличных посадках. В сквере сумма пигментов составила $4,54 \pm 0,17$ мг/г, а у насаждений бульварного типа – $4,15 \pm 0,11$ мг/г сырого веса (табл. 2). По сравнению с уличными рядовыми посадками на бульварах отмечено уменьшение содержание каротиноидов в листьях липы мелколистной на 26 %, а суммы хлорофиллов – на 23 %.

Аналогичная тенденция отмечена и для бульварных насаждений по сравнению с рядовыми в составе скверов (26 % против 14 %). Достоверных отличий в соотношении хлорофиллов а и b от типа посадки не обнаружено.

Известно, что липа мелколистая в экстремальных условиях городской среды испытывает угнетение процесса синтеза хлорофилла, снижение его содержания отмечается в течение всего вегетационного периода [5]. Для данного вида характерно не просто снижение содержания хлорофилла, но и обнаружено как количественное, так и качественное нарушение пигментного фонда хлоропластов: хлорофилл а более уязвим, чем хлорофилл b, а каротиноиды более уязвимы по сравнению с суммой хлорофиллов а+b, что отмечается и другими исследователями [10–14]. Полученные результаты о состоянии ассимиляционного аппарата растений липы мелколистной в разных типах

Таблица 1. Пигментный комплекс ассимиляционного аппарата у древесных растений в различных районах города Кемерово, мг/г сырого веса

Table 1. Pigment complex assimilation apparatus in woody plants in various parts of the city of Kemerovo, mg/g wet weight

Порода	Район	Хлорофиллы а+b	Каротиноиды	Отношение хлорофилл/каротиноид	Сумма пигментов
Липа мелколистая	Центральный	$4,44 \pm 0,19$	$0,67 \pm 0,03$	$7,42 \pm 0,52$	$5,11 \pm 0,20$
	Ленинский	$3,28 \pm 0,13$	$0,67 \pm 0,04$	$7,76 \pm 2,30$	$3,95 \pm 0,15$
	Кировский	$4,24 \pm 0,16$	$0,91 \pm 0,03$	$4,77 \pm 0,14$	$5,15 \pm 0,18$
	Заводский	$3,15 \pm 0,14$	$0,68 \pm 0,03$	$4,8 \pm 0,18$	$3,83 \pm 0,17$
Лиственница сибирская	Центральный	$3,04 \pm 0,10$	$0,77 \pm 0,03$	$4,12 \pm 0,31$	$3,81 \pm 0,10$
	Ленинский	$3,03 \pm 0,16$	$0,71 \pm 0,04$	$3,75 \pm 0,24$	$3,75 \pm 0,15$
	Кировский	$2,79 \pm 0,10$	$0,7 \pm 0,03$	$2,98 \pm 1,42$	$3,49 \pm 0,1$
	Заводский	$2,37 \pm 0,09$	$0,78 \pm 0,03$	$3,17 \pm 0,09$	$3,16 \pm 0,11$
Тополь гибридный	Центральный	$3,42 \pm 0,13$	$0,82 \pm 0,03$	$4,5 \pm 0,47$	$4,24 \pm 0,13$
	Ленинский	$2,71 \pm 0,11$	$0,84 \pm 0,04$	$3,29 \pm 0,12$	$3,55 \pm 0,15$
	Заводский	$2,64 \pm 0,10$	$1,18 \pm 0,04$	$2,29 \pm 0,07$	$3,82 \pm 0,13$

Таблица 2. Фотосинтетический пигментный состав ассимиляционного аппарата древесных растений в различных типах посадок, мг/г сырого веса

Table 2. Photosynthetic pigment composition of assimilation apparatus of woody plants in different types of planting, mg/g wet weight

Порода	Тип посадки	Хлорофиллы а+b	Каротиноиды	Отношение хлорофилла а/b	Сумма пигментов
Липа мелколистая	Уличные рядовые	$4,24 \pm 0,16$	$0,91 \pm 0,03$	$1,2 \pm 0,02$	$5,15 \pm 0,02$
	Бульварные	$3,28 \pm 0,13$	$0,67 \pm 0,04$	$1,4 \pm 0,11$	$3,95 \pm 0,17$
	Групповые, парк, сквер	$3,8 \pm 0,13$	$0,67 \pm 0,02$	$1,18 \pm 0,03$	$4,47 \pm 0,15$
Лиственница сибирская	Уличные рядовые	$2,4 \pm 0,1$	$0,63 \pm 0,03$	$1,67 \pm 0,02$	$3,03 \pm 0,01$
	Бульварные	$3,3 \pm 0,11$	$0,84 \pm 0,03$	$1,72 \pm 0,08$	$4,15 \pm 0,11$
	Групповые, парк, сквер	$2,64 \pm 0,09$	$0,73 \pm 0,03$	$1,48 \pm 0,12$	$3,37 \pm 0,11$
Тополь гибридный	Уличные рядовые	$3,08 \pm 0,16$	$0,95 \pm 0,04$	$1,43 \pm 0,21$	$3,65 \pm 0,17$
	Групповые, парк, сквер	$3,6 \pm 0,18$	$0,95 \pm 0,04$	$1,52 \pm 0,24$	$4,54 \pm 0,17$

насаждений города (табл. 2) свидетельствуют о наличии отличительных особенностей микроклимата условий произрастания: разной освещенности, удаленности от проезжей части и интенсивности движения автотранспорта.

Исследование посадок лиственницы сибирской выявило высокое содержание фотосинтетических пигментов в насаждениях бульварного типа, а также в двурядных посадках и группах в составе скверов ($4,15 \pm 0,11$; $3,49 \pm 0,10$; $3,37 \pm 0,11$ мг/г сырого веса соответственно). Наименьшее содержание пигментов отмечено в рядовых посадках вдоль транспортных магистралей (табл. 2). Сравнительный анализ насаждений лиственницы сибирской показал, что в уличных насаждениях по сравнению с бульварами снижение концентрации хлорофилла *a* и каротиноидов больше чем на 20 %, и в 1,9 раза меньше сумма всех пигментов. К концу июня в рядовых посадках лиственницы сибирской уже отмечались повреждения в виде хлорозов и некрозов верхней половины хвоинок практически по всей кроне.

При изучении пигментного состава ассимиляционного аппарата тополя гибридного (серебристого х советского пирамидального) в различных типах насаждений было обнаружено, что в парке и сквере содержание хлорофиллов и каротиноидов достоверно выше, чем в уличных посадках (табл. 1). Больше всего снизилось содержание каротиноидов в листьях – почти на 40 %, тогда как концентрация хлорофиллов уменьшилась всего на 14 %. Отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* невысоко и статистически не отличается во всех городских насаждениях.

Такие особенности изменения пигментного фонда листьев тополя гибридного, скорее всего, связаны с условиями произрастания. Рядовые посадки на центральных улицах города Кемерово испытывают угнетающее воздействие выхлопных газов автотранспорта, концентрация

которых год от года только увеличивается, а также наличие неблагоприятных эдафических и экологических факторов снижает жизненный потенциал и функциональную активность фотосинтетического аппарата. Во всех типах посадок тополя гибридного отмечено поражение растений грибковыми заболеваниями и насекомыми-вредителями (тля, цикадки). Самая высокая степень поражения и максимальная запыленность побегов отмечена в рядовых уличных насаждениях [7].

Оценка состояния городских посадок кленов ясенелистного и татарского выявило более высокий жизненный потенциал клена ясенелистного по сравнению с кленом татарским, на годичном побеге которого было меньше листьев. Лучшее состояние посадок клена ясенелистного по визуальным показателям подтверждают и физиологические исследования фотосинтетической функции. Выявлено, что ведущий негативный фактор городской среды – загрязнение воздуха поллютантами – в меньшей мере повреждает ассимиляционный аппарат клена ясенелистного. С одной стороны, это связано с меньшей вентилируемостью листьев, а значит и низкой интенсивностью поглощения газа (в 1,4 раза меньше, чем у неустойчивых растений), и с пониженной интенсивностью ассимиляции углекислого газа (в 2–2,5 раза ниже, чем у неустойчивых растений) [13].

По мере нарастания техногенной нагрузки отмечены изменения в содержании зеленых пигментов и отношении хлорофилла *a* к хлорофиллу *b*, при этом чем меньше газоустойчивость вида, тем существеннее изменения [8]. Так, у газоустойчивого клена ясенелистного в листьях неповрежденных и поврежденных растений содержание хлорофилла *a* и сумма зеленых пигментов в 1,5–2 раза превышает аналогичные концентрации пигментов в листьях среднеустойчивого клена татарского (табл. 3).

Таблица 3. Содержание зеленых пигментов (мл/г) в здоровых и поврежденных листьях

Acer negundo L. и *Acer tataricum* L.

Table 3. The content of green pigments (ml/g) in healthy and damaged leaves *Acer negundo* L. and *Acer tataricum* L.

Объекты исследование и их состояние		Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Сумма хлорофиллов	Отношение хлорофиллов <i>a/b</i>
<i>Acer negundo</i> L.	Здоровые	10,36	5,47	15,83	1,89
	Поврежденные	9,23	3,89	13,12	2,37
<i>Acer tataricum</i> L.	Здоровые	6,90	2,34	9,24	2,95
	Поврежденные	4,80	2,03	6,83	2,36

Величина отношения хлорофилла *a* к хлорофиллу *b*, так же как и высокая концентрация хлорофилла *a*, служит интегральным показателем высокой потенциальной активности фотосинтеза. У клена ясенелистного выявлено меньшее содержание зеленых пигментов в листьях и их отношение, чем у клена татарского. Эта закономерность лежит в основе критериев жизненного состояния растения и оценки газоустойчивости видов [7].

Четко прослеживается две тенденции в изменении содержания зеленых пигментов под влиянием урбанизированной среды: повышение у устойчивых растений и снижение у среднеустойчивых. Такой характер влияния токсикантов зависит напрямую от скорости поглощения газа и его концентрации. У среднеустойчивого клена татарского погло-

щение происходит интенсивнее, чем у устойчивого клена ясенелистного, отсюда и различия в химизме разрушения пигментов. Вероятно, как подчеркивают и другие авторы [3; 12; 15], у среднеустойчивых видов под влиянием даже слабых концентраций газов усиливается окисление пигментов вследствие подкисления цитоплазмы и усиления деятельности гидролитических ферментов. Также изменения содержания зеленых пигментов могут быть связаны с изменениями пластидного аппарата. У одних растений с усилением влияния промышленной среды наблюдается уменьшение размеров хлоропластов, но сохраняется и даже увеличивается их количество. У других – количество хлоропластов уменьшается в клетке и в листе, что приводит к значительной редукции пластидного аппарата.

Клен ясенелистный относится к растениям, у которых пластидный аппарат компенсирует уменьшение размеров хлоропластов за счет увеличения их количества или объемной концентрации хлорофилла в хлоропластах [15].

Итак, в условиях урбанизированной среды к комплексу неблагоприятных факторов ассимиляционный аппарат изучаемых растений приспосабливается путем изменения концентрации отдельных пигментов. Так, на экологически благополучных площадках отмечены высокие значения пигментов всех видов, в первую очередь у липы мелколистной и тополя гибридного, о чем свидетельствует изменение показателей суммы пигментов и отношение хлорофиллы/каротиноиды (табл. 2).

В результате изучения состояния ассимиляционного аппарата лиственницы сибирской, липы мелколистной, тополя гибридного, клена ясенелистного и татарского в условиях городской среды установлено, что содержание пигментов является видовым признаком. Максимальное количество фотосинтетических пигментов характерно для липы мелколистной, минимальное – для лиственницы сибирской. Тип пространственного размещения растительных объектов как особый экологический фактор оказывает

влияние на состояние зеленых насаждений. Это отражается на изменении концентрации отдельных пигментов и их соотношении. Чаще всего достаточно напряженным оказываются условия произрастания в рядовых уличных посадках (лиственница сибирская, тополь гибридный), а наиболее благоприятными – в парках и скверах (липа мелколистная, тополь гибридный, клен ясенелистный) и бульварах (лиственница сибирская, клен татарский). Наиболее выраженное отрицательное влияние на состояние пигментного фонда оказывает близкое расположение посадок от проезжей части в районах с интенсивным движением автотранспорта. Высокие показатели содержания пигментов ассимиляционного аппарата древесных растений наблюдаются в Центральном районе города (сквер, бульвар, парк), а низкие, почти в 1,5 раза ниже, в Заводском районе.

Таким образом, можно заключить, что содержание фотосинтетических пигментов у сравниваемых видов древесных растений, с одной стороны, являются показателями биологических особенностей вида, с другой – интегральным признаком оценки экологических условий произрастания и показателями адаптации растений к городской среде.

Литература

1. Горышина Т. К. Растение в городе. Л.: Издательство Ленинградского университета, 1991. 152 с.
2. Гетко Н. В. Растения в техногенной среде // Структура и функция ассимиляционного аппарата. Минск: Наука и техника, 1989. 205 с.
3. Неверова О. А., Колмогорова Е. Ю. Древесные растения и урбанизированная среда: Экологические и биотехнологические аспекты. Новосибирск: Наука, 2003. 222 с.
4. Петункина Л. О. Озеленение как составная часть системы оздоровления городской среды // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири: материалы Междунар. Интернет-семинара. Томск, 2011. С. 127–132.
5. Бухарина И. Л., Кузьмин П. А., Гибадулина И. И. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Набережные Челны) // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2013. № 6-1. С. 20–25. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-soderzhaniya-fotosinteticheskikh-pigmentov-v-listyah-drevesnyh-rasteniy-v-usloviyah-gorodskoy-sredy-na-primere-g-naberezhnye> (дата обращения: 11.09.2017).
6. Сергейчик А. А. Эколого-физиологическая оценка устойчивости ассимиляционного аппарата хвойных лесообразующих пород Беларуси в техногенной среде: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Гомель, 2001. 41 с.
7. Петункина Л. О. Содержание пластидных пигментов у древесных пород и их зависимость от внешних факторов // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: материалы Пятой международной научно-практической конференции (Барнаул, 21–23 ноября 2006 г.). Барнаул: АзБука, 2006. С. 187–189.
8. Петункина Л. О., Ковригина Л. Н. Комплексная оценка городских насаждений // Вестник Кемеровского государственного университета. 2006. № 1. С. 21–24.
9. Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В. Большой практикум по фотосинтезу. М.: Академия, 2003. 256 с.
10. Сарсацкая А. С., Наймушина Е. И., Акулова Н. А., Федосеева Е. Л. Комплексная оценка состояния древесных растений городской среды Кемерова // Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей: материалы IX(XLI) Международной научно-практической конференции / Кемеровский государственный университет. Кемерово, 2015. Вып. 16. С. 90–94.
11. Сарсацкая А. С. Биоэкологическая оценка зеленых насаждений и их роль в трансформации серосодержащих загрязнителей промышленного города // Вестник молодых ученых МГУ «Ломоносов». М.: Макс Пресс, 2007. Вып. III. С. 250–253.
12. Ситникова А. С. Влияние промышленных загрязнений на устойчивость растений. Алма-Ата: Наука Казахской ССР, 1990. 152 с.
13. Сергейчик С. А. Растения и экология. Минск: Ураджай, 1997. 223 с.
14. Бухарина И. Л., Шарифуллина А. М., Кузьмин П. А. Биоэкологические особенности липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в различных категориях насаждений г. Набережные Челны // Экологические проблемы промышленных городов: сборник научных трудов по материалам 6-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Самара: СГТУ, 2013. Ч. 1. С. 23–26.
15. Кулагин А. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 190 с.

CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN URBAN WOOD SPECIES

Anna S. Sarsatskaya^{1, @}

¹ Kemerovo State University, 6, Krasnaya St., Kemerovo, Russia, 650000

@ sarsatskaya@mail.ru

Received 01.09.2017. Accepted 27.12.2017

Keywords: pigments, wood plants, gas resistance, pollution, urban environment.

Abstract: The study features the content of photosynthetic pigments in the leaves of *Larix sibirica* Ledeb, *Tilia cordata* Mill, *Populus alba* Ledeb x *Populus sibirica* Ledeb, *Acer negundo* Ledeb and *Acer tataricum* Ledeb in various types of urban green zones. It has been established that the pigment content is a species trait and correlatively depends on the growing conditions (remoteness from pollution sources and transport highways). In ecologically safe areas, high values of photosynthetic pigments in all species have been established, especially the indicators of the pigment amount and the ratio of chlorophyll / carotenoids.

The study involves the structure and content of the green pigment of chlorophyll in healthy and damaged leaves. In gas-resistant plant species in an urban environment, the content of a-chlorophyll and the sum of the green pigments are several times higher than in the leaves of medium-resistant species. The authors point out a change in the content of photosynthetic pigments from the concentration of acid gases in the environment and the rate of their absorption.

For citation: Sarsatskaya A. S. Soderzhanie fotosinteticheskikh pigmentov u drevesnykh porod gorodskikh nasazhdenii [Content of Photosynthetic Pigments in Urban Wood Species]. *Bulletin of Kemerovo State University. Series: Biological, Engineering and Earth Sciences*, no. 4 (2017): 9–14. DOI: 10.21603/2542-2448-2017-4-9-14.

References

1. Goryshina T. K. *Rastenie v gorode* [The plant in the city]. Leningrad: Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta, 1991, 152.
2. Getko N. V. *Rasteniia v tekhnogennoi srede* [Plants in technogenic environment]. *Struktura i funktsiia assimiliatsionnogo apparata* [Structure and function of assimilation apparatus]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1989, 205.
3. Neverova O. A., Kolmogorova E. Iu. *Drevesnye rasteniia i urbanizirovannaia sreda: Ekologicheskie i biotekhnologicheskie aspekty* [Woody plants and urbanized environment: Ecological and biotechnological aspects]. Novosibirsk: Nauka, 2003, 222.
4. Petunkina L. O. Ozelenenie kak sostavnaia chast' sistemy ozdorovleniia gorodskoi sredy [Greening as an integral part of the city's environment recovery system]. *Lesnoe khoziaistvo i zelenoe stroitel'stvo v Zapadnoi Sibiri: materialy Mezhdunar. Internet-seminara* [Forestry and green building in Western Siberia: Proc. Intern. Internet seminar. Tomsk, 2011, 127–132.
5. Bukharina I. L., Kuz'min P. A., Gibadulina I. I. Analiz soderzhaniia fotosinteticheskikh pigmentov v list'iakh drevesnykh rastenii v usloviakh gorodskoi sredy (na primere g. Naberezhnye Chelny) [Analysis of the content of photosynthetic pigments in leaves of woody plants in urban environments (on the example of Naberezhnye Chelny)]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle = Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, no. 6-1 (2013): 20–25. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-soderzhaniya-fotosinteticheskikh-pigmentov-v-listyah-drevesnykh-rasteniy-v-usloviakh-gorodskoy-sredy-na-primere-g-naberezhnye> (accessed 11.09.2017).
6. Sergeichik A. A. *Ekologo-fiziologicheskaiia otsenka ustoychivosti assimiliatsionnogo apparata khvoinykh lesoobrazuiushchikh porod Belarusi v tekhnogennoi srede*. Avtoref. diss. doktora biol. nauk [Ecological and physiological assessment of the stability of the assimilation apparatus of coniferous forest-forming species of Belarus in anthropogenic environment. Dr. biol. Sci. Diss. Abstr.]. Gomel, 2001, 41.
7. Petunkina L. O. Coderzhanie plastidnykh pigmentov u drevesnykh porod i ikh zavisimost' ot vneshnikh faktorov [The content of plastid pigments in tree species and their dependence on external factors]. *Problemy botaniki Iuzhnoi Sibiri i Mongolii: materialy Piatoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Barnaul, 21–23 noiabria 2006 g.)* [Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia: Proc. Fifth Intern. Sc.-Prac. Conf. (Barnaul, November 21–23, 2006)]. Barnaul: AzBuka, 2006, 187–189.
8. Petunkina L. O., Kovrigina L. N. Kompleksnaia otsenka gorodskikh nasazhdenii [Complex assessment of urban plantations]. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Kemerovo State University*, no. 1 (2006): 21–24.
9. Gavrilenko V. F., Zhigalova T. V. *Bol'shoi praktikum po fotosintezu* [A large workshop on photosynthesis]. Moscow: Akademiia, 2003, 256.
10. Sarsackaia A. S., Naimushina E. I., Akulova N. A., Fedoseeva E. L. Kompleksnaia otsenka sostoianiia drevesnykh rastenii gorodskoi sredy Kemerova [Complex assessment of the state of woody plants in the urban environment of Kemerovo]. *Obrazovanie, nauka, innovatsii: vklad molodykh issledovatelei: materialy IX(XLI) Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Education, science, innovations: the contribution of young researchers: Proc. IX(XLI) Intern. Sc.-Prac. Conf.]. Kemerovo, Iss. 16 (2015): 90–94.

11. Sarsatskaia A. S. Bioekologicheskaja otsenka zelenykh nasazhdenii i ikh rol' v transformatsii serosoderzhashchikh polliutantov promyshlennogo goroda [Bioecological assessment of green plantations and their role in the transformation of sulfur-containing pollutants of an industrial city]. *Vestnik molodykh uchenykh MGU «Lomonosov»* [Bulletin of Young Scientists of Moscow State University «Lomonosov»]. Moscow: Maks Press, Iss. III (2007): 250–253.

12. Sitnikova A. S. *Vliianie promyshlennykh zagriaznenii na ustoichivost' rastenii* [Effect of industrial pollution on plant resistance]. Alma-Ata: Nauka Kazakhskoi SSR, 1990, 152.

13. Sergeichik S. A. *Rasteniia i ekologiya* [Plants and ecology]. Minsk: Uradzhai, 1997, 223.

14. Bukharina I. L., Sharifullina A. M., Kuz'min P. A. Bioekologicheskie osobennosti lipy melkolistnoi (*Tilia cordata* Mill.) v razlichnykh kategoriakh nasazhdenii g. Naberezhnye Chelny [Bioecological features of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) in various categories of plantations in Naberezhnye Chelny]. *Ekologicheskie problemy promyshlennykh gorodov: sbornik nauchnykh trudov po materialam 6-i Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Ecological problems of industrial cities: Proc. 6th All-Russian Sc.-Prac. Conf. with Intern. participation]. Samara: SGTU, part 1 (2013): 23–26.

15. Kulagin A. A. *Drevesnye rasteniia i biologicheskaja konservatsiia promyshlennykh zagriaznitelei* [Woody plants and biological preservation of industrial pollutants]. Moscow: Nauka, 2005, 190.