

УДК 581.132:518.45:581.522.4 (470.21)

ИЗУЧЕНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЛИСТЬЕВ ДЕНДРОИНТРОДУЦЕНТОВ В УСЛОВИЯХ УРБАНОСРЕДЫ КОЛЬСКОЙ АРКТИКИ

© 2017 Н.В. Салтан^{1,2}, Е.П. Шлапак¹, В.К. Жиров^{1,2}, Е.А. Святковская¹, О.Б. Гонтарь^{1,2}, Н.Н. Тростенюк¹

¹ Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН

² Мурманский государственный технический университет, Апатитский филиал

Статья поступила в редакцию 09.05.2017

Изучена активность фотосинтетического аппарата ассимилирующих органов древесных интродуцентов на урбанизированных территориях Мурманской области. Установлено, что при существующем уровне техногенного загрязнения окружающей среды городов в листьях *Syringa josikaea* Jacq. fil, *Spiraea salicifolia* L и *Spiraea media* Franz Schmidt и, в меньшей степени *Rosa rugosa* Thunb. наблюдается увеличение фотосинтетической активности. Выявлены адаптационные изменения пластидного аппарата листьев *Syringa josikaea* в ответ на воздействие никеля, выражающиеся в увеличении светособирающей способности пигментного комплекса.

Ключевые слова: фотосинтетический пигмент, лист, дендроинтродуценты, адаптация, урбанизированные территории

Урбанизированная среда отличается от природной по многим показателям: качеством атмосферного воздуха, состоянием почв и растительности, климатическими условиями [2, 8, 11, 18]. Мурманская область является одним из наиболее индустриально-развитых и урбанизированных регионов севера России. В области широко развиты горнодобывающая, топливно-энергетическая, металлургическая, пищевая отрасли промышленности. Приоритетными химическими веществами, загрязняющими атмосферный воздух населенных мест, являются диоксид серы, взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид азота, формальдегид, фенол, бенз(а)пирен, тяжелые металлы [10]. Наибольший индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) отмечен в г. Мончегорске вследствие деятельности металлургического комплекса (с 1939 г.) и г. Мурманске, где сосредоточены различные предприятия, в том числе по перегрузке и хранению грузов, автотранспорт.

Салтан Наталья Владимировна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения, заместитель заведующего кафедрой геоэкологии. E-mail: saltan.natalya@mail.ru

Шлапак Евгения Петровна, младший научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения. E-mail: evgeniashl@mail.ru

Жиров Владимир Константинович, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор, заведующий кафедрой геоэкологии. E-mail: v_zhirov_1952@mail.ru

Святковская Екатерина Александровна, научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения. E-mail: sviatkovskaya@mail.ru

Гонтарь Оксана Борисовна, кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе, доцент кафедры геоэкологии. E-mail: gontar_ob@mail.ru

Тростенюк Надежда Николаевна, научный сотрудник лаборатории интродукции и акклиматизации растений. E-mail: tnn_aprec@mail.ru.

Проблема оздоровления среды города становится все более актуальной для Кольского Заполярья. Оптимизировать городскую среду позволяет зеленое строительство, выполняющее оздоровительные, природоохранные и эстетические функции [1, 7]. Основная роль в экологизации урбанизированных территорий отводится зеленым насаждениям. Правильно подобранный ассортимент растений, устойчивых к неблагоприятным воздействиям, позволит украсить городской ландшафт и сохранить санитарно-экологическую эффективность.

Урбанофлоре свойственна определенная пластичность и изменчивость для возможности существования в нестабильной среде городов. Нарушение физиологических функций и процессов растений в условиях городской среды является ответной реакцией организма на негативные факторы природного и антропогенного характера. К одним из чувствительных физиологических процессов растений к внешнему воздействию относят фотосинтез, на который оказывает воздействие целый комплекс экологических факторов: освещенность, температурный режим, влагообеспеченность, рельеф, почва, загрязнение и др., а также физиологическое состояние самого растения. Растительный организм адаптируется к условиям окружающей среды и это сказывается на особенностях пигментного аппарата. Интенсивное загрязнение атмосферы промышленными токсикантами по-разному влияет на содержание и соотношение пигментов в ассимиляционных органах древесных растений.

Рядом исследований выявлено, что у деревьев в городской среде наблюдается снижение фотосинтетической способности их ассимиляционного аппарата [13, 14, 16]. К факторам, понижающим фотосинтетическую активность древесных растений в условиях техногенеза, относят пыль и сажу в воздухе, которые приводят к закупориванию устьиц, задержке поглощения углекислого газа растениями, изменению оптических свойств и теплового баланса

листа. Наряду с этим в некоторых исследованиях установлено, что большинство тяжелых металлов, присутствующих в аэротехногенных выбросах и почвах, приводит к некоторому росту содержания зеленых пигментов пластид [12, 4]. Показано также, что у интродуцированных видов растений при невысоком уровне загрязнения окружающей среды отмечается увеличение ассимиляционной активности [3].

Цель работы: изучить изменения пигментного состава в листьях наиболее распространенных древесных интродуцентов, используемых для озеленения городов Мурманской области, при разной техногенной нагрузке.

Объекты и методы. Для исследования выбраны три города Мурманской области: Апатиты (ИЗА=1,88), Мурманск (ИЗА=2,84) и Мончегорск (ИЗА=3,39) (доклад за 2015 г.). В каждом городе было выделено 2 опытные площадки, одна приурочена к примагистральным посадкам, другая – к посадкам, более удаленным от автодорог. В качестве условного контроля использован дендрарий Полярно-альпийского ботанического сада-института (ПАБ-СИ), расположенный в 1 км севернее г. Апатиты.

Объектами исследования стали наиболее распространенные в озеленении северных городов средневозрастные дендроинтродуценты: красивоцветущие кустарники – *Syringa josikaea*, *Rosa rugosa*, *Spiraea media* и *Spiraea salicifolia*. В конце вегетационного периода 2015 г. (август – сентябрь, до осеннего окрашивания листьев) отбирали смешанные пробы листьев вышеуказанных видов растений. В спиртовых экстрактах свежих образцов было определено содержание фотосинтетических пигментов: хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов спектрофотометрическим методом (спектрофотометр ПЭ-5400 ВИ, Россия) при длинах волн $\lambda = 665, 649$ и 470 соответственно, расчеты сделаны по формулам Н.К. Lichtenthaller и A.R. Wellburn (1983). Все определения выполнены в трех биологических повторностях. В листьях кустарников было проанализировано содержание Ni и Cu, как основных загрязняющих элементов окружающей среды, методом атомной абсорбции на спектрофотометре Shimadzu 6800 после разложения сухих растительных образцов концентрированной азотной кислотой. Статистическая обработка материалов проведена в программе MS Excel 2010.

Таблица 1. Содержание фотосинтетических пигментов (мг/г сух. массы) и тяжелых металлов (мг/кг) в листовой пластинке дендроинтродуцентов на обследуемых территориях

Площадки наблюдения	Хл. <i>a</i>	Хл. <i>b</i>	Каротиноиды	<i>a / b</i>	<i>(a+b)/кап</i>	Ni	Cu
<i>Syringa josikaea</i>							
Контроль	0,37±0,065	0,09±0,015	0,11±0,020	4,16	4,14	10,28	15,66
Апатиты 1	0,40±0,022	0,10±0,003	0,13±0,009	4,12	4,02	5,51	12,76
Апатиты 2	<u>0,88±0,080</u>	<u>0,25±0,022</u>	<u>0,20±0,021</u>	3,52	5,73	27,14	11,04
Мурманск 1	0,77±0,036	0,24±0,013	0,17±0,008	3,15	5,87	34,27	<u>28,25</u>
Мурманск 2	0,60±0,005	0,18±0,011	0,14±0,010	3,26	5,51	17,37	11,17
Мончегорск 1	0,55±0,075	0,24±0,012	0,12±0,024	2,31	<u>6,45</u>	<u>76,07</u>	16,47
Мончегорск 2	0,43±0,101	0,22±0,102	0,10±0,051	2,27	6,36	58,54	14,72
<i>Rosa rugosa</i>							
Контроль	0,58±0,041	0,18±0,012	0,14±0,008	3,16	5,48	2,52	5,88
Апатиты 1	0,68±0,031	0,21±0,008	<u>0,16±0,006</u>	3,18	5,57	7,42	8,28
Апатиты 2	0,35±0,032	0,11±0,010	0,09±0,009	3,23	4,86	4,16	4,95
Мурманск 1	0,53±0,017	0,15±0,008	0,12±0,006	3,57	5,47	11,99	10,27
Мурманск 2	<u>0,69±0,041</u>	<u>0,21±0,012</u>	0,15±0,010	3,21	<u>6,07</u>	7,31	8,26
Мончегорск 1	0,49±0,030	0,16±0,008	0,12±0,007	2,99	5,47	<u>72,67</u>	<u>23,25</u>
Мончегорск 2	0,55±0,056	0,15±0,032	0,16±0,012	<u>3,80</u>	4,39	29,99	11,98
<i>Spiraea media</i>							
Контроль	0,45±0,035	0,13±0,006	0,13±0,012	3,46	4,48	3,98	3,41
Апатиты 1	0,55±0,053	0,15±0,035	0,16±0,010	3,68	4,36	6,44	7,53
Апатиты 2	0,47±0,012	0,14±0,003	0,15±0,004	3,50	4,06	4,82	4,35
Мурманск 1	0,68±0,005	0,19±0,009	0,19±0,003	<u>3,70</u>	4,59	14,22	10,00
Мурманск 2	<u>0,79±0,031</u>	<u>0,26±0,013</u>	<u>0,20±0,010</u>	3,10	5,37	7,04	7,05
Мончегорск 1	0,66±0,053	0,20±0,013	0,16±0,015	3,21	<u>5,44</u>	<u>112,88</u>	<u>35,14</u>
Мончегорск 2	0,58±0,016	0,18±0,006	0,16±0,001	3,17	4,88	46,35	13,91
<i>Spiraea salicifolia</i>							
Контроль	0,54±0,034	0,15±0,007	0,14±0,013	3,59	4,8	6,53	5,68
Апатиты 1	0,59±0,040	0,17±0,012	0,14±0,011	3,55	5,41	8,62	11,03
Апатиты 2	<u>1,31±0,120</u>	<u>0,37±0,041</u>	<u>0,32±0,049</u>	3,58	5,22	7,88	7,92
Мурманск 1	1,28±0,081	0,37±0,025	0,29±0,015	3,44	<u>5,61</u>	13,37	10,19
Мурманск 2	0,78±0,089	0,21±0,025	0,21±0,027	3,66	4,66	11,32	10,12
Мончегорск 1	0,54±0,045	0,14±0,022	0,15±0,012	<u>3,93</u>	4,56	46,78	<u>12,91</u>
Мончегорск 2	0,73±0,036	0,19±0,013	0,22±0,008	3,78	4,27	<u>49,16</u>	12,12

Примечание: 1 – площадки в непосредственной близости от автомобильных дорог; 2 – площадки на некотором удалении от автодорог; курсивом выделены максимальные значения

Результаты. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях интродуцированных кустарников показал, что существует видовая специфичность распределения этих показателей (табл. 1). Количество хлорофилла и каротиноидов в ассимилирующих органах растений на урбанизированных территориях было нестабильным даже в условиях одного города. Наиболее высоким содержанием пигментов в растениях городов характеризуется *Spiraea salicifolia*, менее всего - *Rosa rugosa*. По накоплению тяжелых металлов, как в городах, так и в дендрарии ПАБСИ лидирующее положение преимущественно заняла *Syringa josikaea*. Для данного вида растения выявлено увеличенное содержание компонентов пигментного фонда по сравнению с контролем. Только в листьях этого кустарника отчетливо наблюдается с ростом загрязнения снижение величины отношения хлорофилла a/b и увеличение значения отношения суммы хлорофиллов к каротиноидам. Такие соотношения являются информативными показателями активности фотосинтеза [6].

Снижение величины отношения хлорофилла a/b в условиях загрязнения газообразными токсичными веществами может свидетельствовать о газостойкости растений [5]. Как правило, хлорофилл a более лабилен в отношении любых способов нарушения естественного пигментного комплекса [6]. Соотношение $(a+b)/\text{каротиноиды}$ в норме стабильно и очень чутко реагирует на изменения различных факторов среды. Показано, что тенденция к уменьшению отношения $(a+b)/\text{каротиноиды}$ свидетельствует о снижении светособирающей функции пигментного комплекса под воздействием неблагоприятных погодных условий [17].

На рис. 1 отображена достоверная линейная зависимость (при $p < 0,05$, $n=7$) вышеуказанных соотношений от содержания Ni в листьях *Syringa josikaea* (для Si , как биогенного элемента, значимых высоких коэффициентов корреляции не получено). Таким образом, можно предположить, что *Syringa josikaea* в урбаноусловиях Кольского Заполярья является газостойчивым видом, и стратегия ее адаптации выражается в увеличении светособирающей способности пигментного фонда.

Для двух видов *Spiraea*, произрастающих в городах, отмечаются также более высокие содержания пигментов относительно дендрария ПАБСИ. По концентрации тяжелых металлов больше выделяется *Spiraea salicifolia* (за исключением г. Мончегорск). Следует отметить, что у данного вида спиреи наблюдалось увеличение значения отношения хлорофилла a/b при большем уровне загрязнения (Мончегорск). По мнению В.С. Николаевского (1979) такой факт может стать признаком адаптации фотосинтетического аппарата к воздействию неблагоприятных факторов среды (запыленность, эмиссии промышленных газов). Характерно, что величина отношения суммы хлорофиллов к каротиноидам с ростом содержания металлов в листьях *Spiraea salicifolia* не увеличилась, что связано с возрастом

доли каротиноидов. Именно им принадлежит важнейшая роль в защите зеленых пигментов листа от фотоокисления [9].

В листьях *Spiraea media* отмечена тенденция снижения отношения хлорофилла a/b и увеличение $a+b/\text{каротиноиды}$ с ростом техногенной нагрузки (содержание Ni) подобно *Syringa josikaea* только в меньшем диапазоне значений. Проведенный корреляционный анализ зависимости содержания пигментов в листовой пластине от концентрации металлов для обеих спирей показал низкие значения.

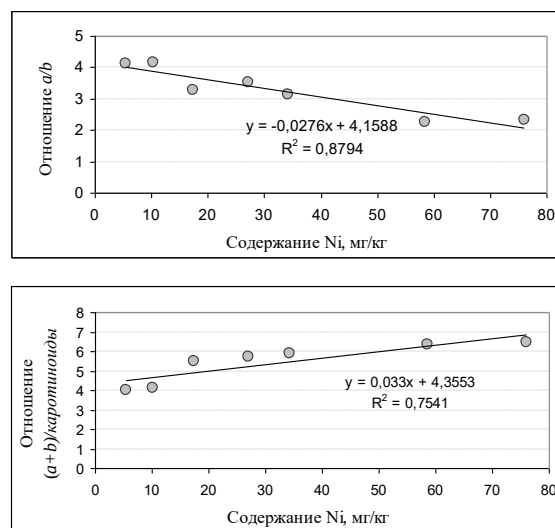


Рис. 1. Зависимость отношений хлорофилла a/b , $(a+b)/\text{каротиноиды}$ от содержания Ni в листьях *Syringa josikaea* на исследуемых территориях

В листьях *Rosa rugosa* в зависимости от условий произрастания наблюдалось как увеличение содержания пигментов относительно контрольного участка, так и их снижение, причем это не было связано с уровнем загрязнения, поскольку минимальное содержание всех пигментов отмечено в Апатитах. Для данного растения на фоне остальных кустарников в зоне условного контроля можно отметить минимальное значение отношения хлорофилла a/b и максимальное: хлорофилл $a+b$ / каротиноиды. Доля каротиноидов в пигментном комплексе здесь ниже, чем зеленых пигментов, тогда как у других изученных растений она на уровне хлорофилла b и даже выше. Рассчитанные коэффициенты корреляции между содержанием пигментов, их соотношений и накоплением никеля и меди в листьях шиповника не выявили наличие функциональных связей.

Достаточно высокий уровень запыленности и загрязненности листьев кустарников, произрастающих в городах, может приводить к нарушению процессов фотосинтеза и снижению выработки пигментов, но полученные результаты свидетельствуют о вероятном включении компенсаторных механизмов, приводящих к активизации ассимилирующей активности. Механизмы адаптации фотосинтетического аппарата древесных интродуцентов представляют интерес для дальнейшего изучения.

Выводы:

1. Установлено, что при существующем уровне техногенного загрязнения окружающей среды урбанизированных территорий Мурманской области в ассимилирующих органах *Syringa josikaea*, *Spiraea salicifolia* и *Spiraea media*, в меньшей степени *Rosa rugosa* наблюдается увеличение фотосинтетической активности. Для каждого вида изученного растения выявлен индивидуальный характер распределения пигментного фонда ассимилирующего аппарата. В условиях городской среды наибольшая способность к синтезу хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов выражена у *Spiraea salicifolia*.

2. Среди исследованных кустарников, используемых в озеленении городов, наиболее высокое содержание тяжелых металлов (Ni, Cu) в листьях отмечено у *Syringa josikaea*. Для данного интродукта выявлены адаптационные изменения фотосинтетического аппарата в ответ на воздействие никеля, выражающиеся в увеличении светособирающей способности пигментного фонда. Определено, что *Syringa josikaea* является газоустойчивым видом в условиях Кольской Арктики. Для остальных видов декоративных кустарников достоверного влияния тяжелых металлов на ассимиляционную активность не выявлено.

3. Показано, что изученные дендроинтродукты можно успешно использовать в зеленом оформлении заполярных городов, создавая их эстетическую привлекательность и улучшая экологическую обстановку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аврорин, Н.А. Чем озеленять города и поселки Мурманской области и северных районов Карело-Финской ССР. – Кировск, 1941. 126 с.
2. Бухарина, И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / И.Л. Бухарина, Т.М. Поварнишина, К.Е. Ведерников. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. 216 с.
3. Бухарина, И.Л. Биоэкологические особенности древесных растений и обоснование их использования в целях экологической оптимизации урбаноосреды (на примере г. Ижевска): Автореф. дис. д.б.н. – Тольятти, 2009. 36 с.
4. Веретенников, А.В. Физиология растений с основами биохимии. – Воронеж: ВГУ, 1987. 256 с.
5. Гетко, Н.В. Растения в техногенной среде: Структура и функция ассимиляционного аппарата. – Минск: Наука и техника, 1989. 205 с.
6. Годнев, Т.Н. Хлорофилл: Его строение и образование в растении. – Минск: Изд-во Акад. наук БССР, 1963. 319 с.
7. Гонтарь, О.Б. Зеленое строительство в городах Мурманской области / О.Б. Гонтарь, В.К. Жиров, Л.А. Казаков и др. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2010. 224 с.
8. Горышина, Т. К. Экология растений. – М.: Высш. школа, 1979. 368 с.
9. Гудвин, Т. Введение в биохимию растений / Т. Гудвин, Э. Мерсер. – М.: Мир, 1986. 312 с.
10. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2015 году. Интернет ресурс: <http://mpr.gov-murman.ru>
11. Евдокимова, Г.А. Эколого-микробиологические основы охраны почв Крайнего Севера. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1995. 272 с.
12. Илькун, Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. – Киев: Наукова думка, 1978. 246 с.
13. Легощина, О.М. Адаптация фотосинтетического аппарата хвои *Picea obovata* Ledeb. в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово / О.М. Легощина, О.А. Неверова, А.А. Быков // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18, № 2. С. 132-135.
14. Неверова, О.А. Некоторые особенности физиолого-биохимического и анатомического строения ассимиляционного аппарата березы бородавчатой в условиях техногенного загрязнения г. Кемерово // Экологические и метеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. – СПб.: РГТУ, 1999. С.98-100.
15. Николаевский, В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. – Новосибирск: Наука, 1979. 213 с.
16. Николаевский, В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. 220 с.
17. Титова, М. С. Динамика фотосинтезирующей активности хвои *Picea ajanensis* и *Picea Smithiana* в условиях зелёной зоны г. Уссурийска / М. С. Титова, Н. Г. Розломий // «Живые и биокосные системы». 2015. № 12; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-12/article-4>.
18. Чистякова, С.Б. Охрана окружающей среды. – М.: Стройиздат, 1988. 272 с.
19. Lichtenthaler, H.K. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents / H.K. Lichtenthaler, A.R. Wellburn // Biochemical society transactions. 1983. Vol. 11. No. 5. P. 591-592.

RESEARCH THE LEAVES PHOTOSYNTHETIC APPARATUS PLASTICITY AT ARBOREAL INTRODUCED PLANTS IN THE CONDITIONS OF KOLA ARCTIC ENVIRONMENT

© 2017 N.V. Saltan^{1,2}, E.P. Shlapak¹, V.K. Zhironov^{1,2}, E.A. Svyatkovskaya¹, O.B. Gontar^{1,2}, N.N. Trostenyuk¹

¹Polar Alpine Botanical Garden-Institute named after N.A. Avrorin KSC RAS

²Apatity Branch of Murmansk State Technical University

The activity of photosynthetic apparatus of arboreal introduced plants assimilating organs in the urbanized territories of Murmansk oblast has been studied. It has been established that photosynthetic activity increases in the

leaves of *Syringa josikaea* Jacq. Fil, *Spiraea salicifolia* L. and *Spiraea media* Franz Schmidt and, to a lesser extent, *Rosa rugosa* Thunb. at the current level of industrial pollution in cities. Adaptation changes in the plastid apparatus of the leaves *Syringa josikaea* as a response to the action of nickel are revealed. It's expressed in increasing the light-gathering power of the pigment complex.

Key words: *photosynthetic pigment, leaf, arboreal introduced plants, adaptation, urban areas*

Natalia Saltan, Candidate of Biology, Research Fellow at the Laboratory of Decorative Floriculture and Gardening, Deputy Head of the Geoecology Department. E-mail: saltan.natalya@mail.ru
Evgeniya Shlapak, Minor Research Fellow at the Laboratory of Decorative Floriculture and Gardening. E-mail: evgeniashl@mail.ru
Vladimir Zhironov, Corresponding Member of RAS, Doctor of Biology, Professor, Director, Head of the Geoecology Department. E-mail: v_zhironov_1952@mail.ru
Ekaterina Svyatkovskaya, Research Fellow at the Laboratory of Decorative Floriculture and Gardening. E-mail: sviatkovskaya@mail.ru
Oksana Gontar, Candidate of Biology, Deputy Director on Scientific Work, Associate professor at the Geoecology Department. E-mail: gontar_ob@mail.ru
Nadezhda Trostenyuk, Research Fellow at the Laboratory of Plants Introduction and Acclimatization. E-mail: tnn_aprec@mail.ru.