

## Изменение фотосинтетической активности древесных растений в условиях угольного терминала

© 2019. Н. В. Салтан, к. б. н., н. с., Е. А. Святковская, н. с.,  
Е. П. Шлапак, м. н. с., Н. Н. Тростенюк, н. с.,  
О. Б. Гонтарь, врио директора, к. б. н.,

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН,  
184209, Россия, Мурманская область, г. Апатиты, Академгородок, д. 15а,  
e-mail: saltan.natalya@mail.ru

Проанализировано содержание фотосинтетических пигментов в листьях аборигенных и интродуцированных древесных растений, подверженных влиянию угольного терминала Мурманского морского торгового порта для подбора устойчивых видов, способных улучшить экологические условия на территории промплощадки и г. Мурманска в целом. Объектами исследования послужили аборигенные растения (*Betula* sp., *Salix* sp., *Sorbus gorodkovii* Pojark, *Pinus friesiana* Wichura) и интродуценты (*Picea glauca* (Moench) Voss, *Larix sibirica* Ledeb). В конце августа 2017 г. отобраны пробы срединных листьев растений. В спиртовых экстрактах свежих образцов определено количество фотосинтетических пигментов: хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов спектрофотометрическим методом. Выявлено, что их наибольшее содержание в ассимилирующих органах листовых пород деревьев. Основная доля в светопоглощающем комплексе принадлежит хлорофиллу *a*. У *Betula* sp., *Salix* sp. и *Larix sibirica* на промплощадке наблюдается преобладание каротиноидов над хлорофиллом *b*, выполняющих протекторную функцию в растительном организме. У изученных деревьев содержание пигментов выше в условиях порта, чем в городе, исключение составила *Sorbus gorodkovii*. Показано, что влияние угольного терминала не является значительным при воздействии на пигментный фонд обследуемых растений. Древесные виды успешно адаптированы к существующим условиям и могут быть рекомендованы при создании санитарно-защитных полос из зелёных насаждений, экранирующих распространение пыли в воздушной среде города.

**Ключевые слова:** фотосинтетические пигменты, ассимиляционный аппарат, древесные растения, городская среда, угольная пыль.

## Changes in the photosynthetic activity of wood plants under a coal terminal environment

© 2019. N. V. Saltan ORCID: 0000-0002-5905-9774, E. A. Sviatkovskaya ORCID: 0000-0002-4069-7020,  
E. P. Shlapak ORCID: 0000-0003-4336-6136, N. N. Trostenyuk ORCID: 0000-0002-6574-9624,  
O. B. Gontar ORCID: 0000-0002-2968-7470

Polar-alpine botanical garden-institute of Kola Science Centre of RAS,  
15a, Academgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209,  
e-mail: saltan.natalya@mail.ru

The aim of our work was to study the photosynthetic pigment content in the leaves of native and introduced woody plants that are affected by the coal terminal activities, in order to select a resistant species that could improve the environmental conditions of the terminal site and the city of Murmansk in general. The objects of our study were the native (*Betula* sp., *Salix* sp., *Sorbus gorodkovii* Pojark, *Pinus friesiana* Wichura) and introduced plant species (*Picea glauca* (Moench) Voss, *Larix sibirica* Ledeb), growing within and outside the seaport territory (Murmansk). At the end of August 2017, medium-sized leaves of the plants were sampled. A spectrophotometric analysis of the raw sample alcohol extracts revealed the following photosynthetic pigments: chlorophylls *a*, *b*, and carotenoids. It has been revealed that the hardwood species had the highest photosynthetic pigment content. Chlorophyll *a* formed the major component of the light-harvesting complex. In *Betula* sp., *Salix* sp., *Larix sibirica* growing within the terminal territory, carotenoids prevailed over chlorophyll *b*. These pigments perform a protective function for the plants. For the majority of the tree species in the study (except for *Sorbus gorodkovii*), the pigment content in the seaport was higher than the content of the trees in the city. It has been shown that the coal terminal does not have a significant impact on the photosynthetic pigment content in the leaves of the plants under consideration. These plant species have successfully adapted to the existing conditions; therefore, we can recommend using them for protective forest belts to shield the city from dust.

**Keywords:** photosynthetic pigments, assimilation apparatus, woody plants, urban environment, coal dust.

Одной из современных экологических проблем является создание благоприятной городской среды для здоровья и полноценной жизнедеятельности человека. Среди множества функций древесных растений в городе особо выделена их роль в качестве санитарных фильтров [1–5]. Способность зелёных насаждений очищать воздух от вредных примесей зависит от видового состава и полноты древостоев, формы и ажурности крон, высоты и размещения деревьев и кустарников [6–8]. Дисбаланс естественных физиологических функций и процессов в растениях в условиях городской среды является ответной реакцией организма на негативные факторы [9]. Одним из чувствительных физиологических процессов растений к внешнему воздействию является фотосинтез [10–12].

Промышленное загрязнение атмосферного воздуха приводит к разнонаправленному изменению содержания и соотношения пигментов в листьях древесных растений [13–18]. В ряде работ показано, что у деревьев в городской среде наблюдается снижение фотосинтетической способности их ассимиляционного аппарата [19, 20]. К одним из факторов, понижающих эту способность, относят пыль и сажу в воздухе. Другими исследователями выявлен рост содержания зелёных пигментов, связываемый с развитием адаптации растений к стрессовому воздействию [21, 22].

Цель настоящей работы – анализ содержания пигментов фотосинтеза в листьях/хвое аборигенных и интродуцированных древесных растений, подверженных влиянию угольного терминала Мурманского морского торгового порта (ММТП) для подбора устойчивых видов, способных улучшить экологические условия на территории промплощадки и в г. Мурманске в целом.

### Материалы и методы

К одному из потенциальных источников влияния промышленной инфраструктуры г. Мурманска на экологическую обстановку относится деятельность ММТП, осуществляющего перевалку экспортной угольной продукции, приводящую к повышению содержания взвешенных веществ в атмосферном воздухе, увеличивая тем самым экологические риски.

Для проведения исследований заложено 5 пробных площадок наблюдений (ППН) размером 10 x 10 м (№№ 1, 2 – на территории ММТП (10–20 м от угольного терминала) и №№ 3–5 – за её пределами, в черте г. Мурманска). Объектами исследования по-

служили аборигенные растения (*Betula* sp., *Salix* sp., *Sorbus gorodkovii*, *Pinus friesiana*) и интродуценты (*Picea glauca*, *Larix sibirica*). Необходимо отметить, что *Picea glauca*, *Larix sibirica*, *Pinus friesiana* высажены в порту в исследуемый год (июнь 2017) крупномерными растениями, полученными из питомника Полярно-альпийского ботанического сада-института (г. Апатиты). Посадка крупномеров осуществлена с целью дополнительного осаждения твёрдых пылевых частиц.

В конце вегетационного периода 2017 г. (август) отобраны пробы срединных листьев вышеуказанных видов растений. В спиртовых экстрактах (96% этанол) свежих образцов было определено содержание фотосинтетических пигментов: хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов спектрофотометрическим методом при длинах волн  $\lambda = 665, 649$  и  $470$  нм соответственно, расчёты сделаны по формулам для сырого веса [23]. Оценку состояния древесных пород определяли по методике [24].

### Результаты и обсуждение

Полученные результаты показали (рис. 1), что наибольшее содержание хлорофилла *a* характерно для лиственных деревьев, особенно для *Betula* (порт). У хвойных пород данный показатель выше у *Larix sibirica* (порт), наиболее низкий – у *Pinus friesiana* (город). Сравнительный анализ продемонстрировал, что для большинства видов (за исключением *Sorbus gorodkovii*) содержание хлорофилла *a* выше в порту, чем в городе. Для *Salix* sp. не выявлено значимых различий, только диапазон содержания хлорофилла *a* шире в городе. *Picea glauca* в городе не обнаружена, поэтому результаты приводятся только для территории промплощадки ММТП, здесь содержание данного пигмента на уровне *Pinus friesiana*. Таким образом, для большинства видов изученных растений снижение содержания хлорофилла *a* под влиянием угольной пыли не наблюдалось.

Оценка состояния растений показала, что лиственные породы в городе значительно лучше, чем на территории порта (рис. 2). Хвойные интродуценты (*Larix sibirica*, *Picea glauca*) в первый год посадки на промплощадке были преимущественно без признаков ослабления, только у *Pinus friesiana* доминируют экземпляры в ослабленном состоянии.

Количество хлорофилла *b* находилось в области более низких значений, максимум характерен для лиственных пород (рис. 3). В листьях *Betula* sp. на промплощадке показа-

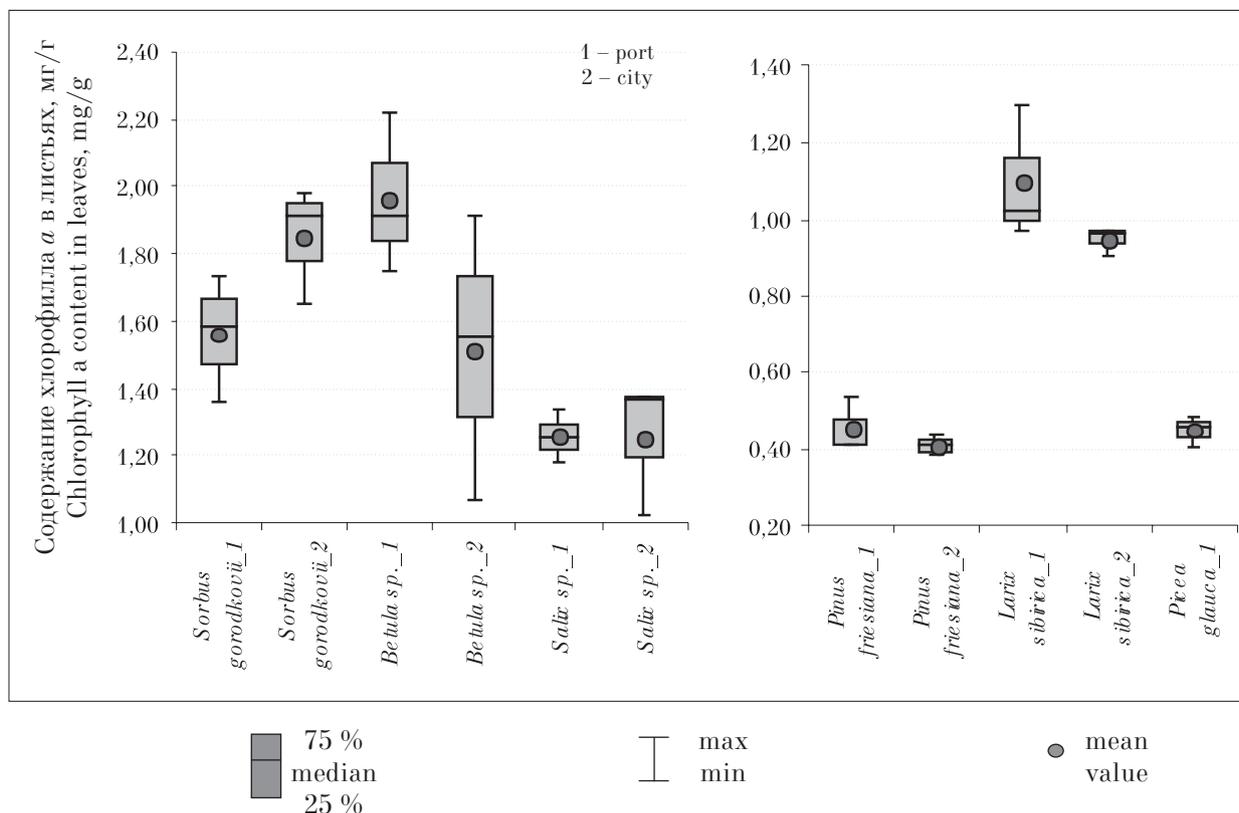


Рис. 1. Статистические параметры содержания хлорофилла *a* в листьях древесных растений  
 Fig. 1. Statistical parameters of chlorophyll *a* content in leaves of arboreal plants

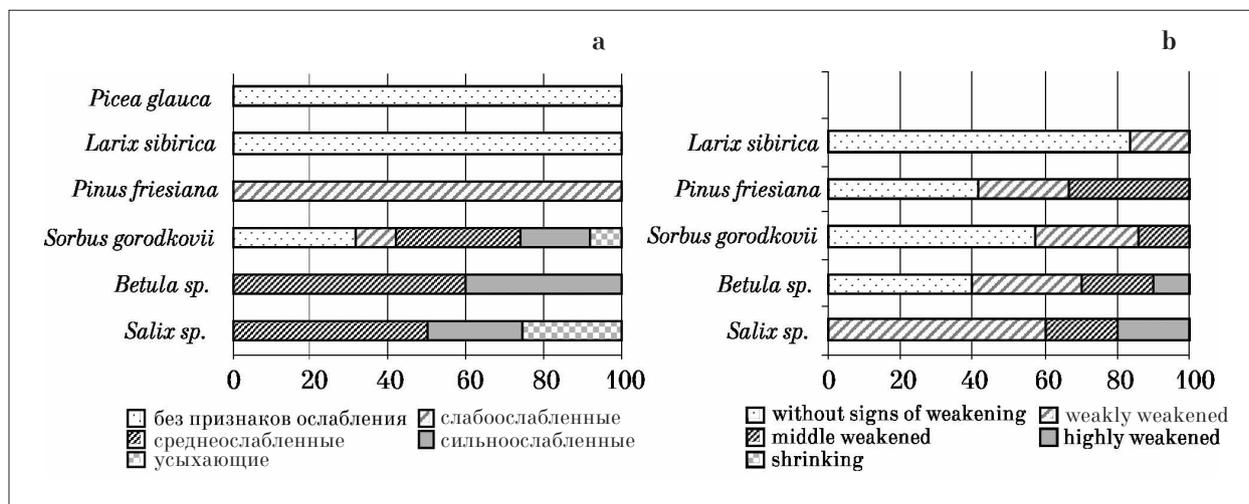


Рис. 2. Распределение по категориям состояния деревьев в порту (а) и в городе (б), %  
 Fig. 2. Distribution of woody plant conditions in the seaport (a) and the city (b) by categories, %

но увеличение содержания данного пигмента по сравнению с городом. В ассимилирующих органах остальных лиственных наблюдалась обратная картина, в особенности для *Salix* sp. Среди хвойных деревьев максимум содержания выявлен у *Larix sibirica* (город), у *Pinus friesiana* этот показатель выше в порту.

Известно, что каротиноиды выполняют протекторную функцию в растительном ор-

ганизме и увеличивают его устойчивость к стрессовым воздействиям [12]. Содержание каротиноидов у большинства видов растений несколько выше, чем хлорофилла *b*. Уменьшение количества данного пигмента в порту выявлено у *Sorbus gorodkovii* (рис. 4).

Таким образом, очевидное снижение содержания фотосинтетических пигментов в зоне влияния угольного терминала можно

констатировать только для листьев *Sorbus gorodkovii*, при этом показатель количества здоровых растений выше (32%), чем у других лиственных пород.

О степени сформированности фотосинтетического аппарата можно судить по соотношению хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* (*a/b*). Это отношение связано с активностью «главного» хлорофилла *a*, чем оно выше,

тем интенсивнее фотосинтез. В норме этот показатель должен соответствовать 2,2–3,0. Рассчитанные значения этого соотношения в нашем исследовании выше нормального (табл.), поэтому факт повышения содержания хлорофилла *a* в данных образцах можно рассматривать как приспособление растений к неблагоприятным условиям среды. Наиболее высокие значения полученного соотношения

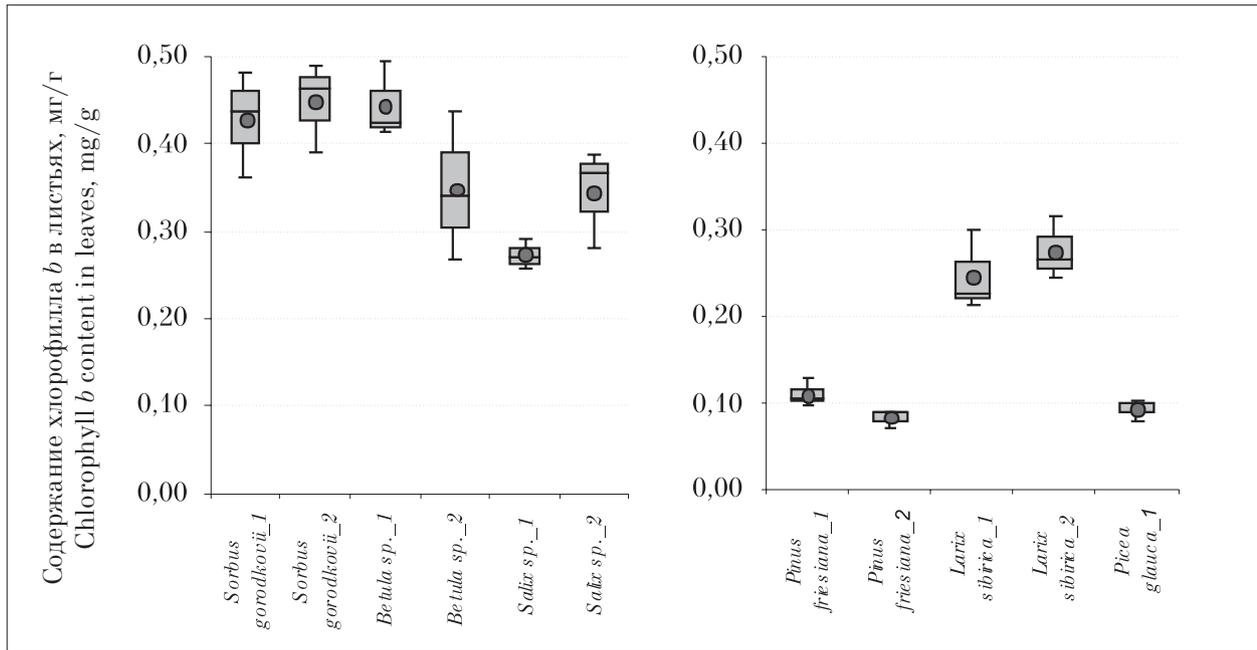


Рис. 3. Статистические параметры содержания хлорофилла *b* в листьях: 1 – порт; 2 – город  
 Fig. 3. Statistical parameters of chlorophyll *b* content in leaves: 1 – port; 2 – city

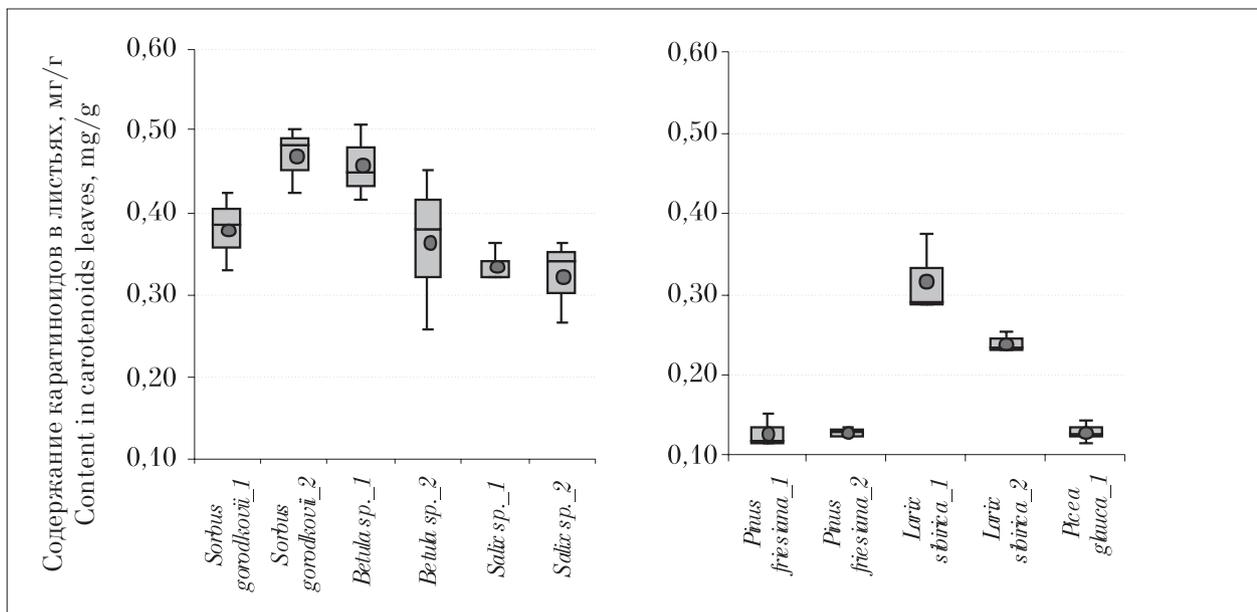


Рис. 4. Статистические параметры содержания каротиноидов (мг/г) в листьях древесных растений: 1 – порт; 2 – город  
 Fig. 4. Statistical parameters of carotenoids content (mg/g) in leaves of arboreal plants: 1 – port; 2 – city

Таблица / Table

Величина соотношения фотосинтетических пигментов в листьях растений  
Correlation of photosynthetic pigment content in the lamina of the trees

Вид растения Species of plant	a/b		a + b/каротиноиды a + b/carotenoids	
	порт / port	город / city	порт / port	город / city
<i>Sorbus gorodkovii</i>	<u>3,67</u>	4,14	<b>5,25</b>	4,89
<i>Betula</i> sp.	4,41	4,32	<b>5,25</b>	5,12
<i>Salix</i> sp.	4,62	3,65	4,57	4,95
<i>Pinus friesiana</i>	4,11	<b>4,94</b>	4,41	<u>3,85</u>
<i>Larix sibirica</i>	4,46	<u>3,47</u>	<u>4,22</u>	<b>5,13</b>
<i>Picea glauca</i>	<b>4,81</b>	–	<u>4,22</u>	–

Примечание: курсивом с подчёркиванием выделены минимальные значения, жирным шрифтом – максимальные; «–» – данные отсутствуют.

Note: the minimum values are underlined; the maximum values are shown in bold; “–” – no date.

характерны для *Picea glauca* – в порту и *Pinus friesiana* – в городе. Самая низкая величина в порту отмечена в листьях *Sorbus gorodkovii*, в городе – *Larix sibirica*.

Отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам (a+b/каротиноиды) играет существенную роль при характеристике работы фотосинтетического аппарата, в норме оно стабильно и очень чутко реагирует на изменения различных факторов среды. При сравнении полученных величин, в зависимости от условий произрастания можно отметить, что более высокие значения характерны для *Sorbus gorodkovii* и *Betula* sp. в порту. Активация синтеза пигментов может быть связана с необходимостью поддержания фотосинтетических процессов на определённом уровне в неблагоприятных условиях произрастания.

Таким образом, для создания защитных насаждений против взвешенных веществ на промплощадке ММТП важно использовать адаптированные к данному типу и уровню загрязнения породы деревьев.

### Заключение

По содержанию фотосинтетических пигментов в ассимилирующих органах выделяются листовые породы деревьев, в особенности *Betula* sp. и *Sorbus gorodkovii*. Среди хвойных по этому показателю доминирует *Larix sibirica*. Основная доля в светопоглощающем комплексе принадлежит хлорофиллу a. У *Betula* sp., *Salix* sp. и *Larix sibirica* на промплощадке ММТП наблюдается преобладание каротиноидов над хлорофиллом b, выполняющих протекторную функцию в растительном организме. Для большинства видов деревьев содержание пигментов выше в условиях порта,

чем в городе. Исключение составила *Sorbus gorodkovii*, состояние которой не вызывает опасения. Проведённые исследования показали, что влияние угольного терминала не является значительным при воздействии на пигментный фонд растений. Исследованные виды (*Betula* sp., *Salix* sp., *Sorbus gorodkovii*, *Pinus friesiana*, *Picea glauca*, *Larix sibirica*) успешно адаптированы к существующим условиям и могут быть рекомендованы при создании санитарно-защитных полос из зелёных насаждений, экранирующих распространение пылевых частиц на г. Мурманск.

### Литература

1. Dochiger L.S. Interception of airborne particles by tree plantings // J. Eirvir. Qual. 1980. No. 2. P. 265–268.
2. Dorney R.S., Mclellan P.W. The urban ecosystem: its spatial structure, its scale relationships, and its subsystem attributes // Environment. 1984. V. 16. No. 1. P. 9–20.
3. Forman R.T.T., Gordon M. Landscape ecology. New York: John Wiley and Sons, 1986. 240 p.
4. Supuka J. Ecological importance of woody plants in reduction of the reduction on the solid particles impacts in settlements // Folia Dendrologica. 1997. No. 1–2. P. 85–95.
5. Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю. Древесные растения и урбанизированная среда: Экологические и биотехнологические аспекты. Новосибирск: Наука, 2003. 222 с.
6. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 124 с.
7. Спицына Н.Т., Скрипальщикова Л.Н. Фитомасса и пылеаккумулирующие свойства берёзовых лесов в условиях открытых горных разработок // Экология. 1991. № 6. С. 17–20.
8. Бухарина И.Л., Двоглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений

в городских насаждениях. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2010. 184 с.

9. Bassuk N., Whitlow T. Environmental stress in street trees // *Arboricultural journal*. 1988. V. 12. No. 2. P. 195–201.

10. Darral N.M. The effect of air pollutants on physiological processes in plants // *Plant. Cell and Environment*. 1989. V. 12. P. 1–30.

11. Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: An overview // *Photosynthetica*. 2013. V. 51. No. 2. P. 163–190.

12. Jaleel C.A., Manivannan P., Wahid A. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition // *Int. J. Agr. Biol.* 2009. V. 11. No. 1. P. 100–105.

13. Gostin I.N. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2009. V. 37. No. 2. P. 57.

14. Saibo N.J.M., Lourenzo T., Oliveira M.M. Transcription factors and regulation of photosynthetic and related metabolism under environmental stresses // *Annals of botany*. 2009. V. 103. No. 4. P. 609–623.

15. Gomes M.P., Marques T.C.L., Nogueira M.O.G., Castro E.M., Soares B.M. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens* // *Scientia Agricola*. 2011. V. 68. No. 5. P. 566–573.

16. Biswal B., Joshi P.N., Raval M.K., Biswal U.C. Photosynthesis, a global sensor of environmental stress in green plants: stress signaling and adaptation // *Current Science*. 2011. V. 101. No. 1. P. 47–56.

17. Гетко Н.В. Растения в техногенной среде. Минск: Наука и техника, 1989. 208 с.

18. Черкашина М.В., Петухова Г.А. Влияние техногенной нагрузки на изменение содержания пигментов фотосинтеза и степени окраски древесных и травянистых растений // *Современные наукоёмкие технологии*. 2007. № 5. С. 81–82.

19. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. 220 с.

20. Легощина О.М., Неверова О.А., Быков А.А. Адаптация фотосинтетического аппарата хвои *Picea obovata* Ledeb. в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2016. Т. 18. № 2. С. 132–135.

21. Бухарина И.Л. Биоэкологические особенности древесных растений и обоснование их использования в целях экологической оптимизации урбаноосреды (на примере г. Ижевска): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Тольятти. 2009. 36 с.

22. Ситников И.А., Шаихова Д.Р., Чукина Н.В., Киселева И.С. Влияние аэротехногенного загрязнения на фотосинтетический аппарат растений *Scorzonera glabra* Rupr // *Учёные записки Петрозаводского госу-*

*дарственного университета. Серия биологическая*. 2016. № 8. С. 84–90.

23. Lichtenthaler H.R., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents // *Biochemical society transactions*. 1983. V. 11. No. 5. P. 591–592.

24. Николаевский В.С., Якубов Х.Г. Экологический мониторинг зелёных насаждений в крупном городе. Методы исследований: практ. пособие. М.: МГУЛ, 2008. 67 с.

## References

1. Dochiger L.S. Interception of airborne particles by tree plantings // *J. Environ. Qual.* 1980. No. 2. P. 265–268.

2. Dorney R.S., McLellan P.W. The urban ecosystem: its spatial structure, its scale relationships, and its subsystem attributes // *Environment*. 1984. V. 16. No. 1. P. 9–20.

3. Forman R.T.T., Gordon M. Landscape ecology. New York: John Wiley and Sons, 1986. 240 p.

4. Supuka J. Ecological importance of woody plants in reduction of the reduction on the solid particles impacts in settlements // *Folia Dendrologica*. 1997. No. 1–2. P. 85–95.

5. Neverova O.A., Kolmogorova E.Y. Woody plants and urban environments: Environmental and biotechnological aspects. Novosibirsk: Nauka, 2003. 222 p. (in Russian).

6. Kulagin Yu.Z. Woody plants and industrial environment. Moskva: Nauka, 1974. 124 p. (in Russian).

7. Spitsyna N.T., Skripalshchikova L.N. Phytomass and dust-accumulating properties of birch forests in conditions of open mining // *Ekologiya*. 1991. No. 6. P. 17–20 (in Russian).

8. Bukharina I.L., Dvoeglazova A.A. Bioecological features of herbaceous and woody plants in city. Izhevsk: Izd-vo “Udmurtskiy universitet”, 2010. 184 p. (in Russian).

9. Bassuk N., Whitlow T. Environmental stress in street trees // *Arboricultural journal*. 1988. V. 12. No. 2. P. 195–201.

10. Darral N.M. The effect of air pollutants on physiological processes in plants // *Plant. Cell and Environment*. 1989. V. 12. P. 1–30.

11. Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: An overview // *Photosynthetica*. 2013. V. 51. No. 2. P. 163–190. doi: 10.1007/s11099-013-0021-6

12. Jaleel C.A., Manivannan P., Wahid A. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition // *Int. J. Agr. Biol.* 2009. V. 11. No. 1. P. 100–105.

13. Gostin I.N. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2009. V. 37. No. 2. P. 57. doi: 10.15835/nbha3723078

14. Saibo N.J.M., Lourenzo T., Oliveira M.M. Transcription factors and regulation of photosynthetic and related metabolism under environmental stresses // *Annals*

of botany. 2009. V. 103. No. 4. P. 609–623. doi: 10.1093/aob/mcn227

15. Gomes M.P., Marques T.C.L., Nogueira M.O.G., Castro E.M., Soares B.M. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens* // *Scientia Agricola*. 2011. V. 68. No. 5. P. 566–573. doi: 10.1590/S0103-90162011000500009

16. Biswal B., Joshi P.N., Raval M.K., Biswal U.C. Photosynthesis, a global sensor of environmental stress in green plants: stress signaling and adaptation // *Current Science*. 2011. V. 101. No. 1. P. 47–56.

17. Getko N.V. The plants in technological environment. Minsk: Nauka i tekhnika, 1989. 208 p. (in Russian).

18. Cherkashina M.V., Petukhova G.A. Influence of technogenic load on photosynthesis pigments content and the degree of color of woody and herbaceous plants // *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii*. 2007. No. 5. P. 81–82 (in Russian).

19. Nikolaevskiy V.S. Environmental assessment of environmental pollution and the state of terrestrial ecosystems by methods of phytoindication. Pushkino: VNIILM, 2002. 220 p. (in Russian).

20. Legoshchina O.M., Neverova O.A., Bykov A.A. Adaptation of the photosynthetic apparatus of *Picea obovata* Ledeb. in terms of the dominant influence of emissions from the industrial zone of Kemerovo // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2016. V. 18. No. 2. P. 132–135 (in Russian).

21. Bukharina I.L. Bioecological features of woody plants and justification of their use for ecological optimization of urban environment (by the example of Izhevsk): Avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. Tolyatti. 2009. 36 p. (in Russian).

22. Sitnikov I.A., Shaikhova D.R., Chukina N.V., Kiseleva I.S. The impact of aerial technogenic pollution on the photosynthetic apparatus of plants *Scorzonera glabra* Rupr // *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya biologicheskaya*. 2016. No. 8. P. 84–90 (in Russian).

23. Lichtenthaler H.R., Wellburn A.R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls *a* and *b* of leaf extracts in different solvents // *Biochemical society transactions*. 1983. V. 11. No. 5. P. 591–592.

24. Nikolaevskiy V.S., Yakubov H.G. Environmental monitoring of green plantings in a large city. Methods of research: practical guide. Moskva: MGUL, 2008. 67 p. (in Russian).