УДК 504.054:635.92(577.11) DOI 10.23683/0321-3005-2017-3-1-56-61

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ТРАВЯНИСТЫХ МНОГОЛЕТНИКОВ ПО УРОВНЮ МАЛОНОВОГО ДИАЛЬДЕГИДА В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ

© 2017 г. О.Л. Цандекова[1], Л.Л. Седельникова[2]
[1]Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Институт экологии человека СО РАН, г. Кемерово, Россия,
[2]Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

ESTIMATION OF THE STABILITY OF HERBACEOUS PERENNIAL PLANTS ON THE LEVEL OF MALONDIALDEHYDE UNDER THE CONDITIONS OF THE URBANIZED ENVIRONMENT

O.L. Tsandekova[1], L.L. Sedelnikova[2]
[1]Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Institute of Human Ecology SB RAS, Kemerovo, Russia,
[2]Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Цандекова Оксана Леонидовна – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, лаборатория экологического биомониторинга, Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук «Институт экологии человека СО РАН», пр. Ленинградский, 10, г. Кемерово, 650065, Россия, e-mail: zandekova@bk.ru

Oksana L. Tsandekova - Candidate of Agricultural Sciense, Researcher, Laboratory of Ecological Biomonitoring, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Institute of Human Ecology SB RAS, Leningradskii Ave, 10, Kemerovo, 650065, Russia, e-mail: zandekova@bk.ru

Седельникова Людмила Леонидовна – доктор биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория интродукции декоративных растений, Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская, 101, г. Новосибирск, 630090, Россия, e-mail: lusedelnikova@yandex.ru

Lyudmila L. Sedelnikova - Doctor of Biology, Senior Researcher, Laboratory of Ornamental Plants Introduction, Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Zolotodolinskaya St., 101, Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: lusedelnikova@yandex.ru

Представлены результаты анализа содержания малонового диальдегида (МДА) в листьях травянистых декоративных многолетников, произрастающих вблизи автодорог городской среды г. Бердска Новосибирской области. Использованы виды растений: Iris hybrida hort. (Iridaceae), Hemerocallis hybrida hort. (Hemerocalliaceae), Hosta decorate Bailey (Hostaceae). Интенсивность перекисного окисления липидов в листьях растений оценивали спектрофотометрически, используя метод с применением тиобарбитуровой кислоты. Установлена видоспецифичность по накоплению МДА в листьях декоративных травянистых многолетников, произрастающих вблизи автомагистралей: Iris hybrida>Hosta decorate >Hemerocallis hybrida. Наибольшая интенсивность окислительного стресса отмечена в листьях исследуемых растений вблизи центральных городских автодорог – ул. Рогачева, ул. Ленина, ул. Лунная. В условиях городской среды в листьях Iris hybrida в течение вегетации выявлено увеличение на 13–22 % уровня МДА по сравнению с Hosta decorate и Hemerocallis hybrida. Полученные результаты могут быть использованы в экологическом биотестировании окружающей среды.

Ключевые слова: *Hemerocallis hybrida, Iris hybrida, Hosta decorate, устойчивость растений, МДА, окислительный стресс, урбанизированная среда.*

The article presents the results analysis of the malondialdehyde content in leaves of herbaceous ornamental perennials, growing near the roads of the city of Berdsk in the Novosibirsk Region. The following plant species are used: Iris hybrida hort. (Iridaceae), Hemerocallis hybrida hort. (Hemerocalliaceae), Hosta decorate Bailey (Hostaceae).The intensity of lipid peroxidation in plant leaves was assessed spectrophotometric, using a method using thiobarbituric acid. Species specificity for the accumulation of malondialdehyde in leaves of ornamental herbaceous perennials growing near motorways is established: Iris hybrida> Hosta decorate> Hemerocallis hybrida. The highest intensity of oxidative processes in the leaves of the investigated plants was noted near the central urban highways - Rogacheva St., Lenina St., Lunnaya St. In an urban environment, the Iris hybrida leaves showed a 13-22 % increase in the level of malondialdehyde during vegetation, compared to Hosta decorate and Hemerocallis hybrida. The results obtained can be used in environmental biotesting of the environment.

Keywords: *Hemerocallis hybrida, Iris hybrida, Hosta decorate, plant resistance, malondialdehyde, oxidative stress, urbanized environment.*

В условиях урбанизированной среды растения, внешне сохраняя декоративное состояние, претерпевают значительные физиолого-биохимические изменения. При воздействии разнообразных экстремальных факторов среды у растений в первую очередь повреждаются мембранные структуры и, как следствие, происходит увеличение содержания малонового диальдегида (МДА) – продукта окисления липидов в растительных тканях, что связано с активацией свободнорадикальных реакций в клетках [1–4]. В последнее десятилетие появилось много публикаций, связанных с изучением содержания антиоксидантов в растениях, произрастающих в неблагоприятных условиях окружающей среды [5–12]. Некоторые авторы отмечают повышение МДА в ассимиляционных органах растений при окислительном стрессе [13–16]. Однако в литературе недостаточно сведений по содержанию МДА как показателя оксидативного стресса в декоративных многолетниках, подвергающихся неблагоприятному воздействию факторов урбанизированной среды. Выявление межвидовых, онтогенетических и сезонных изменений этого компонента в растениях и соответствие функционирования систем антиоксидантной защиты декоративных травянистых многолетников в условиях техногенных факторов являются актуальными.

Цель работы – оценить устойчивость травянистых многолетников, произрастающих вблизи автотранспортных дорог г. Бердска Новосибирской области, по уровню МДА.

Объекты и методы исследований

Исследования проведены в 2014–2016 гг. Объектами исследований служили корневищные длительно вегетирующие, летне-осеннецветущие многолетники: *Iris hybrida* hort. (ирис гибридный) семейства Iridaceae, *Hemerocallis hybrida* hort. (лилейник гибридный) семейства Hemerocalliaceae, *Hosta decorate* Bailey (хоста декоративная) семейства Hostaceae. Для анализа взяты надземные органы (листья) хосты в периоды начала цветения (июль – 01.07–07.07**)**, массового цветения (август – 04.08–06.08**)**, плодоношения и осенней вегетации (сентябрь – 17.09–18.09); ириса гибридного (*I. hybrida*) – в периоды цветения (июль – 01.07), отцветания (август – 04.08–06.08), осенней вегетации (сентябрь – 10.09–18.09); лилейника гибридного (*H. hybrida*) – в период бутонизации (июль – 01.07–07.07), массового цветения (август – 04.08–06.08**)**, отцветания (сентябрь – 18.09–19.09). Использованы варианты: 1 – контроль (ул. Золотодолинская, Центральный сибирский ботанический сад (ЦСБС) СО РАН); г. Бердск; растения вблизи автомагистрали: 2 – ул. Красная Сибирь, 3 – ул. Ленина, 4 – ул. Лунная, 5 – ул. Рогачева, 6 – ул. Микрорайон. Контролем служили образцы, выращенные на экспозиционном участке лаборатории интродукции декоративных растений ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск. Участок расположен в районе п. Кирова, Приобский округ, лесостепная климатическая провинция, в 250–300 м от дороги второстепенного значения.

Лабораторные исследования проведены на базе ФИЦ УУХ СО РАН «Институт экологии человека СО РАН», г. Кемерово. Растительные образцы фиксировали в трихлоруксусной кислоте (ТХУК) и определяли интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) спектрофотометрическим методом [17] в модификации Г.Ф. Некрасовой, И.С. Киселевой [18] по накоплению продукта окисления – МДА, определяемого по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК). Для этого навеску листьев (300 мг) растирали в ступке с небольшим количеством реакционной смеси, состоящей из 0,25%-го раствора ТБК в 10%-м растворе ТХУК. Гомогенат переносили в стеклянную пробирку небольшими порциями реакционной смеси, конечный объем каждой пробы составлял 4 мл. Пробы перемешивали и помещали в водяную баню (до 95 ºС) на 30 мин. Затем охлаждали, помещая в сосуд с холодной водой (примерно +10 ºС). Содержимое проб центрифугировали 10 мин при 10000 g. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре LEKI SS 1207 (Финляндия) при длине волны 532 и 600 нм. Концентрацию МДА рассчитывали по формуле, используя коэффициент молярной экстинкции: $A=(Д_{532} – Д_{600})/(156\cdot0,3)$ и выражали в нмоль/г сырой массы. Статистическая обработка полученных данных и построение графиков выполнены с помощью стандартного пакета программ StatSoft STATISTICA 8.0. for Windows и Microsoft Office Excel 2007.

Результаты исследований и их обсуждение

Сравнительный анализ данных по накоплению МДА в листьях травянистых многолетников выявил индивидуальные различия у исследуемых видов в городской среде г. Бердска. Установлено, что наибольшее содержание МДА у контрольных и опытных образцов всех видов растений отмечено в фазы бутонизации и плодоношения (июль, сентябрь), наименьшее – в фазу цветения (август). В условиях городской среды в течение вегетации в листьях *Iris hybrida* значения МДА выше на 13–22 %, чем в листьях *Hemerocallis hybrida* и *Hosta decorate*.

У ириса гибридного уровень накопления МДА отличался специфичностью относительно вегетационного периода и фенофаз развития, а также зависимостью от места произрастания опытных образцов в цветниках городской среды (рис. 1). Так, по отноше-

нию к контролю содержание МДА в листьях сравнительно больше на 3–40 % у опытных растений. В период цветения *I. hybrida* значения исследуемого показателя превышали контроль в среднем на 13 %. Выявлена тенденция повышения ПОЛ в листьях *I. hybrida* в течение вегетации. Максимальное количество отмечено у исследуемых образцов в период осенней вегетации, особенно на ул. Рогачева (21,30 нмоль/г) и Ленина (18,22 нмоль/г), и превышали контрольные значения на 40 и 20 % соответственно.

В придорожных зонах исследуемых улиц г. Бердска в листьях хосты Декората в период начала цветения показатели выше в среднем на 26 % в отличие от контроля (рис. 2). Наибольшее увеличение МДА в листьях *H. decorate* отмечено в периоды цветения и плодоношения на ул. Рогачева и Лунная. Так, на этих участках показатели превысили контроль на 14–54 %.

Вблизи исследуемых автодорог в листьях лилейника гибридного выявлено увеличение МДА в период бутонизации и к осени. Наибольшие отличия от контроля отмечены по ул. Ленина (30–31 %) и Рогачева (32–52 %). В период цветения *H. hybrida* содержание МДА снижалось до 11,15 нмоль/г (рис. 3).

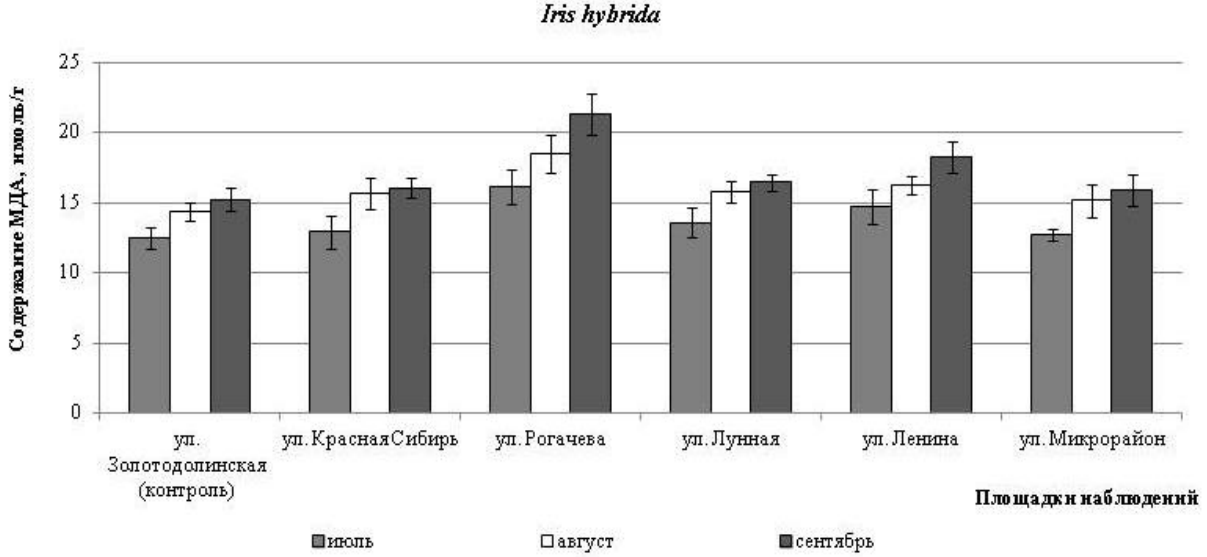

Рис. 1. Динамика накопления МДА в листьях *Iris hybrida*, произрастающих в условиях различных уровней загрязнения г. Бердска (данные представлены как среднее (X) ± SD за годы исследований (n=108, p<0,05)) / Fig. 1. Dynamics of malondialdehyde accumulation in leaves *Iris hybrida*, growing in conditions of different levels of pollution in Berdsk (The data are presented as mean (X) ± SD for years of studies (n=108, p<0.05))

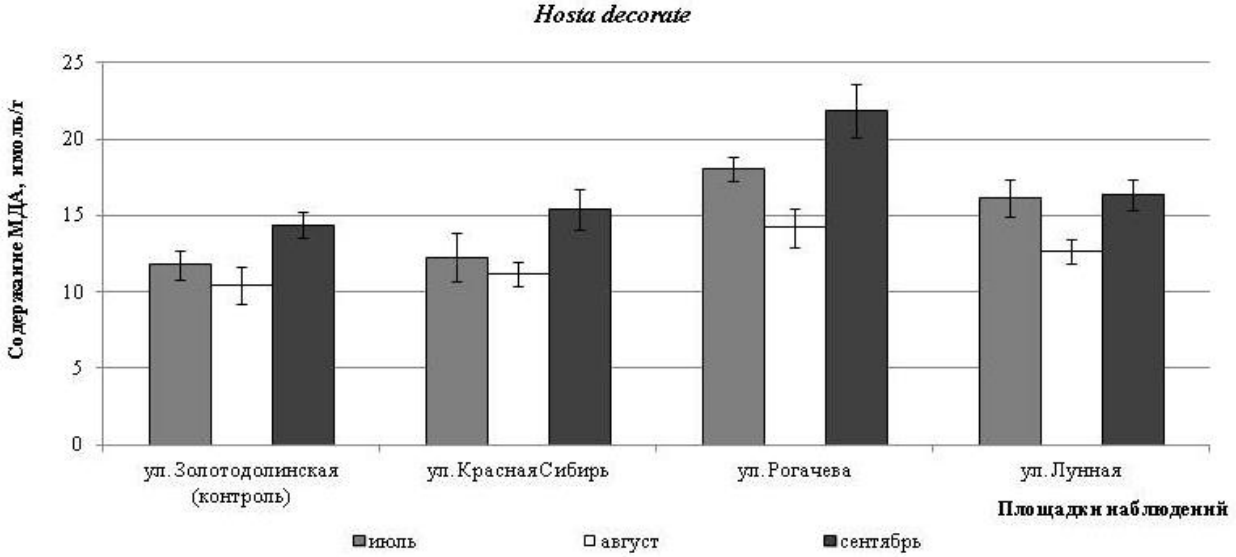

Рис. 2. Динамика накопления МДА в листьях *Hosta decorate*, произрастающих в условиях различных уровней загрязнения г. Бердска / Fig. 2. Dynamics of malondialdehyde accumulation in leaves *Hosta decorate*, growing in conditions of different levels of pollution in Berdsk

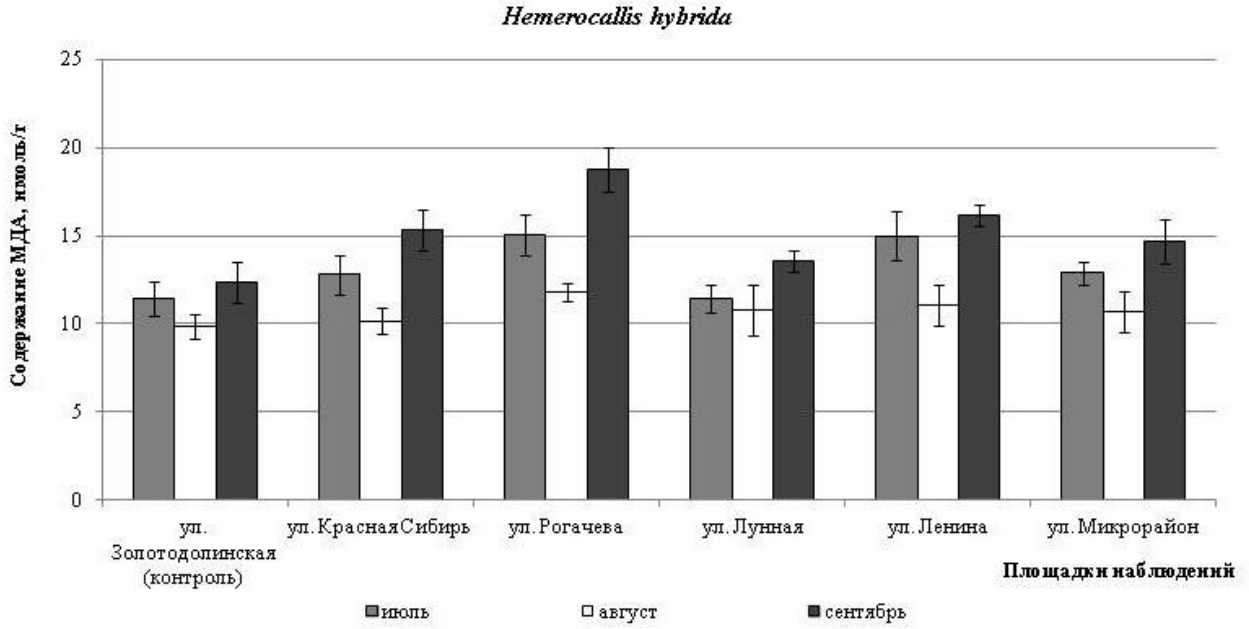

Рис. 3. Динамика накопления МДА в листьях *Hemerocallis hybrida*, произрастающих в условиях различных уровней загрязнения г. Бердска / Fig. 3. Dynamics of malondialdehyde accumulation in leaves *Hemerocallis hybrida*, growing in conditions of different levels of pollution in Berdsk

Анализ экспериментальных данных показал, что у лилейника гибридного, хосты Декората и ириса гибридного выявлено наибольшее накопление продуктов ПОЛ в зоне воздействия выбросов автотранспорта, особенно в районе центральных городских автодорог г. Бердска (ул. Рогачева, Ленина, Лунная). Вблизи второстепенных дорог тоже отмечено повышение МДА, но с изменчивостью по месяцам, в течение июля – сентября. Рост МДА приводит к повышенной выработке активных форм кислорода и повышению уровня окислительного стресса в растениях.

Растения в летний период в городской среде Бердска были устойчивы, но менее декоративны по внешнему габитусу. Общую устойчивость к неблагоприятным факторам (солнечным ожогам, пыли, болезням, вредителям) и декоративность определяли визуально по 5-балльной шкале [19, 20]. Согласно этой методике, растения оцениваются в 5 баллов с отличной декоративностью, в 4,5 – с высокой, в 4 – с декоративностью выше средней, в 3 – со средней, в 2 – с низкой, 1 – с очень низкой декоративностью. Учитываются общая приспособленность и устойчивость к местным условиям. Для хосты Декората она составляла 4,5 балла, лилейника гибридного – 4, ириса гибридного – 3, что свидетельствует о хорошей адаптационной способности данных видов к условиям городской среды и использовании их в озеленении для поддержания декоративного эффекта в течение всего вегетационного периода, несмотря на повышенный уровень окислительного стресса.

Выводы

1. В городской среде г. Бердска установлена видоспецифичность по уровню накопления МДА в листьях декоративных травянистых многолетников, произрастающих вблизи автомагистральных дорог: *Iris hybrida>Hosta decorate>Hemerocallis hybrida.*

2. Наибольшая интенсивность окислительного стресса установлена в листьях исследуемых растений, произрастающих вблизи центральных городских автодорог – ул. Рогачева, Ленина, Лунная, вследствие увеличения содержания МДА.

3. В условиях городской среды в течение вегетации в листьях *Iris hybrida* уровень МДА выше на 13–22 %, чем в листьях *Hosta decorate* и *Hemerocallis hybrida.*

4. Количественное накопление МДА в листьях травянистых растений можно использовать в качестве информативного параметра для фитоиндикации и оценки их состояния в условиях загрязнения окружающей среды выбросами автотранспорта.

Литература

1. *Жиров В.К., Голубева Е.И., Говорова А.Ф., Хаитбаев А.Х.* Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загряз-

нения на Крайнем Севере / отв. ред. Е.Е. Кислых. М. : Наука, 2007. С. 10–12.

2. *Ясар Ф., Элиальтиглу С., Ильдис К.* Действие засоления на антиокислительные защитные системы, перекисное окисление липидов и содержание хлорофилла в листьях фасоли // Физиология растений. 2008. Т. 55, № 6. С. 86–873.

3. *Филимонихина Е.Г., Лихолат Ю.В.* Устойчивость растений подтапливаемых территорий в условиях засухи в г. Кировоград // Вісн. Дніпропетровського ун-ту. Біологія. Екологія. 2011. Т. 2, № 19. С. 132–135.

4. *Kaznacheeva M.S., Tsebrzhinsky I.* Able of contents of malondialdegide in sorts of plants different on level of stability to the diseases // Вісн. Одеського національного ун-ту. Біологія. 2011. Т. 16, № 6 (24). С. 12–17.

5. *Ли Т.К., Лу Л.Л., Жу Е., Гупта Д.К., Ислам Е., Янг Х.Е.* Антиоксидантная система в корнях двух контрастных экотипов *Sedum alfredii* при повышенных концентрациях цинка // Физиология растений. 2008. Т. 55, № 6. С. 886–894.

6. *Ерофеева Е.А.* Немонотонное изменение некоторых биохимических показателей одуванчика при действии автотранспортного загрязнения // Вестн. ННГУ им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 2 (2). С. 7–81.

7. *Маслова С.П., Табаленкова Г.Н., Малышев Р.В., Головок Т.К.* Сезонные изменения роста и метаболической активности подземных побегов тысячелистника обыкновенного // Физиология растений. 2013. Т. 60, № 6. С. 86–87.

8. *Белова И.В., Глумова Н.В.* Об участии метаболитов основного обмена в формировании защитного ответа лаванды на действие низких температур // Таврический вестн. аграр. науки. 2015. № 2 (4). С. 16–21.

9. *Фазлиева Э.Р., Киселева И.С., Жуйкова Т.В.* Антиоксидантная активность листьев *Melilotus albus* и *Trifolium medium* из техногенно нарушенных местообитаний Среднего Урала при действии меди // Физиология растений. 2012. Т. 59, № 3. С. 369–375.

10. *Hu Sh., Li Yu., Wang W., Jiao Ju., Kou M., Yin Q., Xu H.* The antioxidation-related functional structure of plant communities: Understanding antioxidation at the plant community level // Ecological Indicators. 2017. Vol. 78. P. 98–107. URL: doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.007 (дата обращения: 10.04.2017).

11. *Koyro H.-W., Hussain T., Huchzermeyer B., Khan M.A.* Photosynthetic and growth responses of a perennial halophytic grass *Panicum turgidum* to increasing NaCl concentrations // Environmental and Experimental Botany. 2013. Vol. 91. P. 22–29. URL: doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.02.007 (дата обращения: 15.04.2017).

12. *Su B., Zhou M., Xu H., Zhang X., Li Yo., Su H., Xiang B.* Photosynthesis and biochemical responses to elevated O3 in *Plantago major* and *Sonchus oleraceus* growing in a lowland habitat of northern China // J. of Environmental Sciences. 2017. Vol. 53. P. 113–121. URL: doi.org/10.1016/j.jes.2016.05.011 (дата обращения: 10.04.2017).

13. *Гончарова Н.В., Ковалев В.Ф., Сермакшева Е.В.* Липидные компоненты фотосинтетических мембран растений как тест-система оксидного стресса и устойчивости агроценозов // Экол. вестн. 2014. № 1(27). С. 13–22.

14. *Ерофеева Е.А., Шаповалова К.В*. Многолетний сравнительный анализ устойчивости *Betula pendula* (Betulaceae, fagales) и *Tilia cordata* (Malvaceae, malvales) к автотранспортному загрязнению // Поволжский экол. журн. 2015. № 4. С. 390–399.

15. *Krishnamurthy A., Rathinasabapathi B.* Oxidative stress tolerance in plants // Plant Signal Behav. 2013. Vol. 8, Iss. 10: e25761. DOI: 10.4161/psb.25761.

16. *Demidchik V.* Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology // Environmental and Experimental Botany. 2015. Vol. 109. P. 212–228. URL: doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.021 (дата обращения: 15.10.2016).

17. *Uchiyama M., Mihara M.* Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test // Analytical Biochemistry. 1978. Vol. 86. P. 271–278.

18. *Некрасова Г.Ф., Киселева И.С.* Экологическая физиология растений: руководство к лабораторным и практическим занятиям. Екатеринбург : Уральский гос. ун-т, 2008. С. 28–29.

19. *Карписонова Р.А.* Оценка успешности интродукции многолетников по данным визуальных наблюдений // Тез. докл. 6-го делегат. съезда ВРО. Л., 1978. С. 175–176.

20. *Былов В.Н.* Основы сравнительной сортооценки растений // Интродукция и селекция цветочно-декоративных растений. М., 1978. С. 7–32.

References

1. Zhirov V.K., Golubeva E.I., Govorova A.F., Khaitbaev A.Kh. *Strukturno-funktsional'nye izmeneniya rastitel'nosti v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya na Krainem Severe* [Structural and functional changes in vegetation under conditions of technogenic pollution in the Far North]. Ed. E.E. Kislykh. Moscow: Nauka, 2007, pp. 10-12.

2. Yasar F., Elial'tiglu S., Il'dis K. Deistvie zasoleniya na antiokislitel'nye zashchitnye sistemy, perekisnoe okislenie lipidov i soderzhanie khlorofilla v list'yakh fasoli [The effect of salinization on antioxidant protective systems, lipid peroxidation and chlorophyll content in bean leaves]. *Fiziologiya rastenii*. 2008, vol. 55, No. 6, pp. 869-873.

3. Filimonikhina E.G., Likholat Yu.V. Ustoichivost' rastenii podtaplivaemykh territorii v usloviyakh zasukhi v g. Kirovograd [Stability of plants in flooded areas under conditions of drought in the city of Kirovograd]. *Visn. Dnipropetrovs'kogo un-tu. Biologiya. Ekologiya*. 2011, vol. 2, No. 19, pp. 132-135.

4. Kaznacheeva M.S., Tsebrzhinsky I. Able of contents of malondialdegide in sorts of plants different on level of stability to the diseases. *Visn. Odes'kogo natsional'nogo un-tu. Biologiya*. 2011, vol. 16, No. 6 (24), pp. 12-17.

5. Li T.K., Lu L.L., Zhu E., Gupta D.K., Islam E., Yang Kh.E. Antioksidantnaya sistema v kornyakh dvukh kontrastnykh ekotipov Sedum alfredii pri povyshennykh kontsentratsiyakh tsinka [Antioxidant system in the roots of two contrasting ecotypes of Sedum alfredii at elevated zinc concentrations]. *Fiziologiya rastenii*. 2008, vol. 55, No. 6, pp. 886-894.

6. Erofeeva E.A. Nemonotonnoe izmenenie nekotorykh biokhimicheskikh pokazatelei oduvanchika pri deistvii avtotransportnogo zagryazneniya [Nonmonotonic change of some biochemical indices of a dandelion under the action of motor transport contamination]. *Vest. NNGU im. N.I. Lobachevskogo*. 2011, No. 2 (2), pp. 7-81.

7. Maslova S.P., Tabalenkova G.N., Malyshev R.V., Golovok T.K. Sezonnye izmeneniya rosta i metabolicheskoi aktivnosti podzemnykh pobegov tysyachelistnika obyknovennogo [Seasonal changes in the growth and metabolic activity of the underground shoots of the yarrow]. *Fiziologiya rastenii*. 2013, vol. 60, No. 6, pp. 86-87.

8. Belova I.V., Glumova N.V. Ob uchastii metabolitov osnovnogo obmena v formirovanii zashchitnogo otveta lavandy na deistvie nizkikh temperatur [On the participation of metabolites of the basic metabolism in the formation of the protective response of lavender to the action of low temperatures]. *Tavricheskii vestn. agrar. nauki*. 2015, No. 2 (4), pp. 16-21.

9. Fazlieva E.R., Kiseleva I.S., Zhuikova T.V. Antioksidantnaya aktivnost' list'ev Melilotus albus i Trifolium medium iz tekhnogenno narushennykh mestoobitanii Srednego Urala pri deistvii medi [Antioxidant activity of the leaves of Melilotus albus and Trifolium medium from technologically disturbed habitats of the Middle Urals under the action of copper]. *Fiziologiya rastenii*. 2012, vol. 59, No. 3, pp. 369-375.

10. Hu Sh., Li Yu., Wang W., Jiao Ju., Kou M., Yin Q., Xu H. The antioxidation-related functional structure of plant communities: Understanding antioxidation at the plant community level. *Ecological Indicators*. 2017, vol. 78, pp. 98-107. Available at: doi.org/10.1016/j.ecolind. 2017.03.007 (accessed 10.04.2017).

11. Koyro H.-W., Hussain T., Huchzermeyer B., Khan M.A. Photosynthetic and growth responses of a perennial halophytic grass Panicum turgidum to increasing NaCl concentrations. *Environmental and Experimental Botany*. 2013, vol. 91, pp. 22-29. Available at: doi.org/10.1016 /j.envexpbot. 2013.02.007 (accessed 15.04.2017).

12. Su B., Zhou M., Xu H., Zhang X., Li Yo., Su H., Xiang B. Photosynthesis and biochemical responses to elevated O3 in Plantago major and Sonchus oleraceus growing in a lowland habitat of northern China. *J. of Environmental Sciences*. 2017, vol. 53, pp. 113-121. Available at: doi.org/10.1016/j.jes.2016.05.011 (accessed 10.04.2017).

13. Goncharova N.V., Kovalev V.F., Sermaksheva E.V. Lipidnye komponenty fotosinteticheskikh membran rastenii kak test-sistema oksidnogo stressa i ustoichivosti agrotsenozov [Lipid components of plant photosynthetic membranes as a test system of oxide stress and agrocenosis stability]. *Ekol. vestn*. 2014, No. 1 (27), pp. 13-22.

14. Erofeeva E.A., Shapovalova K.V. Mnogoletnii sravnitel'nyi analiz ustoichivosti Betula pendula (Betulaceae, fagales) i Tilia cordata (Malvaceae, malvales) k avtotransportnomu zagryazneniyu [Long-term comparative analysis of the stability of Betula pendula (Betulaceae, fagales) and Tilia cordata (Malvaceae, malvales) to motor transport contamination]. *Povolzhskii ekol. zhurn*. 2015, No. 4, pp. 390-399.

15. Krishnamurthy A., Rathinasabapathi B. Oxidative stress tolerance in plants. *Plant Signal Behav*. 2013, vol. 8, iss. 10, e25761, DOI 10.4161/psb.25761.

16. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany*. 2015, vol. 109, pp. 212-228. Available at: doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.021 (accessed 15.04.2017).

17. Uchiyama M., Mihara M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test. *Analytical Biochemistry*. 1978, vol. 86, pp. 271-278.

18. Nekrasova G.F., Kiseleva I.S. *Ekologicheskaya fiziologiya rastenii: rukovodstvo k laboratornym i prakticheskim zanyatiyam* [Ecological physiology of plants: a guide to laboratory and practical exercises]. Ekaterinburg: Ural'skii gos. un-t, 2008, pp. 28-29.

19. Karpisonova R.A. [Assessment of the success of the introduction of perennials according to visual observations]. *Tez. dokl. 6-go delegat. s"ezda VRO* [Abstracts of the 6th Delegate Congress of the VRO]. Leningrad, 1978, pp. 175-176.

20. Bylov V.N. [Fundamentals of comparative plant assessment of plants]. *Introduktsiya i selektsiya tsvetochno-dekorativnykh rastenii* [Introduction and selection of flower-ornamental plants]. Moscow, 1978, pp. 7-32.

Поступила в редакцию / Received ***18 апреля 2017 г. / April 10, 2017***