

11. Özcan M., Seven S. Physical and chemical analysis and fatty acid composition of peanut, peanut oil and peanut butter from COM and NC-7 cultivars // *Grasas y Aceites*. – 2003. – V. 54. – P. 12–18.
- Literatura**
1. Okladnikov Ju.N., Vorkel' Ja.B., Trubachjov I.N. i dr. Vkljuchenie v racion cheloveka chufy kak istochnika polinenasyshhennyh zhirnyh kislot // *Voprosy pitaniya*. – 1977. – № 3. – S. 45–48.
  2. Zamknutaja sistema: chelovek – vysshie rastenija. – Novosibirsk: Izd-vo Nauka, 1979. – 160 s.
  3. Cooper M., Douglas G., Perchonok M. Developing the NASA food system for long duration missions // *J. Food Sci.* – 2011. – V. 76. – P. 40–48.
  4. Normy fiziologicheskikh potrebnostej v jenergii i pishhevyyh veshhestvah dlja razlichnyh grupp naselenija Rossijskoj Federacii: metod. rekomendacii MR 2.3.1.2432-08. – M., 2008. – 30 s.
  5. Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. FAO food and nutrition paper 91. – 2010. – 170 p.
  6. Boeting K., Aguilera de Benzo Z., M. Luisa Cervera M.L. de la Guardia M. Authentication of the protected designation of origin horchata de Valencia through the chemometric treatment of mineral content // *Anal. Methods* – 2010. – V. 2. – P. 1723–1728.
  7. Liu H., Yu C.Y., Manukovsky N.S. et al. A conceptual configuration of the lunar base bioregenerative life support system including soil-like substrate for growing plants // *Adv. Space Res.* – 2008. – V. 42. – P. 1080–1088.
  8. Midorikawa Y., Fujii T., Ohira A. et al. CELSS nutrition system utilizing snails // *Acta Astronaut.* – 1993. – V., 29. – P. 645–650.
  9. Skurihin I.M., Nechaev A.P. Vsjo o pishhe s točki zrenija himika. – M.: Vyssh. shk., 1991. – 288 s.
  10. Adel A.A. M., Awad A.M., Mohamed H.H. et al. Chemical composition, physicochemical properties and fatty acid profile of Tiger Nut (*Cyperus esculentus* L.) seed oil as affected by different preparation methods // *Int. Food Res. J.* – 2015. – V. 22. – P. 1931–1938.
  11. Özcan M., Seven S. Physical and chemical analysis and fatty acid composition of peanut, peanut oil and peanut butter from COM and NC-7 cultivars // *Grasas y Aceites*. – 2003. – V. 54. – P. 12–18.



УДК 581.5: 582.632.1:630\*16

О.Л. Цандекова, О.А. Неверова

**ОСОБЕННОСТИ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ *BETULA PENDULA* ROTH.,  
ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОРОДНОГО ОТВАЛА  
КЕДРОВСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА**

O.L. Tsandekova, O.A. Neverova

**FEATURES OF ANTIOXIDANT SYSTEM OF *BETULA PENDULA* ROTH.  
IN THE CONDITIONS OF WASTE DUMP KEDROVSKY COAL CUT**

**Цандекова О.Л.** – канд. с.-х. наук, науч. сотр. Института экологии человека СО РАН, г. Кемерово. E-mail: zandekova@bk.ru

**Неверова О.А.** – д-р биол. наук, проф. каф. зоологии и экологии Кемеровского государственного университета, г. Кемерово. E-mail: Nev11@yandex.ru

**Tsandekova O.L.** – Cand. Agr. Sci., Staff Scientist, Institute of Ecology of the Man, SB RAS, Kemerovo. E-mail: zandekova@bk.ru

**Neverova O.A.** – Dr. Biol. Sci., Prof., Chair of Zoology and Ecology, Kemerovo State University, Kemerovo. E-mail: Nev11@yandex.ru

Отвалы, возникающие при открытой добыче полезных ископаемых, специфичны по экологическим условиям. В условиях породных отвалов Кузбасса наиболее пригодной для фитомелиорации является *Betula pendula* Roth., благодаря высокой семенной активности и малотребовательности к плодородию почв. Важнейшим механизмом устойчивости древесных растений в экстремальных экологических условиях является активизация многоуровневой биохимической системы антиоксидантной защиты, в которую входит большое число компонентов. Среди них особое место занимают вторичные метаболиты, проявляющие антиоксидантные свойства, в частности пероксидаза, малоновый диальдегид и каротиноиды. Исследования о роли антиоксидантной системы в устойчивости древесных растений на нарушенных территориях угледобывающей промышленности являются актуальными. В статье представлены результаты по изучению некоторых показателей антиоксидантной системы *B. pendula*, произрастающей в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза. Интенсивность перекисного окисления липидов оценивали по его основному продукту – малоновому диальдегиду спектрофотометрическим методом с использованием 2-тиобарбитуровой кислоты; активность пероксидазы – методом А.Н. Бояркина; содержание суммы каротиноидов – спектрофотометрическим методом (с использованием спектрофотометра LEKI SS 1207). Статистический анализ данных выполнен с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.1 и Microsoft Office Excel 2007. В ассимиляционном аппарате *B. pendula* выявлены изменения в содержании некоторых компонентов антиоксидантной системы, которые выражались в увеличении пероксидазной активности и малонового диальдегида, снижении суммы каротиноидов. Выявленные перестройки в функционировании антиоксидантной системы можно рассматривать как приспособительные реакции, направленные на выживание растений в экологических условиях породного отвала. Экспериментальные данные можно использовать в оценке состояния древесных растений и диагностики экологических условий нарушенных земель.

**Ключевые слова:** листья, *Betula pendula* Roth., активность пероксидазы, каротиноиды, перекисное окисление липидов, малоновый диальдегид, породный отвал, угольный разрез.

Blades arising from open mining are specific in environmental conditions. In terms of waste dumps of Kuzbass most suitable for phytomelioration is *Betula pendula* Roth., due to the high activity of seed and undemanding to soil fertility. The major mechanism of resistance of woody plants in extreme environmental conditions is a multi-level activation of biochemical antioxidant defense system, which includes a large number of components. Among them a special place is occupied by secondary metabolites exhibiting antioxidant properties, in particular peroxidase, malondialdehyde and carotenoids. Researches on the role of the antioxidant system in the sustainability of woody plants in disturbed areas of coal mining are relevant. The article presents the results of the study of some indicators of the antioxidant system *B. pendula*, growing in waste dump of Kedrovsky coal cut. The intensity of lipid peroxidation was assessed by its main product, i.e. malonic dialdehyde with spectrophotometric method using 2-thiobarbituric acid; peroxidase activity by A.N. Boyarkin method; the amount of carotenoid content by spectrophotometric method (using a spectrophotometer LEKI SS 1207). Statistical analysis of data was made using the application package Statistica 6.1 and Microsoft Office Excel 2007. The assimilation apparatus *B. pendula* revealed changes in the content of certain components of the antioxidant system, which was reflected in an increase in peroxidase activity and malondialdehyde, reducing the amount of carotenoids. Identified restructuring in the functioning of the antioxidant system can be seen as adaptive reactions aimed at the survival of plants in terms of environmental waste dump. The experimental data can be used in the assessment of woody plant and diagnose the environmental conditions of disturbed lands.

**Keywords:** leaves, *Betula pendula* Roth., peroxidase activity, carotenoids, lipid peroxidation, malondialdehyde, rock spoil heap, coal cut.

**Введение.** Важнейшим механизмом устойчивости древесных растений в экстремальных экологических условиях является активизация многоуровневой биохимической системы антиоксидантной защиты, в которую входит большое число компонентов. Среди них особое место занимают вторичные метаболиты, проявляющие антиоксидантные свойства, в частности пероксидаза и каротиноиды [1]. 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 (ПОЛ) в растительных тканях, что связано с активацией свободнорадикальных реакций в клетках [2]. В последнее десятилетие в научных журналах активизирована публикация работ, связанных с изучением содержания антиоксидантов в растениях, произрастающих в условиях техногенного загрязнения [3–10]. В связи с чем исследования о роли антиоксидантной системы в устойчивости древесных растений на нарушенных территориях угледобывающей промышленности являются актуальными.

**Цель исследования:** изучение динамики некоторых компонентов антиоксидантной системы *Betula pendula* Roth., произрастающей в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза.

**В задачу** исследований входила оценка активности пероксидазы, содержания суммы каротиноидов, уровня малонового диальдегида как показателя интенсивности перекисного окисления липидов в листьях *B. pendula*.

**Материалы и методы исследования.** Объектом исследования служила *Betula pendula* Roth. (береза повислая). Эксперимент проведен в 2013–2014 гг. на двух площадках наблюдений (ПН): ПН № 1 (опыт) – спланированный породный отвал с сформированным фитоценозом естественного происхождения, ПН № 2 (контроль – участок, расположенный в 5 км от породного отвала со сходным по составу фитоценозом). Отвал имеет равнинно-наклонный рельеф с высотой 58 м, площадь составляет 599,3 га, возраст – 30–35 лет. Породы отвала представ-

лены песчаником (60 %), алевролитами (20 %), аргиллитами (15 %), суглинками и глинами (5 %). Преобладающей фракцией являются крупные агрегаты (от 3 до 10 и более мм), содержание мелких частиц снижено. По агрохимическим показателям эмбриоземы ПН № 1 в сравнении с почвами ПН № 2 характеризуются низкой обеспеченностью подвижным фосфором (10–50 мг/кг) и нитратным азотом (3,6–6,0 мг/кг).

Количественное содержание суммы каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом (с использованием спектрофотометра LEKI SS 1207) в трехкратной повторности по величине оптической плотности при 440,5 нм [11]. Интенсивность перекисного окисления липидов оценивали по его основному продукту – малоновому диальдегиду (МДА) спектрофотометрическим методом с использованием 2-биобарбитуровой кислоты [12]; активность пероксидазы – методом А.Н. Бояркина [13]. Данные представлены в виде средних арифметических значений и их стандартных ошибок. Статистическая значимость различий между вариантами определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента ( $p < 0,05$ ). Экспериментальные данные обработаны статистически с помощью компьютерных программ *Excel* и *Statistica 6.0*.

**Результаты исследования и их обсуждение.** При воздействии разнообразных экстремальных факторов среды, таких как видимый свет высокой интенсивности, токсические соединения, а также естественное старение растений, активность пероксидазы возрастает. Наше исследование подтвердило данную закономерность. Выявлено, что на опытном участке (ПН № 1) активность фермента в листьях березы стабильно выше во все сроки наблюдений в сравнении с контрольным участком (ПН № 2). Активность пероксидазы у *B. pendula* на отвале варьировала в пределах от 5,59 до 14,26 ед. активности с максимумом к концу вегетации. Наибольшие отличия активности фермента от контроля у *B. pendula* отмечены в июне и августе (выше на 18 и 24 % соответственно) (рис. 1).

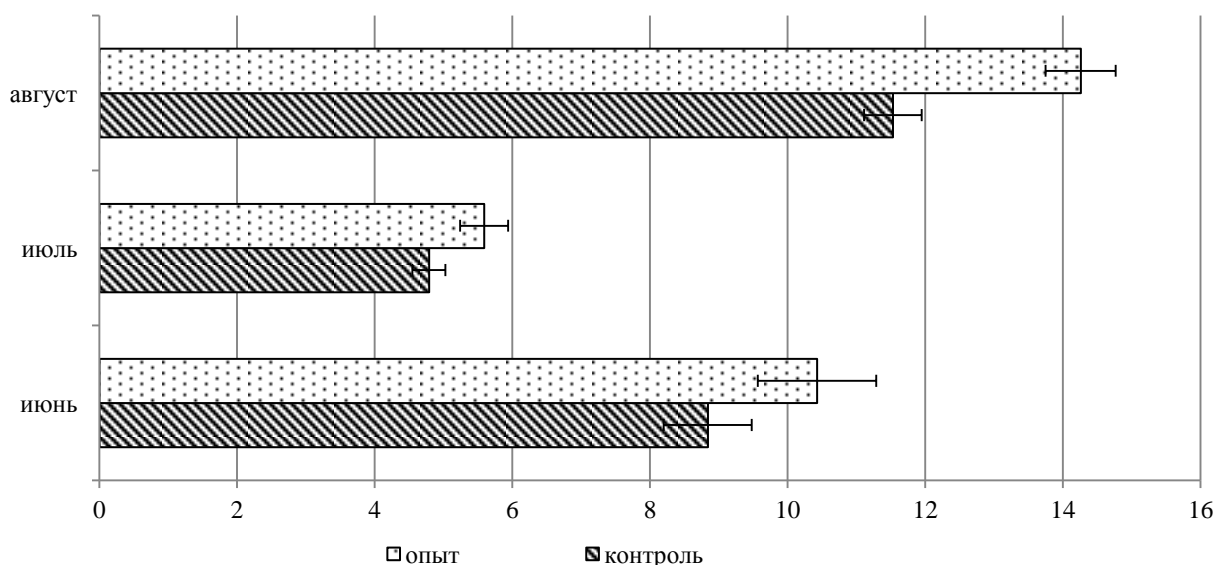


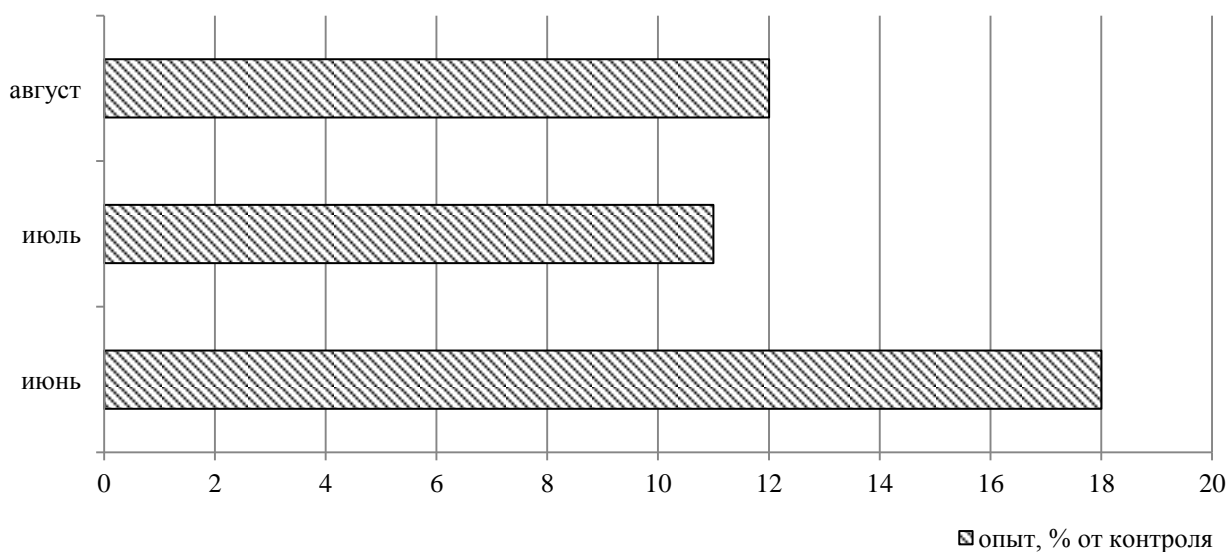
Рис. 1. Активность пероксидазы в листьях *B. pendula*

Экспериментально установлено, что накопление каротиноидов в течение вегетации в листьях *B. pendula* как опытного, так и контрольного участка носит неравномерный характер с максимальными значениями в июле. Сравнительный анализ с контрольным участком показал, что сумма каротиноидов в листьях березы опытного участка в течение вегетации ниже на 11–18 % (рис. 2).

Анализ результатов по содержанию малонового диальдегида свидетельствует, что у *B. pendula* на всех исследуемых площадках наблюде-

ний интенсивность окислительных процессов ниже в июне, выше – в августе (рис. 3).

В среднем за вегетацию в листьях березы опытного участка интенсивность перекисного окисления липидов выше на 14 % в сравнении с контрольным участком. Наибольшие достоверные отличия от контроля отмечены в июне и июле. Так, на опытном участке в листьях *B. pendula* в сравнении с контролем уровень малонового диальдегида в июне выше на 20 %, в июле – на 14 %.



Контроль взят за 100 %: июнь – 0,65 мг/г; июль – 0,66; август – 0,60 мг/г.

Рис. 2. Содержание суммы каротиноидов в листьях *B. pendula*

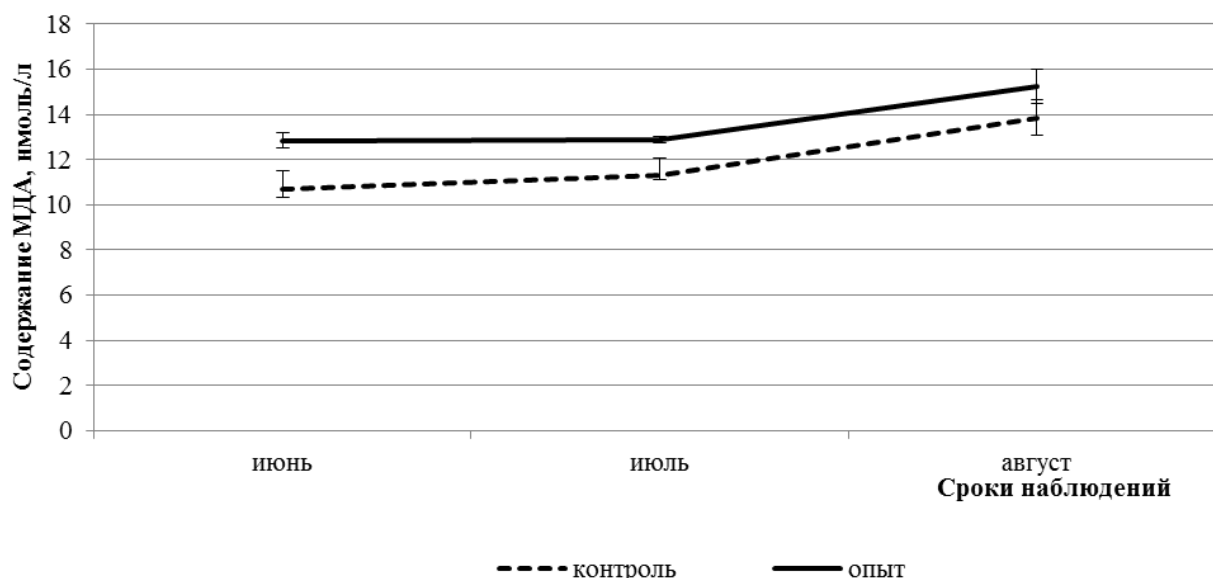


Рис. 3. Уровень малонового диальдегида в листьях *B. pendula*

Многие исследователи в своих работах отмечают различные адаптационные перестройки в системе антиоксидантной защиты у древесных растений, в том числе и у *B. pendula*, в экстремальных экологических условиях окружающей среды. Так, по сведениям Р.С. Зариповой и П.А. Кузьмина [14], в техногенных условиях города Набережные Челны активность пероксидазы в листьях березы повислой возрастает во все периоды активной вегетации. Исследования Н.А. Галибиной с соавторами [15] показали, что в ксилеме и во флоэме березы повислой с разной степенью проявления узорчатости в структуре древесины наблюдалось увеличение пероксидазной активности в течение вегетационного сезона. Некоторые авторы отмечают, что при окислительном стрессе повреждаются липиды, белки и мембраны, о чем свидетельствует увеличение содержания малонового диальдегида. Так, по мнению Я. Леи [16], физиологическим ответом древесных растений (на примере *Populus przewalskii*) на действие засухи было увеличение активности фермента пероксидазы и уровня малонового диальдегида.

### Выводы

1. В условиях породного отвала Кедровского угольного разреза в листьях *B. pendula* выявлены изменения в содержании некоторых компонентов антиоксидантной системы, которые выражаются в увеличении пероксидазной

активности и содержания малонового диальдегида, снижении суммы каротиноидов.

2. Выявленные перестройки в функционировании антиоксидантной системы можно рассматривать как приспособительные реакции, направленные на выживание растений в экологических условиях породного отвала.

3. Экспериментальные данные можно использовать в оценке состояния древесных растений и диагностики экологических условий нарушенных земель.

### Литература

1. Граскова И.А. Роль слабосвязанных с клеточной стенкой пероксидаз в устойчивости растений к биотическому стрессу: дис ... д-ра биол. наук. – Иркутск, 2008. – 323 с.
2. Ерофеева Е.А., Наумова М.М. Взаимосвязь физиолого-морфологических показателей листовой пластинки березы повислой с содержанием в ней тяжелых металлов // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н.И. Лобачевского. – 2010. – № 1. – С. 140–143.
3. Неверова О.А., Быков А.А. Оценка адаптивного потенциала *Betula pendula* Roth. в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – С. 551.
4. Гарифзянов А.Р., Иванищев В.В. Антиоксидантная система как основа устойчивости

- растений // Lap Lambert Academic Publishing. – 2012. – 200 с.
5. Цандекова О.Л., Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю. Роль антиоксидантной системы в устойчивости сосновых насаждений в условиях породного угольного отвала // Изв. Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 3. – С. 245–248.
  6. Воскресенская О.Л., Воскресенский В.С., Сарбаева Е.В. и др. Влияние ультрафиолетовой радиации и параметров микроклимата на содержание пигментов в листьях березы повислой, произрастающей в условиях города // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. «Биология. Науки о Земле». – 2014. – № 6–3. – С. 39–45.
  7. Кузьмин П.А., Шарифуллина А.М., Хазеев М.С. Исследование активности пероксидазы в листьях березы повислой в условиях техногенной среды // Наука и образование XXI века: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. – 2014. – С. 34–36.
  8. Ерофеева Е.А., Шаповалова К.В. Многолетний сравнительный анализ устойчивости *Betula pendula* (Betulaceae, fagales) и *Tilia cordata* (Malvaceae, malvales) к автотранспортному загрязнению // Поволжский экологический журнал. – 2015. – № 4. – С. 390–399.
  9. Marakaev O.A., Smirnova N.S., Zagoskina N.V. Technogenic stress and its effect on deciduous trees (an example from parks in Yaroslavl) // Russian Journal of Ecology. – 2006. – Т. 37. – № 6. – С. 373–377.
  10. Tsandekova O.L., Neverova O.A. Photosynthetic capacity of woody plants as an indicator of total atmospheric pollution in an urban environment // Contemporary Problems of Ecology. – 2010. – Т. 3. – № 2. – С. 141–143.
  11. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. – М., 2003. – 256 с.
  12. Некрасова Г.Ф., Киселева И.С. Экологическая физиология растений: руководство к лабораторным и практическим занятиям. – Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 2008. – С. 28–29.
  13. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др. Методы биохимического исследования растений. – Л., 1987. – С. 41–43.
  14. Зарипова Р.С., Кузьмин П.А. Особенности фенологии и физиолого-биохимические характеристики *Betula pendula* (Betulaceae) в условиях г. Набережные Челны (Республика Татарстан) // Растительные ресурсы. – 2016. – Т. 52. – № 1. – С. 124–134.
  15. Галибина Н.А., Целищева Ю.Л., Андреев В.П. и др. Активность пероксидазы в органах и тканях деревьев березы повислой // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». – 2013. – № 4 (133). – С. 7–13.
  16. Лей Я. Физиологические ответы *Populus przewalskii* на окислительный стресс, вызванный засухой // Физиология растений. – 2008. – Т. 55. – № 6. – С. 945–953.

#### Literatura

1. Graskova I.A. Rol' slabosvjazannyh s kletочноj stenкой peroksidaz v ustojchivosti rastenij k bioticheskomu stressu: dis ... d-ra biol. nauk. – Irkutsk, 2008. – 323 s.
2. Erofeeva E.A., Naumova M.M. Vzaimosvjaz' fiziologo-morfologičeskikh pokazatelej listovoj plastinki berezy povisloy s soderzhaniem v nej tjazhelyh metallov // Vestn. Nizhegorod. un-ta im. N.I. Lobachevskogo. – 2010. – № 1. – S. 140–143.
3. Neverova O.A., Bykov A.A. Ocenka adaptivnogo potenciala *Betula pendula* Roth. v uslovijah preobladajushhego vlijanija vybrosov promzony g. Kemerovo // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. – 2015. – № 2. – S. 551.
4. Garifzjanov A.R., Ivanishhev V.V. Antioksidantnaja sistema kak osnova ustojchivosti rastenij // Lap Lambert Academic Publishing. – 2012. – 200 с.
5. Candekova O.L., Neverova O.A., Kolmogorova E.Ju. Rol' antioksidantnoj sistemy v ustojchivosti sosnovyh nasazhdenij v uslovijah porodnogo ugol'nogo otvala // Izv. Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2013. – Т. 15, № 3. – S. 245–248.
6. Voskresenskaja O.L., Voskresenskij V.S., Sarbaeva E.V. i dr. Vlijanie ul'trafiol'etovoj radiacii i parametrov mikroklimate na soderzhanie pigmentov v list'jah berezy povisloy, proizrastajushhej v uslovijah goroda // Vestn. Udmurt. un-ta. Ser. «Biologija. Nauki o Zemle». – 2014. – № 6–3. – S. 39–45.

7. Kuz'min P.A., Sharifullina A.M., Hazeev M.S. Issledovanie aktivnosti peroksidazy v list'jah berezy povisloj v uslovijah tehnogennoj sredy // Nauka i obrazovanie XXI veka: sb. st. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – 2014. – S. 34–36.
8. Erofeeva E.A., Shapovalova K.V. Mnogoletnij sravnitel'nyj analiz ustojchivosti Betula pendula (Betulaceae, fagales) i Tilia cordata (Malvaceae, malvales) k avtotransportnomu zagryazneniju // Povolzhskij jekologicheskij zhurnal. – 2015. – № 4. – S. 390–399.
9. Marakaev O.A., Smirnova N.S., Zagoskina N.V. Technogenic stress and its effect on deciduous trees (an example from parks in Yaroslavl) // Russian Journal of Ecology. – 2006. – T. 37. – № 6. – S. 373–377.
10. Tsandekova O.L., Neverova O.A. Photosynthetic capacity of woody plants as an indicator of total atmospheric pollution in an urban environment // Contemporary Problems of Ecology. – 2010. – T. 3. – № 2. – S. 141–143.
11. Gavrilenko V.F., Zhigalova T.V. Bol'shoj praktikum po fotosintezu. – M., 2003. – 256 s.
12. Nekrasova G.F., Kiseleva I.S. Jekologicheskaja fiziologija rastenij: rukovodstvo k laboratornym i prakticheskim zanjatijam. – Ekaterinburg: Izd-vo UrGU, 2008. – S. 28–29.
13. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Jarosh N.P. i dr. Metody biohimicheskogo issledovanija rastenij. – L., 1987. – S. 41–43.
14. Zaripova R.S., Kuz'min P.A. Osobennosti fenologii i fiziologo-biohimicheskie harakteristiki Betula pendula (Betulaceae) v uslovijah g. Naberezhnye Chelny (Respublika Tatarstan) // Rastitel'nye resursy. – 2016. – T. 52. – № 1. – S. 124–134.
15. Galibina N.A., Celishheva Ju.L., Andreev V.P. i dr. Aktivnost' peroksidazy v organah i tkanjah derev'ev berezy povisloj // Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. «Estestvennye i tehnicheckie nauki». – 2013. – № 4 (133). – S. 7–13.
16. Lei Ja. Fiziologicheskie otvety Populus przewalskii na okislitel'nyj stress, vyzvannyj zasuhoj // Fiziologija rastenij. – 2008. – T. 55. – № 6. – S. 945–953.



УДК 571.511 + 581.526.33 +504.054

Л.В. Карпенко

## ОЦЕНКА НАРУШЕННОСТИ МОХОВО-ЛИШАЙНИКОВОГО ЯРУСА БОЛОТ КРИОЛИТОЗОНЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

L.V. Karpenko

### THE ASSESSMENT OF DISTURBANCE IN MOSS-LICHEN LAYER OF CRYOLITEZONE FENS DEPENDING ON ANTHROPOGENIC STRESS

**Карпенко Л.В.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск. E-mail: karp@ksc.krasn.ru

**Karpenko L.V.** – Cand. Biol. Sci., Senior Staff Scientist, Institute of Wood named after V.N. Sukachyov, SB RAS, Krasnoyarsk. E-mail: karp@ksc.krasn.ru

Представлены результаты экспертного исследования современного состояния мохово-лишайникового покрова болот северной тайги и лесотундры, находящихся в зоне аэротехногенных выбросов предприятий Норильского промышленного района (НПР). Впервые приведен видовой состав, проективное покрытие и высота мохово-лишайникового яруса болот фоновых, слабо- и сильно загрязненных тер-

риторий. Установлено, что на болотах, значительно удаленных от НПР, экологическое состояние этого яруса соответствует зональному. Об этом свидетельствует богатый видовой состав и полное проективное покрытие мхами гряд и мочажин болот, обилье кустистых и листоватых лишайников. На болотах, расположенных в зоне факела выбросов, отчетливо проявляется дигрессия мхов и